Institut für nachhaltige Energie- und Ressourcennutzung

Erneuerbare Energien zur individuellen Wärme- und Kälteerzeugung

Innovationen und Herausforderungen auf dem Weg in den Wärmemarkt

Bernd Wenzel
Elke Bruns
Matthias Adolf
Dörte Ohlhorst

Herausgeber
Institut für nachhaltige Energie- und Ressourcennutzung, Berlin

Bearbeitung
Dr. Bernd Wenzel, Dr. Elke Bruns, Dr. Matthias Adolf, Dr. Dörte Ohlhorst
Studentische Mitarbeit: Judith Hirschmann, Matthias Corbach

Gefördert im Rahmen des Projekts:
Wärme aus erneuerbaren Energien in Deutschland
Eine Biographie des Innovationsgeschehens
FKZ: 03MAP238

Projektwebseite
ee-waerme-inno.i-ner.de

EE-Infoplattform (Berichtsergänzungen)
ee-waerme-info.i-ner.de

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

© 2015 INER e. V.

Erneuerbare Energien
zur individuellen Wärme- und Kälteerzeugung

Innovationen und Herausforderungen auf dem Weg in den Wärmemarkt

Inhalte des Berichts

Abbildungsverzeichnis IX
Abkürzungsverzeichnis X
Ressortbezeichnungen XI
1 Einleitung 13
1.1 Fragestellung und Zielsetzung 13
1.2 Untersuchungsgegenstand und Vorgehensweise 14
1.3 Ergebnisdarstellung 16
2 Übergreifende Einflussfaktoren und Grundlagen 19
2.1 EU-Energiepolitik und ihr Einfluss auf nationale Strategien, Impulse und Gesetzgebung 19
2.1.1 Hintergrund 19
2.1.2 Impulse durch Forschungsförderung 19
2.1.3 Deutsche EU-Ratspräsidentschaft 2007 21
2.1.4 Richtlinien mit Relevanz für den EE-Wärmesektor 21
2.1.5 Umweltpolitische Impulse mit Relevanz für den Innovationsprozess 22
2.2 Rahmenbedingungen der EE-Wärmepolitik auf nationaler Ebene 23
2.2.1 Vorläufer der Erneuerbare-Energien-Politik 23
2.2.2 Kick-off für die deutsche Klimaschutzpolitik 24
2.2.3 Implementierung der deutschen Klimaschutzpolitik 25
2.3 Rechtliche und förderpolitische und Impulse 27
2.3.1 Entwicklung des Rechtsrahmens zur Minderung des CO_2-Ausstoßes ab 1990 27
2.3.2 Weichenstellungen im Rahmen der Forschungsförderung 30
2.3.3 Förderung erneuerbarer Energien im Wärmesektor auf Bundesebene 31
2.3.4 Förderung der regenerativen Wärmenutzung in den Bundesländern 37
2.4 Akteure für regenerative Wärmeerzeugung und -nutzung 41
2.4.1 Akteure der EE-Wärmepolitik auf den verschiedenen Ebenen 41
2.4.2 Akteure mit Einfluss auf die Technikentscheidung 45
2.4.3 Intermediäre Akteure 48
2.4.4 Konventionelle Branchenverbände – Befürworter der Technologieoffenheit 49
2.4.5 Branchenverbände und Interessenvertretungen 50
2.5 Wirtschaftlichkeit und Investitionskonkurrenzen 52
2.5.1 Ölpreisentwicklung und ihre Effekte auf die Nachfrage nach EE-Wärmetechniken 52
2.5.2 Kosten- und Wirtschaftlichkeitsvergleiche 52
2.5.3 Investitionskonkurrenzen 53
3 Innovationsbedingungen der Wärmeerzeugung mit Holz 55
3.1 Einführung 55
3.1.1 Bedeutung von Holz als Brennstoff 55
3.1.2 Nicht untersuchte Wärmeerzeugungstechniken für Biomasse 56

3.2 Phasen des Innovationsprozesses 57
3.3 Entwicklungen in der Vorphase bis 1990....58
3.3.1 Modernisierung der Wärmeerzeugung mit Holz in Wohngebäuden 58
3.3.2 Technische Herausforderungen 59
3.3.3 Politische Weichenstellungen vor 1990 60
3.3.4 Akteure: Unternehmen als Treiber für die Rückbesinnung auf Holzheizkessel 61
3.4 Phase 1990 bis 1999: Renaissance einer traditionellen Heiztechnik....62
3.4.1 Technologieentwicklung 62
3.4.2 Politische Impulse, Förderprogramme und Entwicklung des rechtlichen Rahmens 65
3.4.3 Akteure und Akteurskonstellationen 68
3.4.4 Umwelteffekte von Holzheizungen 70
3.4.5 Markt- und Kostenentwicklung 72
3.5 Phase ab 2000: Von der Renaissance zur Moderne....72
3.5.1 Technologieentwicklung 72
3.5.2 Politische Impulse, Förderprogramme und Entwicklung des rechtlichen Rahmens 74
3.5.3 Akteure und Akteurskonstellationen als Treiber der Optimierung und Dynamisierung der biogenen Festbrennstoffnutzung 78
3.5.4 Umwelteffekte von Holzheizungen 83
3.5.5 Markt- und Kostenentwicklung 87
3.5.6 Ausblick 90
4 Innovationsbedingungen der Wärmeerzeugung mit Solarthermie.... 93
4.1 Einführung 93
4.2 Phasen des Innovationsprozesses 94
4.3 Entwicklungen in der Vorphase bis 1990....95
4.3.1 Kollektoren als technologische Neuheit 95
4.3.2 Politische Impulse, Förderung und Entwicklung des rechtlichen Rahmens 97
4.3.3 Initiativen, Selbstbaugruppen und Anwender als Pioniere 99
4.3.4 Markt- und Kostenentwicklung: geringe Nachfrage bei hohen Kosten 103
4.4 Phase 1990 bis 1998: Allmählicher Aufschwung....104
4.4.1 Technologieentwicklung 104
4.4.2 Politische Impulse, Förderung und Entwicklung des rechtlichen Rahmens 105
4.4.3 Akteure der solarthermischen Wärmeerzeugung 107
4.4.4 Regulierung unerwünschter Umwelteffekte als Triebkraft 109
4.4.5 Markt- und Kostenentwicklung 110
4.5 Phase 1999 bis 2008: Wachstum in der Nische 111
4.5.1 Technologieentwicklung 111
4.5.2 Politische Impulse und Entwicklung des rechtlichen Rahmens 113
4.5.3 Akteure der solarthermischen Wärmeerzeugung 116
4.5.4 Umwelteffekte von solarthermischen Anlagen 120
4.5.5 Markt- und Kostenentwicklung 121
4.6 Phase seit 2009: Einbruch und Stagnation 122
4.6.1 Technologieentwicklung 122

4.6.2 Politische Impulse und Entwicklung des rechtlichen Rahmens 123
4.6.3 Akteure der solarthermischen Wärmeerzeugung 124
4.6.4 Umwelteffekte von solarthermischen Anlagen 125
4.6.5 Markt- und Kostenentwicklung 125
4.6.6 Ausblick 127

5 Innovationsbedingungen der Wärmegewinnung aus der Umwelt 129
5.1 Einführung 129
5.2 Phasen des Innovationsprozesses 129
5.3 Entwicklungen in der Vorphase bis 1990 131
5.3.1 Grundlegende Technologieentwicklung bei Wärmepumpen 131
5.3.2 Politische Impulse und Rechtsentwicklung auf den verschiedenen Ebenen 133
5.3.3 Akteure: frühe Protagonisten für Wärmepumpen 133
5.3.4 Markt- und Kostenentwicklung 135
5.4 Phase 1990 bis 2005: Wiederbelebung unter neuen Vorzeichen 136
5.4.1 Technologieentwicklung 136
5.4.2 Politische Impulse und Entwicklung des rechtlichen Rahmens 137
5.4.3 Akteure und Akteurskonstellationen 140
5.4.4 Umwelteffekte von Wärmepumpen 141
5.4.5 Markt- und Kostenentwicklung 143
5.5 Phase ab 2006: Durchbruch beim Neubau 146
5.5.1 Technologieentwicklung 146
5.5.2 Politische Impulse und Entwicklung des rechtlichen Rahmens 147
5.5.3 Akteure und Akteurskonstellationen 149
5.5.4 Umwelteffekte von Wärmepumpen 149
5.5.5 Markt- und Kostenentwicklung 151
5.5.6 Ausblick 153

6 Innovationsbedingungen der Kältegewinnung aus erneuerbaren Energien 155
6.1 Vorbemerkungen 155
6.2 Kühltechniken und -systeme für erneuerbare Energien 156
6.2.1 Funktionsweise von EE-basierten Kühltechniken im Gebäudebereich 156
6.2.2 Aktive Kühlung mit Solarstrom (Kompressionskälteprozess) 156
6.2.3 Gebäudekühlung mit Kollektorwärme (Sorptionskälteprozesse) 157
6.2.4 Kühlung über das Erdreich (Wärmepumpenprozess) 157
6.3 Politische Impulse, Förderung und rechtlicher Rahmen 158
6.3.1 Kontext Klimaschutz 158
6.3.2 Forschung und Förderung 158
6.3.3 Rechtlicher Rahmen 159

6.4 Akteure 159
6.4.1 Solare Kühlung – ein Thema für Forschungsakteure 159
6.4.2 Nutzer 160
6.4.3 Verbände 160
6.4.4 Hersteller und Installateure 160
6.5 Markt und Kostenentwicklung 161
6.6 Ausblick 162
7 Treibende und hemmende Kräfte der Innovationsverläufe 163
7.1 Zentrale übergreifende treibende und hemmende Kräfte im Wärmemarkt 163
7.2 Zentrale treibende und hemmende Kräfte für die Innovationsentwicklung bei Holzheizungen, Solarthermie und Wärmepumpen 167
7.2.1 Holzheizungen 167
7.2.2 Solarthermie 170
7.2.3 Wärmepumpe/ Umweltwärme (Geothermie) 173
7.2.4 EE-Wärme im Vergleich: Übergreifende und spezifische Charakteristika der Innovationsverläufe 176
7.3 Ausblick: Herausforderungen für die politische Steuerung 178
8 Literatur 181
9 Rechtsquellen 195

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Ausbau EE-Wärme in der EU-28 und in Deutschland (2004-2012) 20
Abbildung 2-2: Entwicklung der Grenzen des Energiebedarfs im Gebäudebestand 28
Abbildung 2-3: Wesentliche Förderbereiche gemäß der „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ ab 1994.....34
Abbildung 2-4: Entwicklung des Förder- und Investitionsvolumens 35
Abbildung 2-5: Einflussfaktoren auf die Technikentscheidung des Anwenders 45
Abbildung 3-1: Nutzungspfade für Reststoffe im Bereich Energieholz 56
Abbildung 3-2: Innovationsphasen der biogenen Festbrennstoffnutzung.....57
Abbildung 3-3: Bundesförderung für Holzheizungen 1995-2000 67
Abbildung 3-4: Preisentwicklung Heizöl und biogene Brennstoffe (2001 bis 7-2014) 87
Abbildung 3-5: Marktentwicklung Pelletheizungen ab 2000 89
Abbildung 4-1: Innovationsphasen der solarthermischen Wärmeerzeugung 94
Abbildung 4-2: Marktentwicklung Solarthermie Vorphase 1975 bis 1989 103
Abbildung 4-3: Marktentwicklung Solarthermie Phase 1990 bis 1998.....111
Abbildung 4-4: Verbandsgründungen und Konzentrationsprozesse durch Fusionen im Bereich solare Wärmeerzeugung 119
Abbildung 4-5: Marktentwicklung Solarthermie Phase 1999 bis 2008.....121
Abbildung 4-6: Marktentwicklung Solarthermie Phase ab 2009 127
Abbildung 5-1: Innovationsphasen der Wärmeerzeugung mit Umweltwärme / Wärmepumpen..130
Abbildung 5-2: Marktentwicklung Wärmepumpen Phase 1978 bis 1989 136
Abbildung 5-3: Marktentwicklung Wärmepumpen Phase 1990 bis 2005 144
Abbildung 5-4: Marktentwicklung Wärmepumpen Phase ab 2006.....152
Abbildung 6-1: Energiebedarf für Kühlung und Kälteerzeugung 155

Abkürzungsverzeichnis

Rechtsquellen befinden sich im Rechtsquellenverzeichnis am Ende des Berichts.

AEE	Agentur für Erneuerbare Energien
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft- und Ausfuhrkontrolle
BDE	Bund der Energieverbraucher e. V.
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V.
BDH	Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V.
BEE	Bundesverband Erneuerbare Energien e. V.
BSW	Bundesverband Solarwirtschaft e. V.
BWP	Bundesverband Wärmepumpe e. V.
CO_2	Kohlendioxid
DEPV	Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e. V.
DGS	Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie e. V.
DIN	Deutsches Institut für Normung
DM	Deutsche Mark
EE	Erneuerbare Energien
EG	Europäische Gemeinschaft
EHPA	European Heat Pump Association
EN	Europa-Norm
EU	Europäische Union
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoffe
FKW	Fluorkohlenwasserstoffe
ha	Hektar (10.000 m^2)
IEA	International Energy Agency
IEKP	Integriertes Energie- und Klimaprogramm
ITW	Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik an der Universität Stuttgart
IWP	Initiativkreis Wärmepumpe e. V. (heute BWP)
IZW	Initiativkreis Wärmepumpen + Kältetechnik
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KUP	Kurzumtriebsplantagen
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
MAP	Marktanreizprogramm
NO_x	Stickoxide
PV	Photovoltaik
REN	Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen“
SO_2	Schwefeldioxid
ST	Solarthermie
THG	Treibhausgas
VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft (heute BDEW)
WP	Wärmepumpe

Ressortbezeichnungen

Zur besseren Lesbarkeit werden im Text vereinfachend Ressortbezeichnungen anstelle der wechselnden Bezeichnungen für die jeweiligen Bundesministerien verwendet. Folgende Liste enthält die vollständige Bezeichnung der Ministerien.

Ressortbezeichnung	Zeitraum	Bundesministerium
Bundesforschungsministerium (BMF)		
Bis 1994	Bundesministerium für Bildung und Wissenschaft (BMBW)[1]	
1994-1998	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie (BMBF)	
Seit 1998	Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)	
Bundeslandwirtschaftsministerium (BML)		
Bis 2001	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (BMELF)	
2001-2005	Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft (BMVEL)	
2005-2013	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)	
Seit 2013	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft (BMEL)	
Bundesumweltministerium (BMU)		
1986-2013	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)	
Seit 2013	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB)	
Bundesverkehrsministerium (BMV[2]) / Bundesbauministerium (BMBau)[3]		
Bis 1998	Bundesministerium für Verkehr / Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (BMBau)	
Seit 1998	Zusammenlegung beider Ministerien zu: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW)	
2005-2013	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)	
Ab 2013	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)	
Bundeswirtschaftsministerium (BMWi)		
Bis 1998	Bundesministerium für Wirtschaft	
1998-2002	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)	
2002-2005	Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA)	
2005-2013	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)	
Seit 2013	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)	

[1] Das Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT) wurde 1994 mit dem BMWB zum BMBFT zusammengelegt.

[2] Auch als Abkürzung für das Verkehrsressort im jeweils unterschiedlich bezeichneten Ministerium.

[3] Auch als Abkürzung für das Bauressort im jeweils unterschiedlich bezeichneten Ministerium.

1 Einleitung

Dem Wärmesektor kommt in Deutschland eine vergleichsweise große Bedeutung zu, insbesondere im Haushaltsbereich. Allein 73 % des Energieverbrauchs entfallen auf die Raumwärme (AEE 2014, 5). Angesichts der Dominanz fossiler Energieträger weist der Wärmesektor hohe CO_2-Minderungspotenziale auf. Um diese Potenziale zu erschließen, verfolgte die Bundesregierung verschiedene Strategien:

- Verringerung des Wärmebedarfs (Strategie Gebäudeenergieeffizienz),
- Verbesserung der Wärmeerzeugung (Strategie Heizanlageneffizienz) sowie
- Deckung des Restwärmebedarfs durch die Nutzung erneuerbarer Quellen.

Während die ersten beiden Strategien mit Einsetzen der Klimaschutzpolitik in den 1990er Jahren auf bereits bestehende regulative Impulse zur Energieeinsparung und Heizungsanlageneffizienz aufbauen konnten, kam die dritte Strategie – die Deckung des Restwärmebedarfs durch die Nutzung erneuerbarer Quellen - vornehmlich durch Förderimpulse zum Tragen. Erst im letzten Drittel der untersuchten Phase ergänzt eine Nutzungspflicht für erneuerbare Quellen bei der Wärmeerzeugung den förderpolitischen Rahmen.

Die Parallelität verschiedener CO_2-Minderungsstrategien im Wärmesektor führte zu einem breiten, z. T. nur schwer überschaubaren Spektrum von Einflussfaktoren auf den Innovationsprozess. Der vorliegende Bericht zeigt den Innovationsprozess ausgewählter „erneuerbarer“ Wärmeerzeugungstechnologien:

- Techniken zur Nutzung der Solarwärme (Solarthermie),
- Techniken zur Nutzung biogener Wärme (Holzheizkessel) sowie
- Techniken zur Nutzung der Umweltwärme (Wärmepumpen).

Er führt damit zersplittertes Wissen über Entwicklungen und Impulse der vergangenen zwei Jahrzehnte zusammen. Diese Ausführungen werden durch die Analyse des Innovationsgeschehens von Kälte- und Kühltechnologien ergänzt, da diese seit 2011 zu den im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) genannten Technologien gehören. Der Fokus liegt auf den Entwicklungen seit Einsetzen der nationalen Klimaschutzpolitik zu Beginn der 1990er Jahre. Die Analyse ist auf Kleinanlagen in Wohngebäuden, somit auf die individuelle Wärmeversorgung konzentriert. Die Impulse zur Förderung der Gebäudeenergie- und Heizanlageneffizienz werden als wesentliche *Rahmenbedingung* mitbetrachtet.

Im Kern der Innovationsanalyse steht die Frage, welche Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren, den Innovationsprozess im Bereich der regenerativen Wärmetechnologien maßgeblich vorangetrieben und welche sie gehemmt haben. Die Analyse beschränkt sich dabei nicht allein auf den technischen Entwicklungsfortschritt und etwaige Markteerfolge, sondern bezieht Entwicklungsschritte in den Bereichen der Rechtsetzung, ökonomischer Impulse sowie der Formierung und Positionierung der relevanten Akteure im Entwicklungsprozess ein.

1.1 Fragestellung und Zielsetzung

Steuerungsimpulse und Aktivitäten zur Förderung der Technologieentwicklung bei der regenerativen Wärmeerzeugung und zur Erhöhung der regenerativen Anteile an der Wärmeerzeugung sind kaum systematisch dokumentiert, ihre Bedeutung für den Entwicklungsverlauf ist kaum erfasst. Mit dem vorliegenden Bericht soll das zersplitterte Wissen über die zurückliegenden Prozesse, die eine Rele-

vanz für die Entwicklung und Verbreitung von EE-Heizungen im kleinen Leistungsbereich hatten und haben, zusammengeführt werden.

Der EE-Wärmesektor wird im Hinblick auf seine Potenziale zur Energieeinsparung und CO_2-Minderung als „schlafender Riese“ bezeichnet. Trotz hoher Potenziale standen der EE-Wärmesektor und die EE-Wärmeerzeugung im Schatten der Entwicklungen im Stromsektor, der eine höhere politische und gesellschaftliche Aufmerksamkeit besaß. Gleichwohl durchliefen auch die Technologien zur Erzeugung erneuerbarer Wärme einen erfolgreichen Innovationsprozess. Das Projekt untersuchte die wesentlichen Bedingungen und Impulse für diesen Innovationsprozess mit folgenden Fragestellungen:

- Welches war der Ausgangspunkt der Innovationen?
- Welche Akteure und welche Faktoren trieben den Innovationsprozess voran und welche erweisen sich als hemmend?
- Wodurch ist der Innovationsverlauf (Phasen, Dynamik) gekennzeichnet, welche Spezifika weist er auf?
- Welche Schlussfolgerungen können für den weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärmesektor gezogen werden?

Die vorliegende Untersuchung greift diese Fragestellungen in einer Querschnittbetrachtung auf. Ziel der Untersuchung ist es, das Wirkungsgefüge gesellschaftlicher, technischer, ökologischer und ökonomischer Einflussfaktoren beim Ausbau der erneuerbaren Energien im Wärmesektor zu erfassen. Der Innovationsbericht - in Verbindung mit der webbasierten Informationsplattform EE-Wärme - arbeitet den zurückliegenden Prozess auf und führt das Wissen zusammen. Dadurch werden die Transparenz verbessert und der Zugang zum bestehenden Wissen erleichtert. Dem Vorhaben liegt die Annahme zugrunde, dass die Verfügbarkeit strukturierten Wissens über den bisherigen Innovationsverlauf für alle beteiligten Akteure wertvoll und für die Gestaltung des Weiteren Implementationsprozesses hilfreich ist.

Der Bericht richtet sich an fachlich Interessierte, u. a. an politische und administrative Akteure des Energiesektors, die für zentrale Weichenstellungen im Zusammenhang mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien Verantwortung tragen und damit auch deren Innovations- und Wirtschaftskraft zur Entfaltung bringen.

1.2 Untersuchungsgegenstand und Vorgehensweise

Untersuchungsgegenstand

Die Analyse der Innovationsbiographie bezieht sich auf Technologien zur Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien, insbesondere mit Holzbrennstoffen, die Wärme- und Kälteerzeugung durch Solarenergie sowie aus Umweltwärme mithilfe von Wärmepumpen.

Biogas oder Bioheizöl kommen als „gasförmige und flüssiger Biomasse“ nach § 5 EEWärmeG ebenfalls als regenerative Wärmequellen in Betracht. Ihre Nutzung erfolgt jedoch in konventionellen Öl- und Gasheizkesseln, deren technische Entwicklung davon aber nicht beeinflusst und folglich nicht analysiert wird.

Betrachteter Zeitraum

Der im Zeitraum vor 1990 erreichte Entwicklungsstand wird als Ausgangssituation für den weiteren Innovationsverlauf betrachtet und im Hinblick auf mögliche Anknüpfungspunkte und Weichenstellungen analysiert. Der engere Analysezeitraum beginnt 1990, also zu einem Zeitpunkt, zu dem der Bericht der Enquete-Kommission (1990) veröffentlicht und die abgeleiteten Ziele zur Minderung des

CO_2-Ausstoßes durch den Kabinettsbeschluss vom 07. November 1990 für das politische Handeln relevant wurden. Dies kann als Zeitpunkt angesehen werden, an dem die Klimarelevanz des Wärmesektors mit seinen Potenzialen zur CO_2-Minderung in den Blick rückte.

Chronologische Ordnung und Phasenbildung

Für jeden der o. g. Technologiepfade zur Nutzung regenerativer Quellen für die Wärmeerzeugung wurde der Entwicklungsverlauf mithilfe von Chronologien erstellt. Mit deren Hilfe können die den Innovationsverlauf betreffenden Entwicklungen, Ereignisse und Impulse zeitlich eingeordnet werden. Der sich anschließende Entwicklungsverlauf wurde in Phasen untergliedert, auf die sich die Analyse und Interpretation der wesentlichen Einflussfaktoren und Impulse (treibende und hemmende Kräfte) beziehen.

Die empirische Grundlage wurde in iterativen Analyse- und Interpretationsschritten vervollständigt und durch gezielte Expertenbefragungen ergänzt und verifiziert. Rolle und Gewichtung der Innovationsimpulse und Interpretationsergebnisse stimmten die Autoren in regelmäßigen interdisziplinären Kolloquien ab.

Konstellationsanalyse

Treibende und hemmende Kräfte des Innovationsgeschehens werden mithilfe der Konstellationsanalyse ermittelt. Die Konstellationsanalyse dient als interdisziplinäres Brückenkonzept. Der Ansatz führt die für den Innovationsverlauf bedeutsamen Kategorien – Akteure, Steuerungsimpulse, sozioökonomische Rahmenbedingungen sowie natürliche und technische Elemente zusammen. Die für einen Innovationsprozess wesentlichen Bedingungen, Einflussfaktoren und Akteure sowie deren Beziehungen untereinander können aus multidisziplinärer Perspektive aufeinander bezogen und in ihrem Zusammenwirken analysiert werden. Bei der Analyse der treibenden und hemmenden Kräfte für den Innovationsprozess kommen die unterschiedlichen Problemsichten, Wissensstände und Lösungsansätze der beteiligten Disziplinen zum Tragen. Mithilfe der graphischen, auf die wesentlichen treibenden und hemmenden Kräfte reduzierten Abbildungen können Innovationsprozesse aus einer gemeinsamen Perspektive veranschaulicht werden.[4]

Für jede Phase des Innovationsverlaufs werden die wichtigsten in der jeweiligen Konstellation wirkenden Konstellationselemente erfasst, benannt und zueinander in Beziehung gesetzt. Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes sind die Konstellationsabbildungen, die der ausführlichen textlichen Analyse vorangestellt sind. Die Konstellationsabbildungen bilden die Grundlage für die Gewichtung der Konstellationselemente („zentral“ oder „weniger zentral“) sowie für die Analyse der Beziehungen (Relationen) untereinander. Anhand der graphischen Abbildungen werden die Charakteristika der Konstellation sowie ihrer zentralen treibenden oder hemmenden Kräfte herausgearbeitet. Die Konstellation ist in einen Kontext aus gesamtgesellschaftlich bedeutsamen Rahmenbedingungen und übergeordneten Prozessen, die auf die Konstellation als Ganzes Einfluss haben, eingebettet.

Die Anwendung der Methode ist durch ein iteratives Vorgehen gekennzeichnet, das mehrere aufeinander folgende bzw. sich aufeinander beziehende Arbeitsschritte umfasst. Aufbauend auf der chronologischen Sammlung von Impulsen und Ereignissen und der Identifizierung wichtiger Akteure erfolgt die Konzentration auf wesentliche treibende oder hemmende Faktoren durch eine gemeinsame Selektion und Gewichtung. Die darauf folgenden Arbeitsschritte – von der Phaseneinteilung über

[4] Zum methodischen Ansatz der Konstellationsanalyse vgl. Schön et al. (2007).

die Kartierung von Konstellationselementen bis hin zur Interpretation der Konstellation – zeichnen sich durch zunehmende Informationsverdichtung und Abstraktion aus.

Kartierung von Konstellationen

Entsprechend der Methodik der Konstellationsanalyse werden für jede Phase die für die jeweilige Konstellation wichtigsten Einflussfaktoren und Impulse erfasst und zueinander in Beziehung gesetzt. Das Ergebnis dieses Arbeitsschrittes sind Konstellationsabbildungen für die drei betrachteten Technologien. Die Konstellationsabbildungen bereiten das Ergebnis der interdisziplinären Analyse und Interpretation graphisch auf. Sie bilden den im interdisziplinären Autorenteam erzielten Konsens über die wesentlichen Triebkräfte des Innovationsgeschehens ab. Insofern sind sie ein strukturierendes und komplexitätsreduzierendes Arbeitsmittel, aber kein selbsterklärendes Ergebnis. Ihre Dokumentation erfolgt in der EE-Wärme- Infoplattform (vgl. Kapitel 1.3). Auf der Basis der Konstellationskartierungen wurde die dem Kapitel 7 zugrunde liegende Interpretation der Innovationsprozesse vorgenommen.

1.3 Ergebnisdarstellung

Innovationsbericht

Der Innovationsbericht beginnt mit den wesentlichen Einflussfaktoren, die Rahmensetzungen und Impulse für alle betrachteten Technologien ausgeübt haben oder noch ausüben. Sie wurden der technologiespezifischen Analyse vorangestellt, um Wiederholungen zu vermeiden. In den anschließenden Technologie-Kapiteln wird die Darstellung der Einflussfaktoren im Hinblick auf den Effekt für die jeweilige Technologie spezifiziert.

Die Analyse der Innovationsverläufe ist nach den Energiequellen und den sie erschließenden Technologien gegliedert (Kapitel 3 bis 6). Die Darstellung der Innovationsanalyse folgt einer einheitlichen Struktur, die sich an der Chronologie bzw. den einzelnen Innovationsphasen orientiert. Einzelne Abweichungen von dieser Struktur sind etwaigen spartenspezifischen Besonderheiten der Innovationsverläufe geschuldet.

Der vorliegende Innovationsbericht konzentriert sich auf die Darstellung der wesentlichen Rahmenbedingungen, Einflussfaktoren und Impulse und ihr Zusammenwirken. Im Text sind Schlüsselbegriffe mit Hyperlinks (rote KAPITÄLCHEN sowie gepunktet unterstrichen) versehen, die zu den weiterführenden Artikeln in der EE-Wärme-Infoplattform (siehe nächster Punkt) führen. Hier sind Informationen und Erläuterungen sowie einschlägige Quellen (u. a. Gesetze, Förderrichtlinien) hinterlegt. Nachvollziehbarkeit und Verständnis des Innovationsberichts werden dadurch erleichtert.

EE-Wärme-Infoplattform: http://ee-waerme-info.i-ner.de

Um den Innovationsbericht nicht zu überfrachten, und das umfangreiche Sachwissen dennoch leicht verfügbar zu machen, wurde die bereits erwähnte internetbasierte Wissensplattform EE-WÄRME-INFOPLATTFORM eingerichtet. Der Innovationsbericht wurde dadurch von zahlreichen deskriptiven Erläuterungen entlastet. Zugleich wurde ein elektronisches Wissensdokument geschaffen, in dem einschlägige Fachinformationen zur Entwicklung der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Quellen in Deutschland spartenübergreifend und direkt zugänglich zusammengeführt sind. Die Info-Plattform ist im Internet öffentlich zugänglich. **Bericht und EE-Wärme-Infoplattform bilden eine Einheit.**

Die über die Hyperlinks verknüpften vertiefenden Artikel sind im Fall des am Bildschirm geöffneten PDF direkt anklickbar. Beim Lesen einer ausgedruckten Fassung des Berichts können diese Artikel

auch über die Artikelübersicht in der EE-Wärme-Infoplattform gefunden werden. Diese können dann bei Bedarf auch als PDF gespeichert bzw. ausgedruckt werden.

Broschüre

Die deutsch-englische Broschüre „Erneuerbare Energien für die individuelle Wärmeversorgung – Treiber und Hemmnisse seit 1990“[5] beinhaltet eine Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse des Innovationsberichts. Sie richtet sich an ein breiteres Fachpublikum im In- und Ausland.

[5] http://ee-waerme-info.i-ner.de/images/b/b3/Publ._EE-Inno_WK.pdf

2 Übergreifende Einflussfaktoren und Grundlagen

Dieses Kapitel bildet Impulse, Rahmenbedingungen und Ereignisse ab, die für den Innovationsprozess aller betrachteten EE-Wärmetechnologien relevant waren und sind. Darüber hinausgehende spezifische Impulse, die auf eine bestimmte EE-Wärmetechnologie gerichtet waren, sind in den drei technologiebezogenen Kapiteln zu finden.

Zu den übergreifenden Impulsen gehören z. B. energiepolitische Beschlüsse und Richtlinien auf EU-Ebene, die unmittelbare oder mittelbare Relevanz für den EE-Wärmesektor hatten und Anstöße für die nationale Politik gaben (vgl. Kapitel 2.1). Wesentliche übergreifende Rahmensetzungen auf der nationalen Ebene beleuchtet Kapitel 2.2. Eine zentrale förderliche Rahmenbedingung war die zu Beginn der 1990er Jahre einsetzende Klimapolitik der Bundesregierung. Hiervon profitierte auch das Innovationsgeschehen im EE-Wärmesektor. Sowohl von den Bundesländern, als auch von der Bundesebene gingen förderpolitische und rechtliche Impulse aus, die in Kapitel 2.3 dargestellt sind. Das Kapitel 2.4 skizziert schließlich Akteursgruppen, die mittelbar oder unmittelbar an der Transformation der Wärmeversorgung mitwirken. Der Schwerpunkt liegt auf Positionen und Interessenschwerpunkten derjenigen Akteure, die Einfluss auf die Technikentscheidung haben.

Kapitel 2.5 geht schließlich auf die ökonomischen Rahmenbedingungen ein. Hierzu gehört die Öl- und Gaspreisentwicklung, von der die Konkurrenzfähigkeit der EE-Wärmetechnologien maßgeblich abhängt. Überdies werden Wirtschaftlichkeitsbedingungen und Investitionskonkurrenzen erläutert, die die grundsätzliche Investitionsbereitschaft in EE-Wärmetechnologien beeinflussen.

2.1 EU-Energiepolitik und ihr Einfluss auf nationale Strategien, Impulse und Gesetzgebung

2.1.1 Hintergrund

Die Energiepolitik der EU war nach der ersten Erdölpreiskrise von dem Ziel bestimmt, unabhängiger von Ölimporten zu werden. Nach einer Entschließung des Rates vom 17. Dezember 1974 sollten die Importe von 63 % im Jahr 1973 bis zum Jahr 1985 auf 50 % (im Idealfall 40 %) verringert werden. Dieses Ziel sollte durch rationelle Energienutzung, verstärkten Gebrauch innereuropäischer Energiequellen und durch Energieeinsparungen erreicht werden. Laut EU-Kommission und IEA lag der Anteil von Erdöl am Primärenergiemix im Jahre 1990 bei 36 % (Europäische Kommission 1995, 13; IEA 2012). Anstöße für Energieeinsparung und für die vermehrte Nutzung erneuerbarer Energiequellen anstelle fossiler Quellen fußten auf EU-Ebene eher auf Forderungen bzw. Selbstverpflichtungen zur nachhaltigen Nutzung der Umwelt und der Energie, die mit dem Bericht der Brundtland-Kommission von 1984 ihren Anfang genommen hatten.

2.1.2 Impulse durch Forschungsförderung

Die zum Ende der 1980er Jahre einsetzende EG-Klimapolitik sowie die auf EE bauende Energiepolitik setzten einen Fokus auf die Entwicklung von gemeinsamen Nachhaltigkeitskriterien und Zielen beim Ausbau der erneuerbaren Energie und Energieeffizienz. Die Wärmeerzeugung aus regenerativer Energie war jedoch nur ein peripheres Handlungsfeld, für das die EU lediglich eine EU-weite Harmonisierung anstrebte, wobei die Mitgliedsstaaten diese durch eigene Forschungsschwerpunkte ergänzen konnten. Die EU unterstützte den Harmonisierungsprozess zunächst durch eine einheitliche Forschungsförderung der regenerativen Wärme-/Kälteerzeugung im Rahmen der EU-weiten Energieforschung.

Ab 1987 war die EG- bzw. EU-Förderung aus den einschlägigen Programmen zusammengestellt: „JOULE“ (1987-1990), „JOULE II“ (1990-1994) „ALTENER“ (1998-2002)[6], „THERMIE“ (1990-1994), „JOULE-THERMIE“ (1994-1998)[7] und „SAVE“ (1993-2004)[8]. Im Jahr 2003 wurden die Forschungsprogramme ALTENER, SAVE, STEER und COOPENER in „Intelligent Energy for Europe“ (IEE) (2003-2006) zusammengefasst. Die Europäische Kommission setzte IEE für eine zweite Periode von 2007-2013 fort. Von 2014-2020 werden Projekte, die auf den Aktivitäten von IEE aufbauen, im Programm „Horizon 2020“ gefördert.

Die Programme der EU hatten allerdings keinen großen Effekt auf den Ausbau der regenerativen Wärme in den Mitgliedsstaaten. Zwischen 1997 und 2005 stieg die durch EE generierte Wärmemenge und Kälte in der EU-15 insgesamt um 2 % von 568 TWh auf 675 TWh.[9] Dennoch wurde das im Jahr 1997 im Weißbuch „Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger“ festgesetzte Ziel bei der Wärmegenerierung aus EE-Technologien von 930 TWh bis 2010 erreicht. Im Vergleich zum Jahr 2010 stieg der Anteil der EE-Wärme am Endenergieverbrauch in der EU-28 allerdings nur noch von 935 TWh (14,16 %) auf 964 TWh (15,64 %) im Jahre 2012 an (vgl. Abbildung 2-1) (Europäische Kommission 1997b; Eurostat 2012).

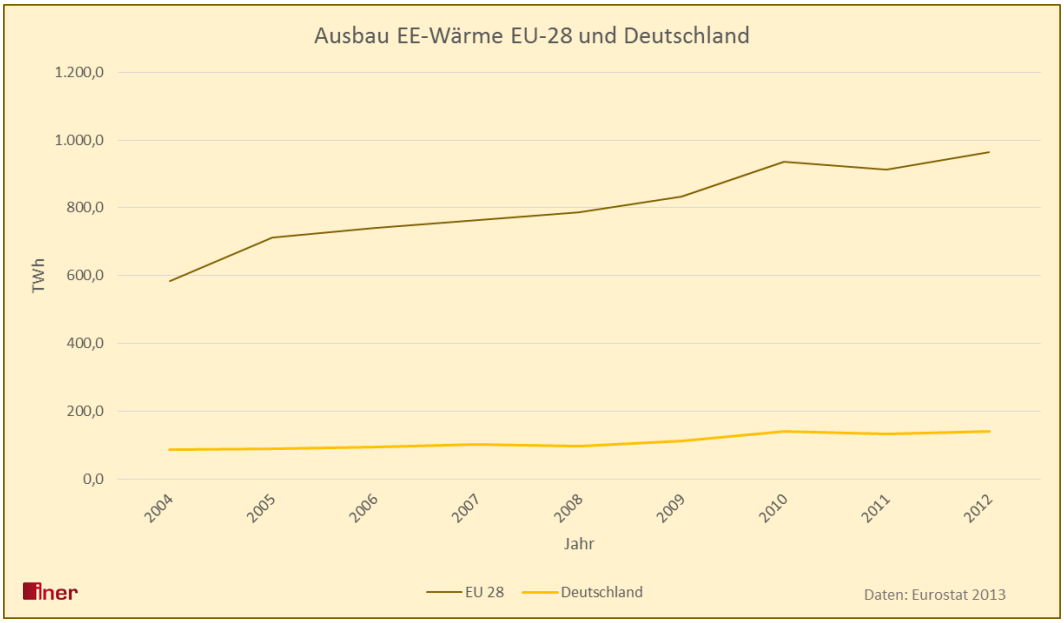


Abbildung 2-1: Ausbau EE-Wärme in der EU-28 und in Deutschland (2004-2012)

Ein Grund für den stockenden Ausbau lag darin begründet, dass es für die erneuerbare Wärme keine klaren Handlungskonzepte gab (Ecofys et al. 2008, 15f.).[10] Die Förderung von KWK-Anlagen und der Ausbau von Fernwärme- und -kühlsystemen (Europäische Kommission 1997c) hatte allenfalls mittel-

6 ALTENER bezog sich allgemein auf die Steigerung des Anteils erneuerbarer Energieträger und die Begrenzung der CO_2-Emissionen.

7 Zusammenlegung des JOULE und des THERMIE-Programms.

8 „SAVE“ war ausschließlich auf Energieeffizienz ausgerichtet.

9 In den einzelnen Bereichen sah der Zubau wie folgt aus: Biomasse von 556 TWh (1997) auf 649 TWh (2005) (+2 %), Solarthermie von 4 TWh (1997) auf 8 TWh (2005) (+10 %), Geothermie inkl. Wärmepumpen von 8 TWh (1997) auf 18 TWh (2005) (+10 %).

10 Hingegen verabschiedete die EU Richtlinien für den regenerativen Strom (Richtlinie 2001/77/EG), für die Gesamtenergieeffizienz in Gebäuden (Richtlinie 2002/91/EG) sowie für die Biomasse (Richtlinie 2003/30/EC) und für KWK (Richtlinie 2004/8/EG).

bare Effekte für den Wärmesektor, zumal dabei nicht zwingend erneuerbare Energien zum Einsatz kamen und bei KWK der Fokus der politischen Steuerung auf der Stromerzeugung lag.

Die Kommission selbst erkannte als Ursache für die „Schwerfälligkeit des Wärme- und Kältesektors“ den „Mangel an geeigneten Strategien und Zielvorgaben, die Unfähigkeit, verwaltungstechnische Hemmnisse zu beseitigen und Kunden mit Informationen über vorhandene Technologien zu versorgen“ (Europäische Kommission 2007). Die EU sah sich allerdings nicht in der Lage, diese Hindernisse auszuräumen.

2.1.3 Deutsche EU-Ratspräsidentschaft 2007

Während der deutschen Ratspräsidentschaft vom 1. Januar bis 30. Juni 2007 wurde erstmals die Forderung nach einer integrierten Energie- und Klimapolitik im Rat beschlossen. Ziel ist es, den globalen Anstieg der Durchschnittstemperatur gegenüber dem vorindustriellen Niveau auf 2°C zu begrenzen. Mit den Beschlüssen des Europäischen Rats vom 8./9. März 2007 wurde festgelegt, dass die EU sich in den internationalen Verhandlungen im Zuge des Kyoto-Prozesses verpflichtet, ihre Treibhausgasemissionen bis 2020 um mindestens 20 % gegenüber 1990 reduziert. Zudem wurde ein Aktionsplan des Europäischen Rates für die Jahre 2007-2009 beschlossen, in dem das Ziel einer Energieeinsparung bis 2020 um 20 % gemessen an den Prognosen festgelegt wurde. Auch billigte der Rat ein verbindliches Ziel für den Anteil erneuerbarer Energien von 20 % am Gesamtenergiemix der EU bis 2020 (Europäischer Rat 2007). Diese Ziele wurden später von der EU-Kommission in der Richtlinie 2009/28/EG festgelegt. Durch die Ratspräsidentschaft entstand eine starke Bindungswirkung im Hinblick auf die Umsetzung im eigenen Land. Sie beförderte weitere politische Beschlüsse auf nationaler Ebene sowie die Verabschiedung des IEKP 2007 (vgl. Kapitel 2.2.3.4), das letztlich Mindestziele für erneuerbare Energien an der Wärmeversorgung formulierte.

2.1.4 Richtlinien mit Relevanz für den EE-Wärmesektor

2.1.4.1 Richtlinien 2002/91/EG und 2010/31/EU zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden

Im Zuge der Harmonisierung der Energie- und Klimapolitik verabschiedete das Europäische Parlament und der Europäische Rat am 16. Dezember 2002 die Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (2002/91/EG)[11]. Die Richtlinie sah u. a. vor, mithilfe von Energieeffizienzmaßnahmen den Endenergieverbrauch von Gebäuden zu reduzieren. Dies sollte durch Wärmedämmung, aber auch den Einsatz erneuerbarer Energieträger zur Strom- und Wärmegenerierung erfolgen. Bei neuen Gebäuden mit einer Nutzfläche von mehr als 1.000 m^2 konnten dezentrale regenerative Energieversorgungssysteme und Wärmepumpen zur Erfüllung der Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz zum Einsatz kommen. Dies galt auch für den Gebäudebestand, sofern Gebäude von über 1.000 m^2 Nutzfläche von größeren Renovierungsarbeiten betroffen waren und die Umbauten technisch, funktionell und wirtschaftlich realisierbar seien.

Am 19. Mai 2010 wurde die Richtlinie vom Europäischen Parlament und Europäischen Rat in ihrer novellierten Fassung verabschiedet (Richtlinie 2010/31/EG[12]). Die Novellierung wurde u. a. notwendig, um die Richtlinie an die Richtlinie 2009/28/EG anzugleichen und das darin enthaltene Ziel für die EE zu erreichen. In der novellierten Richtlinie wurden die erforderlichen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in neuen Gebäuden auf alle Neubauten ausgeweitet. Auch beim Gebäudebestand

[11] Vgl. Rechtsquellenverzeichnis.

[12] Vgl. Rechtsquellenverzeichnis.

entfiel die Begrenzung auf Gebäude über 1.000 m^2 Nutzfläche. Die Klausel, dass die Angleichung an die festgelegten Mindestanforderungen für die Gesamtenergieeffizienz nur zu erfüllen sei, wenn dies technisch, funktionell und wirtschaftlich realisierbar ist, blieb erhalten. Problematisch ist diese Klausel für EE-Wärmetechnologien, da abhängig vom Ölpreis und anderer Faktoren die Wirtschaftlichkeit nicht oder nur zeitweise gegeben ist. Somit werden – wenn überhaupt – vor allem Wärmedämmungsmaßnahmen zur Erfüllung der Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz eingesetzt.

2.1.4.2 Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung erneuerbarer Energien

Mit der Richtlinie zur Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien von 2009[13] wurden deutliche Impulse für den Einsatz erneuerbarer Energien gesetzt. So soll das 20 %-Globalziel zur Deckung des Endenergieverbrauchs[14] aus regenerativen Energien in den Mitgliedstaaten durch verbindlich festgeschriebene Zielquoten erreicht werden (Art. 3 Abs. 1). Nach Art. 13 Abs. 4 der Richtlinie sollen „die Mitgliedstaaten geeignete Maßnahmen [ergreifen], um den Anteil aller Arten von Energie aus erneuerbaren Quellen im Gebäudebereich zu erhöhen." Konkrete auf den Wärmesektor bezogene Ziele werden jedoch nicht formuliert. Grundlegende Hemmnisse für die Ausbausteuerung des EE-Wärmemarktes der EU sind die divergierenden Einzelinteressen der Mitgliedstaaten. Ähnlich wie bei Ernährung und Sicherheit wollen die Mitgliedstaaten hier eine möglichst weitgehende Autarkie beibehalten. Zudem sind die klimatischen Bedingungen und der Energiemix innerhalb der Staaten der EU sehr unterschiedlich. Die Richtlinie verpflichtet die Mitgliedsstaaten zur Formulierung von Zielquoten, allerdings ist es den Mitgliedstaaten im Rahmen der Erstellung Nationaler Aktionspläne freigestellt, welche Anteile bzw. welche Teilziele dabei z. B. auf den Wärmesektor entfallen.

Im Fortschrittsbericht „Erneuerbare Energien" der EU von 2013 wird nachträglich kritisiert, dass es für den Wärme- und Kältesektor in der RL 2009/28/EG „noch nicht einmal Richtziele" gab (Europäische Kommission 2013). Dies habe dazu geführt, dass der Zubau von EE in diesen Bereichen seit 2005 nur langsam voranging. Zudem deutet eine Analyse von Ecofys im Auftrag der Kommission darauf hin, dass der Anteil der erneuerbaren Wärme und Kälte am Energieverbrauch in den Folgejahren zurückgehen könnte. Dies sei der Wirtschaftskrise von 2009, Hemmnissen bei Administration und Infrastruktur, Brüchen in der Politik und bei Förderregelungen sowie den Vorlaufzeiten von acht bis zehn Jahren bei Investitionen geschuldet. Beispielsweise sei im EE-Wärme- und Kältesektor eine Entwicklung einheitlicher administrativer Vorgänge durch die hohe Varianz der Technologien gehemmt (Europäische Kommission 2013). Tatsächlich ging der Ausbau der EE-Wärme- und Kältetechnologien in der EU-28 zwischen 2010 und 2011 zurück, wohingegen er sich 2012 wieder etwas erholte (vgl. Abbildung 2-1). Nach dem EU-Gipfel Anfang 2014 möchten vor allem nord- und westeuropäische Staaten den Anteil der EE bis 2050 erhöhen, während ost- und mitteleuropäische Staaten weiter vorwiegend auf fossile Energiequellen setzen (Geden & Fischer 2014).

2.1.5 Umweltpolitische Impulse mit Relevanz für den Innovationsprozess

Mit der Verabschiedung umweltrelevanter Vorgaben und Grenzwerte setzte die EU Impulse, die auf eine Verminderung negativer Umwelteffekte durch die Herstellung oder den Betrieb von EE-Wärmetechnologie ausgerichtet waren. Die ordnungsrechtlichen Vorgaben trugen indirekt zum Inno-

---

13 Vgl. RECHTSQUELLENVERZEICHNIS.

14 Als *Endenergie* bezeichnet man den Teil der Primärenergie, die vom Endverbraucher nach Abzug von Transport- und Umwandlungsverlusten eingesetzt werden kann.

vationsfortschritt bei. Zum Beispiel trieben die Grenzwerte für Feinstaub (1999/3/EG), die anschließend auch auf Bundesebene verankert wurden, die Entwicklung emissionsarmer Verbrennungstechniken bei Holzheizungen voran.[15] Der Innovationsprozess von Wärmepumpen wurde von nationalen Verordnungen zum Verbot von ozonschädigenden FCKW-haltigen Kühlmitteln flankiert. Eine nationale Regelung zum FCKW-Verbot in Neuanlagen griff in diesem Fall der EU-Ebene vor.[16]

Die EU-Richtlinie 2002/95/EG beförderte die Umstellung von schwarzchrom- bzw. schwarznickelhaltigen Solarabsorber-Beschichtungen, die das hochgradig gesundheitsgefährdende und umweltschädigende Chrom VI enthalten, auf weniger schädliche Chrom VI-freie Beschichtungen. Die Richtlinie wurde schließlich mit dem Elektro- und Elektronikgerätegesetz von 2005 in deutsches Recht umgesetzt. Danach durften Elektrogeräte, die Chrom VI enthalten, nicht mehr „erstmals in Verkehr gebracht" werden. Auch wenn dieses Verbot nicht explizit für Solarthermie-Kollektoren galt, trug es zum Innovationsfortschritt bei, indem neue, leistungsfähigere Beschichtungen entwickelt wurden.[17]

2.2 Rahmenbedingungen der EE-Wärmepolitik auf nationaler Ebene

2.2.1 Vorläufer der Erneuerbare-Energien-Politik

2.2.1.1 Institutionalisierung des Umwelt- und Ressourcenschutzes

Die Diskussion um die Erhaltung der Umwelt und einen schonenderen Umgang mit natürlichen Ressourcen begann in der Bundesrepublik Deutschland bereits in den 1960er Jahren (Bruns et al. 2009, 53). Niederschlag erfuhr die Debatte u. a. im 1970 verabschiedeten „Sofortprogramm für Umweltschutz“ unter der Bundesregierung von Willy Brandt, welche die Einrichtung eines Umweltreferates im Bundesinnenministerium veranlasste. Ein Jahr später folgte das erste Umweltprogramm, in dem die seither gültigen Axiome des Verursacher-, Vorsorge- und Kooperationsprinzips im Umweltschutz festgehalten wurden. Nachdem bereits 1971 ein Umweltressort im BMI angesiedelt worden war, wurde 1974 das Umweltbundesamt als Fachbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministers des Inneren gegründet. Damit war eine Institution geschaffen, die vor dem Hintergrund der Ölpreiskrise und der Debatten um alternative Energieversorgungsmodelle den Ausbau regenerativer Energien zur Strom- und Wärmeproduktion unterstützte.

2.2.1.2 Energiesparen und Nutzung regenerativer Energiequellen – Folgen der Ölpreiskrise

Im weiteren Politikprozess wurde Ende der 1970er Jahre die Enquête-Kommission „Zukünftige Kernenergie-Politik“ eingerichtet. Sie veranschlagte in ihrem Bericht vom 27. Juni 1980 die Kosten für ein Energieeinsparungsprogramm auf 460 bis 512 Mrd. DM. Als Auswirkung eines solchen Programmes erkannte die Enquête-Kommission, dass es auch „unter vorsichtiger Einschätzung der Akzelerator- und Folgewirkungen zu einer durchschnittlichen Erhöhung der Beschäftigtenzahl in der Bundesrepublik zwischen 700.000 und einer Million führen dürfte“ (Deutscher Bundestag 1980b). Zudem hatte die Kommission einen Maßnahmenkatalog zur „Förderung von Energieeinsparungen und zur verstärkten Nutzung regenerativer Energiequellen“ erstellt. Dazu gehörte u. a. eine erhöhte Wärmeschutzanforderung bei Neubauten, wozu die Wärmeschutzverordnung (WärmeSchV) zum Energieeinspargesetz (EnEG) entsprechend zu verändern sei (Deutscher Bundestag 1980b). Im Zuge der sich ausweitenden

[15] Vgl. Abbildung Umwelt- und klimapolitische Meilensteine für die Emissionsminderung an Feuerungsanlagen (Feinstaub).

[16] Vgl. Abbildung Umwelt- und klimapolitische Meilensteine für den Einsatz von FCKW in Wärmepumpen und Kühlgeräten.

[17] Vgl. Abbildung Umweltpolitische Meilensteine für die Entwicklung neuer Beschichtungen bei Solarkollektoren.

Debatten um die Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung und den ersten Erfahrungen mit verschiedenen Technologien in diesem Bereich, war dies ein positives politisches Signal, was jedoch nicht als bedeutende treibende Kraft einzuordnen ist.

2.2.2 Kick-off für die deutsche Klimaschutzpolitik

2.2.2.1 Weltkongress „Klima und Entwicklung“ 1988 in Hamburg

Während der Arbeit der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ (vgl. Kapitel 2.2.2.2) fand vom 07. bis 10. November 1988 im Rahmen der internationalen Konferenzen, die schließlich zum Kyoto-Protokoll führten, der Weltkongress „Klima und Entwicklung“ mit über 600 Teilnehmern in Hamburg statt. Erstmals nahmen neben Klimaforschern auch Sozialwissenschaftler, Politiker, Vertreter der Industrie und NGOs gemeinsam an einer solchen Veranstaltung teil. Obwohl kaum dokumentiert, setzte der Kongress einen entscheidenden Impuls für den nationalen Klimaschutzprozess (Dürrschmidt 2007, mdl. in Bruns et al. 2009, 63). Das Abschlusspapier, das sogenannte „Hamburg Manifest“, forderte, den CO_2-Ausstoß bis 2000 weltweit um 30 % und bis 2015 um 60 % zu reduzieren (FAZ 14.11.1988; TAZ 11.11.1988, 3). Vertreter der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ stellten ihren ersten Zwischenbericht[18] vor, ein Auftritt, der auch die Politik für die Problematik des drohenden Klimawandels sensibilisierte (Dürrschmidt 2007, mdl. in Bruns et al. 2009, 63).

2.2.2.2 Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ 1987-1990

Mit der Einberufung der Enquête-Kommission des Deutschen Bundestages „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ im Jahr 1987 wurde ein Gremium gebildet, das wesentlich dazu beitrug, den anthropogenen Klimawandel als wichtiges politisches Handlungsfeld („agenda setting“) zu etablieren. Leiter der Enquête-Kommission war Bernd Schmidbauer (CDU), der zugleich umweltpolitischer Sprecher der Union war. Trotz zahlreicher Meinungs- und Interessenunterschiede[19] wurden die Berichte der Enquête-Kommission nach Dürrschmidt (2007, mdl. in Bruns et al. 2009, 84) im Bundestag einvernehmlich verabschiedet. Die erheblichen Potenziale zur Senkung der CO_2-Emissionen im Heizwärmebereich wurden erkannt: Die Enquête-Kommission (1990, 72 f.) hielt eine Minderung der CO_2-Emissionen im Wärmesektor um bis zu 40 % bis zum Jahr 2005 für möglich.

Die Kurzfassung des Abschlussberichts der Enquête-Kommission bildete 1990 zugleich die Basis für das *erste Klimaschutzprogramm* der Bundesregierung. Es war für viele nachfolgende Entscheidungen und Initiativen ein maßgeblicher Legitimationshintergrund.[20] Im selben Jahr fand in Hamburg die Weltklimakonferenz statt. Der dort vorgelegte Bericht des IPCC gilt als internationaler Durchbruch der Klimaproblematik in der Politik. Auf dieser Konferenz erkannten nicht nur 650 Wissenschaftler, sondern auch Regierungsvertreter aus ca. 140 Staaten auf höchster politischer Ebene an, dass dringender Handlungsbedarf besteht (Bruns et al. 2009, 63). Der internationale Prozess bestätigte und legitimierte den auf nationaler Ebene auf den Weg gebrachten Politikprozess.

---

[18] Der Bericht von 1988 thematisierte besonders den Ersatz des Treibgases FCKW und Maßnahmen zur rationellen Energieverwendung.

[19] So bestanden z. B. erhebliche Meinungsverschiedenheiten darüber, welchen Anteil die Kernenergie angesichts der Klimaschutzziele haben solle.

[20] Hiervon profitierte vor allem der EE-Stromsektor. Der Bundestag wurde vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele eine treibende Kraft für die Fördergesetzgebung (hier: Stromeinspeisungsgesetz (StrEG); vgl. Bruns et al. 2009.

Der Anteil der EE-Wärmetechnologien am Endenergieverbrauch Wärme betrug im Jahr 1990 gerade einmal 2 % (BMU 2014, 15).

2.2.3 Implementierung der deutschen Klimaschutzpolitik

2.2.3.1 Kabinettsbeschluss zur CO_2-Minderung vom 07. November 1990

Der Abschlussbericht der Enquête-Kommission im Jahr 1990 transportierte den Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse und die Dringlichkeit von Klimaschutzmaßnahmen auf direktem Wege in die Politik: Aus dem Bericht resultierte am 07. November 1990 ein Kabinettsbeschluss zur CO_2-Minderung, auf den sich die Regierungsparteien in der Folge bezogen. Ziel war es, bis 2005 die CO_2-Emissionen um 25 % im Vergleich zum Basisjahr 1987 zu verringern. Der Kabinettsbeschluss zur Verminderung der CO_2-Emissionen wurde Bestandteil der Koalitionsvereinbarung der „Großen Koalition“ unter Bundeskanzler Helmut Kohl. In Umsetzung des Kabinettsbeschlusses sah die Koalitionsvereinbarung vor, den Rechtsrahmen (Energiewirtschaftsgesetz, Wärmeschutzverordnung, Heizungsanlagenverordnung, Energieeinsparungsgesetz, Kleinfeuerungsanlagenverordnung) anzupassen sowie eine Wärmenutzungsverordnung zu entwickeln (CDU/CSU/FDP 1991).

2.2.3.2 Nationales Klimaschutzprogramm 2000

Als Reaktion auf den erhöhten Kohlendioxid-Ausstoß in vielen Industrieländern verpflichtete sich Deutschland 1995 auf dem Klimagipfel in Berlin, seine CO_2-Emissionen zu senken. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde das „Nationale Klimaschutzprogramm 2000“ am 18. Oktober 2000 vom Bundeskabinett verabschiedet (Deutscher Bundestag 2000). Oberstes Ziel war die Minderung des Kohlendioxidausstoßes um 25 % bis 2005 im Vergleich zum Basisjahr 1990, was ca. 70 Mio. Tonnen pro Jahr entsprach. Im nationalen Klimaschutzprogramm des Jahres 2000[21] wurden auf alle Sektoren ausgerichtete Maßnahmenpakete erstellt, die dazu beitragen sollten, die angestrebten Emissionsminderungen zu realisieren. Für den Wärmebereich relevante Maßnahmenpakete waren u. a. die "Ökologische Steuerreform", Förderprogramme zur Energieeinsparung im Gebäudebestand sowie Maßnahmen zur Energieeinsparung in Industrie und Gewerbe. Im Wärmebereich sollten Emissionsminderungen u. a. durch die Förderrichtlinien des Marktanreizprogramms (vgl. Kapitel 2.3.3) sowie durch das Eigenheimzulagengesetz (vgl. Kapitel 2.3.3.5) angereizt werden. Zur Erreichung der Emissionsminderungsziele sollten Einnahmen aus der Versteigerung der UMTS-Lizenzen (die Bundesregierung ging von jährlich 100 Mio. DM im Zeitraum 2000 bis 2003 aus) eingesetzt werden. Jedoch profitierten die EE-Wärmeerzeugungstechnologien nicht – wie zunächst angekündigt – von diesen Mitteln. Sie flossen schwerpunktmäßig in Maßnahmen zur Förderung der EE-Stromerzeugung sowie in die KWK-Förderung. Die Mittelverwendung lässt erkennen, dass die Politik – nicht zuletzt aufgrund des damaligen Atomausstiegsbeschlusses – ihren Handlungsschwerpunkt im Bereich der EE-Stromerzeugung sah.

2.2.3.3 Nationales Klimaschutzprogramm 2005

Am 13. Juli 2005 beschloss die Bundesregierung, das Nationale Klimaschutzprogramm weiterzuentwickeln. Der Fokus war wiederum auf KWK und die EE-Verstromung gerichtet. Zudem sollte der Ausbau der Biokraftstoffe bis 2020 auf 8 % vorangetrieben werden. Sollte sich die EU-15 für die zweite Verpflichtungsperiode im Rahmen des Kyoto-Protokolls entscheiden, die THG-Emissionen um 30 % bis

[21] Zugleich der 5. Bericht der Interministeriellen Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“.

2020 im Vergleich zu 1990 zu reduzieren, wäre die Bundesregierung bereit einen Beitrag von 40 % zu leisten. Im Wärmebereich der privaten Haushalte sah die Interministerielle Arbeitsgruppe „CO_2-Reduktion“ zwar noch ein großes Potenzial der THG-Reduktion. Allerdings sah sie den Trend zu einer Vergrößerung der Wohnfläche pro Person, eine steigende Anzahl von „Single Haushalten“ und den Leerstand in den neuen Bundesländern, aber auch in westdeutschen Regionen als Hemmnisse an, dieses Potenzial zu nutzen.

In der Forschung und Entwicklung lag – der politischen Ausrichtung des Programms folgend – der Schwerpunkt auf Förderung von Photovoltaik, Windenergie und Biomasse. Zuwendungen im Bereich der Solarthermie und der Geothermie standen erst an zweiter Stelle. Die Gewichtung auf Strom wurde auch bei der Entwicklung der EE-Technologien in den verschiedenen Bereichen deutlich. Während EE-Strom zwischen 2000 und 2004 von 6,7 % auf 9,3 % Anteil an der Bruttostromerzeugung anstieg, war es bei EE-Kraftstoffen ein Anstieg von 0,3 % auf 1,6 % am Kraftstoffverbrauch und bei EE-Wärme 3,9 % auf 4,2 % an der Wärmebereitstellung (BMU 2005).

2.2.3.4 Integriertes Energie- und Klimaprogramm“ 2007 („Meseberger Beschlüsse“)

Im März 2007 hatte der Europäische Rat beschlossen, den Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch bis 2020 auf 20 % zu steigern. Darauf aufbauend stellte die Bundesregierung 2007 mit dem „Integrierten Energie- und Klimaprogramm“ (IEKP) die Weichen für eine klimaverträglichere Energieversorgung in Deutschland. Zur Umsetzung des IEKP wurde noch im Dezember 2007 ein erstes Maßnahmenpaket mit 14 Gesetzes- und Verordnungsvorhaben beschlossen. Im darauffolgenden Jahr wurden in einem zweiten Maßnahmenpaket 15 weitere Gesetzes- und Verordnungsvorhaben mit Schwerpunkt Energieeffizienz auf den Weg gebracht. Für den EE-Wärmebereich waren vor allem die geplante Einführung einer EE-Nutzungspflicht im EEWärmeG und die Verstärkung des Marktanreizprogramms als direkte Maßnahmen relevant.[22] Indirekt waren zudem Bestimmungen bei der Energieeffizienz, die Verschärfung der Gebäude-Effizienzanforderungen (EnEV) sowie die Novellierung der Heizkostenverordnung und des KWK-Gesetzes von Bedeutung. Die Schwerpunktsetzung lag jedoch auf dem EE-Stromsektor, gefolgt von Maßnahmen im Verkehrssektor. Auf die Umsetzung einiger der genannten Gesetzesvorhaben wird in Kapitel 0 näher eingegangen.

2.2.3.5 Energiekonzept 2010

Das Energiekonzept 2010 der schwarz-gelben Koalition unter Bundeskanzlerin Angela Merkel legte die Ziele der Energiewende fest. Zur Erreichung dieser Ziele sollte das Energiesystem so transformiert werden, dass die gesetzten THG-Emissionsreduktionen bis 2020 um 40 % und bis 2050 um 80 % gegenüber dem Basisjahr 1990 erreicht werden könnten. Der Fokus des Energiekonzepts lag klar auf EE-Strom. Hier erörterte die Bundesregierung detailliert die weitere Entwicklung des EEG und den Ausbau der Windenergie (on- und offshore). Nach EE-Strom lag ein zweiter Fokus auf der E-Mobilität.

Für den Wärmesektor vereinbarte die Koalition, dass die Sanierungsrate für Gebäude von weniger als 1 % im Jahre 2010 auf 2 % im Jahr 2020 verdoppelt werden solle. Diese Festlegung verlieh der Gebäudeeffizienzstrategie Nachdruck, sorgte aber nicht zwingend für einen höheren Anteil von EE-Wärmetechniken. Insofern ging vom Energiekonzept 2010 kein treibender Impuls für den verstärkten Ausbau der EE-Wärme aus (Bundesregierung 2010).

[22] Ein konkretes “14-%-Ziel” wurde erst mit der Verabschiedung des EEWärmeG, das 2009 in Kraft trat, verankert.

2.3 Rechtliche und förderpolitische und Impulse

2.3.1 Entwicklung des Rechtsrahmens zur Minderung des CO_2-Ausstoßes ab 1990

Zu Beginn der 1990er Jahre lag die Aufmerksamkeit klimapolitisch motivierter Gesetzgebung auf dem Stromsektor. Die Verabschiedung des Stromeinspeisungsgesetzes (StrEG 1991 und 1994) und der Kampf um die Etablierung eines kontinuierlichen Förderinstruments banden die Kräfte. Etabliert wurde hier ein an der Erzeugung orientiertes „garantiertes Vergütungssystem". Im Kraftstoffsektor wurde die Biokraftstoffquote eingeführt, durch die Mindestanteile der Beimischung von Biokraftstoffen erreicht werden sollten.

Die CO_2-Minderungsstrategien im Wärmesektor knüpften in den 1990er Jahren zunächst an der Verbesserung der Gebäudeenergieeffizienz (vgl. Kapitel 2.3.1.1) oder der Anlageneffizienz an. Hierfür gab es bereits einen ordnungsrechtlichen Rahmen, den es auszugestalten galt. Das ordnungsrechtliche Modell der Reglementierung zur Verbesserung der Energieeffizienz bzw. -einsparung galt grundsätzlich als geeignet. Durch welche Instrumentarien die Strategie der CO_2-Minderung durch den Einsatz erneuerbarer Energien im Wärmesektor am wirkungsvollsten implementiert werden könnte, war jedoch umstritten. Die Diskussion über mögliche Anreizmodelle begann bereits Ende der 1990er Jahre, mündete jedoch erst ein Jahrzehnt später in einen konkreten Gesetzesentwurf (vgl. Kapitel 2.4.1.1).

2.3.1.1 Rechtsrahmen zur Steigerung der Gebäudeenergieeffizienz

Die Rechtsentwicklung zur Minderung des CO_2-Ausstoßes im Wärmebereich in den 1990er Jahren knüpfte mit der Heizungsanlagenverordnung an konsensfähige Maßnahmen zur Anlageneffizienz und Emissionsreduzierung an. Parallel wurden Anforderungen an die Gebäudeenergieeffizienz, insbesondere an den Wärmeschutz (Wärmeschutzverordnung, Wärmenutzungsverordnung) fortentwickelt. Mitte der 1990er Jahre brachte die Bundesregierung zwei Gesetzgebungsvorhaben auf den Weg. Die Fortschreibung der Heizungsanlagenverordnung (1994)[23] und der Wärmeschutzverordnung (1995)[24] setzten an der Verbesserung der Technologie und der Energieeinsparung an. Vor allem die Wärmeschutzverordnung löste umfangreichen Abstimmungsbedarf zwischen den Ländern und der Bundesebene aus und beschäftigte den Bund-Länder Arbeitskreis „Energie und Umwelt" über einen längeren Zeitraum (Seidler 31.01.2014).

Im November 2001 wurden die Wärmeschutzverordnung (WärmeSchV vom 16. August 1994) und die Heizanlagenverordnung (HeizAnlV vom 04. Mai 1998) zur Energieeinsparverordnung (EnEV)[25] zusammengeführt. Sie trat zum 1. Februar 2002 in Kraft. Grundlage der Verordnung ist das Energieeinspargesetz (EnEG). Als Fortschritt der EnEV gegenüber den Vorläufern gilt, dass in der EnEV die Gesamtenergieeffizienz zugrunde gelegt wird. Dies erlaubt eine integrale Betrachtung von Gebäudehülle (Dämmung von Fassade, Dach, Fenster etc.) und Anlagentechnik.

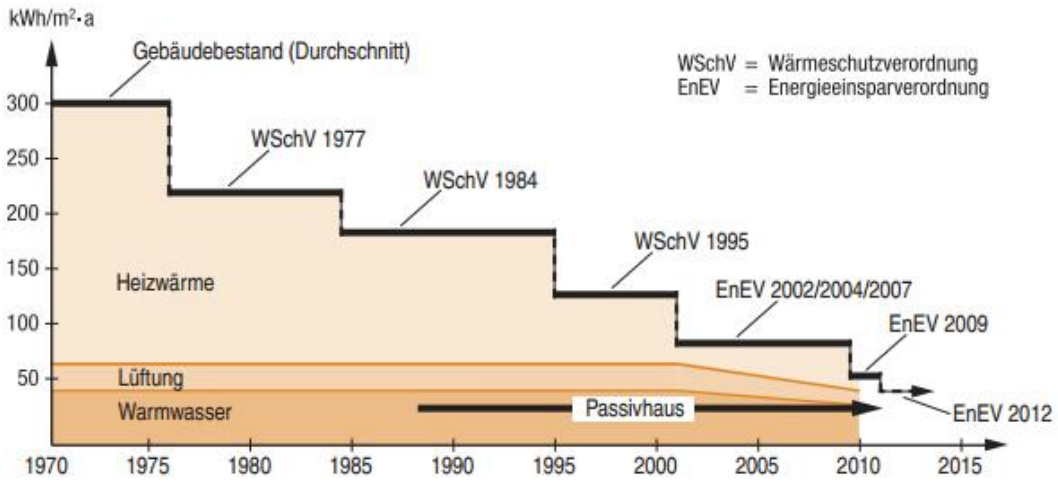
---

[23] Für die Neufassung der Heizungsanlagenverordnung war das Bundesbauministerium zuständig. Sie trat am 1. Juni 1994 in Kraft und diente im Wesentlichen der Umsetzung der Europäischen Heizkesselrichtlinie (92/42/EWG). Eine weitgehend auf formale Änderungen beschränkte Fassung wurde im Mai 1998 verabschiedet.

[24] Zuständig für die Verordnung waren das Bundeswirtschaftsministerium und das Bundesbauministerium. Die novellierte Dritte Wärmeschutzverordnung trat 1995 in Kraft.

[25] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 16. November 2001, BGBl. I S. 3085.

Die Energieeinsparverordnung (EnEV 2002) setzte neue Standards für den Energiebedarf im Neubau, blieb damit allerdings hinter den Niedrigenergiehausstandards zurück. Angekündigt war jedoch, die Regelung im Zuge von Fortschreibungen zu verschärfen. Weitere Meilensteine waren die Einführung der Verpflichtung zur Erstellung von Energieausweisen (EnEV 2007) und die Verschärfung der primärenergetischen Mindestanforderungen an die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden: Mit der EnEV 2009 wurde der Jahres-Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasser um durchschnittlich 30 % gesenkt.



Quelle: (FNR 2012, 10)

Abbildung 2-2: Entwicklung der Grenzen des Energiebedarfs im Gebäudebestand

Damit sorgte die EnEV für mehr Gebäudeenergieeffizienz und trug zur Senkung des Wärmebedarfs in Gebäuden bei. Ihre Wirkung entfaltet die Verordnung vor allem im Neubau. Die erneute Novellierung der EnEV 2014 sieht eine weitere Reduzierung des Jahres-Primärenergiebedarfs um 25 % vor. Bis 2020 soll dadurch der „Niedrigstenergiehausstandard" erreicht werden.[26] Wie bei allen ordnungsrechtlichen Maßnahmen hängt die Wirksamkeit vom Vollzug bzw. der Kontrolle der Einhaltung der Standards ab. Bei der EnEV ist diese Aufgabe mit einem hohen Aufwand verbunden, denn es müsste nicht nur die *Planung* der Gebäudehülle und Anlagentechnik überprüft werden, sondern auch deren tatsächliche bautechnische *Ausführung*.[27] Für die Vollzugskontrolle der EnEV sind die Bundesländer zuständig, die die notwendigen Voraussetzungen für die Wahrnehmung der Vollzugskontrolle aufgrund des damit verbundenen Aufwands jedoch nur zögerlich treffen.

2.3.1.2 EE-Nutzungspflichten im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) ab 2008

Mit Verabschiedung eines EEWärmeG im Jahr 2008 durch die Bundesregierung[28] (Inkrafttreten zum 01. Januar 2009) wurde erstmals eine (anteilige) Nutzungspflicht für erneuerbare Energien eingeführt.[29] Das Gesetz soll dazu beitragen, bis zum Jahr 2020 einen Anteil von 14 % am Endenergie-

[26] Vgl. STANDARDS FÜR DEN HEIZWÄRMEBEDARF.

[27] Die Überprüfung der faktischen Erfüllung im gebauten Zustand erweist sich als schwierig, zumal Wohngebäude oft bauabnahmefrei sind und sich somit kein formaler Anknüpfungspunkt für eine Abnahme der Energiestandards bietet.

[28] Die Gesetzgebungskompetenz des Bundes ergibt sich aus Artikel 74 Abs. 1 Nr. 24 GG, denn die Bestimmungen fallen in den Bereich der Luftreinhaltung.

[29] Die Verabschiedung des Gesetzes ist auch im Zusammenhang mit dem Beschluss des Europäischen Rates vom 8./9. März 2007 zu sehen, den Anteil erneuerbarer Energien in der EU bis 2020 auf 20 % zu erhöhen (vgl. Kapitel 2.2.2).

verbrauch Wärme zu erreichen (§ 1 EEWärmeG). Frühere Vorstöße, Nutzungspflichten z. B. im Rahmen der Verabschiedung der Wärmenutzungsverordnung im März 1995 zugleich einzuführen, fanden noch keine ausreichende politische Unterstützung (Meng et al. 1992; Schaefer & Bressler 1994; Böcher & Töller 2012). In den Ländern gab es zu unterschiedliche Vorstellungen über das Instrumentarium (Zumutbarkeit ordnungsrechtlicher Vorgaben in Form einer Nutzungspflicht und Finanzierung fiskalischer Anreize). Zeitweilig standen auch Modelle zur Förderung erneuerbarer Wärmeanteile in Wärmenetzen, etwa über eine EEG-ähnliche Einspeisevergütung, zur Diskussion. Allerdings mündete diese Debatte nie in einem konkreten Entwurf.

Der Gesetzgebungsprozess unter Federführung des Bundesumweltministeriums war von Kontroversen um die Ausgestaltung des Fördermodells begleitet. Umstritten war die Reichweite der Nutzungspflicht, vor allem der Einbezug des Gebäudebestands, die Substitutionsmöglichkeiten sowie Form und Umfang der Förderung.

Von den beteiligten Ressorts setzte sich lediglich das Bundesumweltministerium dafür ein, die CO_2-Minderung nicht allein durch Energieeinsparung, sondern optional auch durch die Substitution fossiler Wärmetechniken zu erreichen. Daher sollte neben der Nutzungsverpflichtung eine verlässliche Förderung für EE-Wärmetechnologien implementiert werden. Das Bundesbauministerium fokussierte sich hingegen auf Gebäudeenergieeffizienzmaßnahmen und sah im Einsatz von EE-Wärmeerzeugungsanlagen lediglich weitere Kostensteigerungen für Anwender. Das Bundesbauministerium lehnte es allerdings ab, diese Kostensteigerungen durch staatliche Zuschüsse oder Steuererleichterungen gegen zu finanzieren. Dieses grundlegende Kostendilemma engte den Spielraum für ordnungsrechtliche Nutzungsvorgaben ein. Von den im Vorfeld des Gesetzentwurfs im Bundesumweltministerium erarbeiteten Fördermodellen für EE-Wärme fand keines eine eindeutige Unterstützung der beteiligten Ressorts.

Die Nutzungspflicht und die Kostenteilung der dadurch verursachten Mehrkosten entwickelten sich zum zentralen Streitpunkt. Mehrere Verbände[30] lehnten den ersten Entwurf des EEWärmeG vom 18. Oktober 2007 kategorisch ab. Die Bau- und Immobilienwirtschaft wehrte sich gegen etwaige Kostensteigerungen und die Gas- und Ölbranche gegen alle nicht technologieoffenen Fördermodelle, da diese zu einer Wettbewerbsverzerrung führten. Der Kessellobby ging vor allem die Festlegung von Mindestanteilen erneuerbarer Energien entschieden zu weit.[31]

Der EEWärmeG-Entwurf, auf den sich die beteiligten Ressorts 2008 schließlich einigten, beinhaltete vielfältige Kompromisse[32]: Die Nutzungspflicht beschränkte sich nur auf den Neubau von Wohngebäude. Der Gebäudebestand wurde ausgeklammert. Grundsätzlich wurde die Möglichkeit eingeräumt, der Nutzungspflicht ersatzweise z. B. durch Effizienzmaßnahmen (Übererfüllung der EnEV) nachzukommen. Diese Regelung sollte für die notwendige Flexibilität sorgen, um im Einzelfall sinnvolle und kostengünstige Lösungen zu finden. Die Instrumente EEWärmeG (Nutzungspflicht) und MAP sollten die Strategie „Fordern und Fördern“ umsetzen. Geplant war, das Fördervolumen des MAP im Zeitraum von 2009 bis 2012 auf „bis zu 500 Mio. Euro jährlich“ anzuheben.[33].

---

30 Hierbei handelte es sich um die Verbände BDEW, BDH, BFW, DVGW, FIGAWA, GdW, Haus & Grund, IWO, MWV und ZIV.

31 Aus ihrer Sicht sei der Austausch der alten Kessel gegen neue Brennwerttechnologie zu bevorzugen. Dieser Austausch berge ein großes CO_2-Einsparpotenzial und sei zudem wirtschaftlich tragfähig.

32 Nach Becker & Leprich (2008, 9) lag dieses u. a. an der Konfliktscheu der Politik gegenüber der etablierten Gas- und Mineralölwirtschaft.

33 Der jährliche Förderbetrag wurde aus den Auktionserlösen der Emissionszertifikate finanziert.

Nachdem das EEWärmeG 2009 in Kraft getreten war, musste 2010 jedoch ein Förderstopp aufgrund knapper Haushaltsmittel verhängt werden. Die Förderkomponente für den Neubaubereich entfiel ersatzlos. Ab 2010 konnten Fördermittel nur noch für EE-Wärmetechnologien im Gebäudebestand beantragt werden, sodass. Dies galt jedoch nicht, wenn Anlagen installiert wurden, die aufgrund ihrer technischen Voraussetzungen, den im Rahmen der Nutzungspflicht festgelegten Anteil übererfüllten. Eine Solarthermie-Anlage die beispielsweise 30 % anstelle der verpflichtenden 15 % des Wärmebedarfs decken kann, konnte weiterhin durch das MAP gefördert werden. Allerdings wurde die Fördersumme hierfür im Gegensatz zu Anlagen für den Gebäudebestand um 25 % reduziert.

EEWärmeG 2011

Durch die Richtlinie 2009/28/EG wurde eine Anpassung verschiedener bundesdeutscher Gesetze an EU-Recht notwendig. Dies betraf auch das EEWärmeG, wie aus dem Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie 2009/28/EG vom 12. April 2011 (EAG EE) hervorgeht. Durch die Novellierung des Jahres 2011 erweiterte sich der Geltungsbereich des EEWärmeG über den Neubau hinaus auf Bestandsgebäude der öffentlichen Hand. Diese Gebäude sollten „Vorbildfunktion“ übernehmen. Die große Masse des privat und gewerblich genutzten Gebäudebestands unterliegt jedoch weiterhin nicht der Nutzungspflicht.

Die Vorschriften des Gesetzes wurden überdies auf die Erzeugung von Kälte zur Gebäudekühlung erweitert. Damit wurden diese Technologien im Gesetz verankert, ohne dass jedoch spezifische Nutzungspflichten oder Anteile festgelegt wurden.

Mit einer Verspätung von rund einem Jahr legte die Bundesregierung den obligatorischen Erfahrungsbericht zum EEWärmeG am 20. Dezember 2012 vor (BMU 2012a). Der Erfahrungsbericht konstatierte positive Entwicklungen, formulierte aber auch Anregungen für eine Neujustierung. So wurde z. B. angeregt zu überdenken, ob eine Priorisierung von *nicht* auf Biomasse basierenden Energieträgern erfolgen solle. Die Gutachter sprachen sich auch für eine Ausweitung der Nutzungspflicht auf den Bestand aus. Um einem Sanierungsstau entgegenzuwirken, müsse eine stetige, haushaltsunabhängige finanzielle Förderung für den Altbau etabliert werden.

Eine ursprünglich für 2012 vorgesehene Novellierung des EEWärmeG kam nicht zustande. Die letzte Änderung vom Juli 2014 war primär redaktioneller Art. Trotz der bestehenden Einschränkungen ist das EEWärmeG mit der darin verankerten Nutzungspflicht ein treibender Einflussfaktor für die Nutzung von EE-Wärme-Technologien im Neubaubereich zu betrachten.

Der Anteil erneuerbarer Wärme an Endenergieverbrauch Wärme ist seit Einführung des EEWärmeG (2009) bis zum Jahr 2013 nur von 8,4 % auf 9,1 % angestiegen (BMU 2014, 15). Bei diesem Tempo wird es schwer sein, das Ziel des EEWärmeG bis zum Jahr 2020 einen Anteil von 14 % zu erreichen.[34]

2.3.2 Weichenstellungen im Rahmen der Forschungsförderung

2.3.2.1 Energieforschung in der Vorphase bis 1990

Als Folge der ersten Ölpreiskrise fasste der damalige Bundesforschungsminister Horst Ehmke 1974 – und ab 1977 sein Nachfolger Hans Matthöfer – die nicht-nukleare Energieforschung in einem „Rahmenprogramm Energieforschung“ unter Federführung des Bundesforschungsministeriums zusammen. Das Rahmenprogramm sah erstmals die Erarbeitung von „experimentell gesicherten Daten

[34] Hierbei ist anzumerken, dass in dem Ziel nicht nur der EE-Wärmeanteil in den Haushalten gemeint ist, sondern der inklusive Gewerbe und Industrie.

für die Einsatzmöglichkeiten von Sonnen-, Wind- und geothermischer Energie“ (Hahne 2005, 131) vor. Vor allem die Förderung der Solartechnik im Bereich der Warmwasserbereitung und Raumheizung sollte ausgebaut werden (Deutscher Bundestag 2011a, 3). Im Nachfolgeprogramm „Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980“ wurde der Bereich der erneuerbaren Energien zwar ausgebaut. Der Hauptfokus lag allerdings weiterhin auf Atomenergie und fossilen Energieträgern (BMFT 1977, 161ff.). Das „Zweite Programm Energieforschung und Energietechnologien“ zwischen 1981 und 1990 sollte neue Akzente setzen und die Fördermittel auf „erfolgversprechende Entwicklungen“ fokussieren. Auch die Entwicklung aktiver solarer Heizungssysteme war vorgesehen. Der Schwerpunkt lag auf hocheffizienten und kostengünstigen Kollektoren sowie auf neuen Speichertechnologien[35] mit dem Ziel, die Wirtschaftlichkeit der Technik zu verbessern. Es lässt sich allerdings nur schwer einschätzen, inwieweit die Forschungsförderung im Bereich der EE-Wärme Schubkraft für den weiteren Ausbau der Technologien entwickeln konnte (BMFT 1981).

2.3.2.2 Energieforschung zu EE-Wärme ab 1990

Im Jahre 1990 startete das Bundesforschungsministerium das 3. Programm Energieforschung und Energietechnologien 1990-1996. Die Wärmegewinnung aus erneuerbaren Energien war dem zweiten Schwerpunkt „Rationelle Energieverwendung“ zugeordnet. Neben der Wärmedämmung war sie ein Teil-Forschungsbereich zur Reduktion des Endenergieverbrauchs im Haushalts- und Kleinverbrauchersektor. Die Solarthermie wurde im Schwerpunkt „Entwicklung von Nutzungssystemen für südliche Klimabedingungen“ gefördert, nicht zuletzt aufgrund möglicher Exportoptionen (BMFT 1996). Diese Förderung bezog sich nicht auf Technologien zur Versorgung von Gebäuden, sondern auf Großanwendungen. Im 4. Programm Energieforschung und Energietechnologien 1996-2005 wurden die Ziele des 3. Energieforschungsprogramms weitergeführt (BMFT 1996). Auch in dieser Periode waren Technologien zur Versorgung von Gebäuden kein Gegenstand der Forschungsförderung, sodass Impulse für die hier untersuchten Technologien nicht zu erwarten waren.

Das 5. Energieforschungsprogramm (2005-2010) der Bundesregierung wurde erstmals ressortübergreifend (Umwelt, Landwirtschaft, Forschung) erstellt. Die Förderschwerpunkte wurden auf die einzelnen Ministerien verteilt. Die Haushaltsmittel für das Bundesumweltministerium zur Projektförderung „erneuerbare Energien“ betrugen rund 346 Mio. Euro – inklusive EE-Wärme (BMWi 2005). Auch im 6. Energieforschungsprogramm (2011-2015) behielt die Bundesregierung die Aufteilung nach Ressorts bei. Der Forschungsschwerpunkt verschob sich weiter Richtung erneuerbare Energien.

Die Programme entwickelten für die Entwicklung der EE-Wärmetechnik im kleinen Leistungsbereich nur begrenzte Triebkraft. Indirekt profitierte der Innovationsprozess von Solarthermieanlagen vor allem durch die institutionelle Förderung von Einrichtungen, die eine Validierung der Anlagenleistung unter Anwendungsbedingungen vorantrieben.

2.3.3 Förderung erneuerbarer Energien im Wärmesektor auf Bundesebene

Aufgrund der hohen Kostenunterschiede zu konventionellen Techniken bestand (und besteht) die Notwendigkeit, die Marktchancen der wirtschaftlich meist (noch) nicht mit konventionellen Techniken (Gas, Öl-Kessel) konkurrenzfähigen EE-Technologien zu verbessern. Hierfür wurde ein Förderinstrument etabliert, das die Markteinführung u. a. von EE-Wärmetechnologien unterstützen sollte, indem ein Teil der dem Investor entstehenden Mehrkosten durch Zuschüsse zum Teil kompensiert wurde.

[35] Die Wärmespeicherung war nach Ansicht des Ministeriums ausschlaggebend für Erfolg oder Scheitern der aktiven solaren Raumheizungsanlagen (BMFT 1981).

Die durch die Zuschüsse induzierte Nachfragesteigerung sollte wiederum zur Senkung der Produktionskosten beitragen. Sinkende Anlagenkosten galten als wichtige Voraussetzung für eine Verbreitung und höhere Wirtschaftlichkeit der Anlagentechnik im Markt.

Die Bundesförderung begann Mitte der 1990er Jahre in bescheidenem Umfang (vgl. „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“, 1994 – 1998). Ab 1999 wurde die Förderrichtlinie in wesentlichen Punkten geändert und verbessert. Nach Schallenberg (15.01.2015) begann ab 1999 eine neue Förderepoche. Im Folgenden werden die Förderrichtlinien aufgrund ihrer zentralen Bedeutung für den Innovationsprozess (Technologieentwicklung und Marktdiffusion) in ihren Grundzügen erläutert.

2.3.3.1 Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien - (Erste Förderepoche 1994-1998)

Die Koalitionsvereinbarung der damaligen CDU/FDP-Regierung sah eine Förderung erneuerbarer Energien vor, jedoch hatte dieses Anliegen keine hohe Priorität. Auf Initiative des seinerzeit zuständigen Referatsleiters[36] im Bundeswirtschaftsministerium kam schließlich dennoch ein Richtlinienentwurf zustande, der schließlich als „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ zum 1. Januar 1994 in Kraft trat.

Dieses war der Auftakt für eine anlagenbezogene Förderung von EE-Strom und -Wärmetechnologien. Zuständig für die Abwicklung der Förderanträge war das damalige Bundesamt für Wirtschaft (BAW)[37]. Das mit 10 Millionen DM für 1994 vergleichsweise geringe Fördervolumen der „Richtlinien“ verteilte sich auf ein breites Spektrum von EE-Wärme- und -Stromtechniken (vgl. Abbildung 2-3). Die Von den EE-Wärmetechnologien waren Solarkollektoranlagen und geothermische Heizzentralen förderfähig.

Im Zeitraum von 1995 bis zum Jahre 1998 bewilligte das Bundesamt für Wirtschaft insgesamt rund 100 Millionen DM für die Förderung aller Technologien. Nach Schallenberg (15.01.2015, mdl.) hatten die Richtlinien der „ersten Förderepoche“ aufgrund dieser geringen Finanzausstattung nur eine geringe Reichweite. Wenige Fördermittel verteilten sich auf ein breites Spektrum von Technologien. Dadurch war die Triebkraft der frühen „Richtlinien“ sehr begrenzt. Die Nachfrage überstieg regelmäßig das Fördermittelvolumen, sodass mehr als die Hälfte der eingereichten Anträge abgelehnt werden mussten.

2.3.3.2 Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien - Marktanreizprogramm (Zweite Förderepoche ab 1999)

Die neue Bundesregierung aus SPD und Bündnis 90/Die Grünen vereinbarte in ihrem Koalitionsvertrag einen deutlichen Schwerpunkt auf die Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien. Die "Richtlinien" wurden überarbeitet und traten nun auch als "Marktanreizprogramm" (MAP) bezeichnet am 1. September 1999 in Kraft. Die Gegenfinanzierung über Teile der Stromsteuer ermöglichte bessere Finanzausstattung.

Das Fördervolumen wurde für 1999 auf 200 Millionen DM aufgestockt. Zugleich wurde die Förderung stärker fokussiert[38], sodass die Mittelerhöhung den verbliebenen Technologien umso mehr zugute-

---

36 Dr. Paul-Georg Gutermuth, Referat Markteinführung für erneuerbare Energien.

37 Das Bundesamt für Wirtschaft (BAW) wurde durch Gesetz vom 21. Dezember 2000 mit dem Bundesausfuhramt (BAFA) zum Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) zusammengeschlossen.

38 Wind- und Wasserkraft fielen aus der Förderung. Lediglich eine Förderung kleiner PV-Anlagen über das Programm „Sonne in der Schule“ (PV zu Bildungs- und Demonstrationszwecken) war bis 2004 weiter möglich.

kam. Außerdem sollte es fortan „Zuschüsse“ und „zinsvergünstigte Darlehen“ geben: Für Zuschüsse war weiterhin das Bundesamt für Ausfuhrkontrolle (BAFA) zuständig. Die Beantragung von Schulderlassen oder Darlehen für größere Anlagen erfolgte über die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Nach Schallenberg (15.01.2015) bedeuteten die ab 1999 geltenden „MAP-Richtlinien“ einen „Quantensprung“ der Bundesförderung erneuerbarer Wärmetechnologien.

Ab 2002 ging die Zuständigkeit für die Richtlinien vom Bundeswirtschaftsministerium an das Referat Erneuerbare Energien im Bundesumweltministerium über.[39] Das Bundesumweltministerium führte die Richtlinie unverändert weiter, bis am 26. November 2003 eine vom Bundesumweltministerium erarbeitete neue Richtlinie verabschiedet wurde, die 2004 in Kraft trat. Die MAP-Richtlinien erreichten ab 2000 einen sehr hohen Bekanntheitsgrad durch die öffentlichen Medien, deren Berichterstattung die beste Werbung für das Programm war, dass zu einer hohen Nachfrage führte. Das verfügbare Fördervolumen 2003 sank auf 102 Mio. Euro zurück. Erst 2006 konnte das Bundesumweltministerium nach Haushaltsverhandlungen wieder das doppelt so hohe Förderniveau des Jahres 2000 erreichen.

Die Abwicklung der Förderanträge und das Antragsverfahren, das nach den Vorschriften der Bundeshaushaltsordnung (BHO)[40] grundsätzlich zweistufig sein musste, stellte sich zunehmend als Hemmnis für eine effektive Förderung dar. So mussten viele Anträge der überwiegend privaten Antragsteller aufgrund von formalen Fehlern abgelehnt werden. Dies führte zu Frustration bei den Antragstellern. Auch das Jährlichkeitsprinzip[41] war eine Herausforderung für die Abwicklung (kleines Zeitfenster). Das zweistufige Antragsverfahren erwies sich nicht nur als zu aufwendig und schwerfällig. Hinzu kam das Problem, dass die Ungewissheit der Förderung zu „vorsorglichen“, die Fördermittel blockierenden Antragstellungen führte (erste Stufe). Ein Teil der Projekte wurde dann aber nicht in dem jeweiligen Antragsjahr realisiert, sodass die Mittel in der zweiten Stufe nicht abgerufen wurden. Nach Schallenberg (ebd.) gab es Ausfallquoten von bis zu 20 %.

2006/2007 erreichte die BAFA durch die Initiative des zuständigen Unterabteilungsleiters Gerhard Schallenberg gegen erhebliche Widerstände eine für diesen Förderumfang einmalige haushaltsrechtliche Ausnahme: Das bisherige zweistufige Antragsverfahren wurde auf ein „einstufiges Verfahren“ (nachträgliche Prüfung und Bewilligung) umgestellt. Die Umstellung war nach Schallenberg (15.01.2015) ein „Quantensprung“: Sie senkte den Bearbeitungsaufwand erheblich und führte zu einem besseren Mittelabfluss, was auch für die Darstellung des Programmerfolgs gegenüber der Politik und anderen Ressorts wichtig war.[42]

Bereits in der ersten Förderepoche wurden mit der Richtlinienänderung 1995 bestimmte technische Standards als Fördervoraussetzung eingeführt (vgl. FÖRDERANFORDERUNGEN). Dadurch legte das MAP höhere Maßstäbe für Anlagen an, die sich an der Technikentwicklung ausrichteten. Damit sollten die jeweils am Markt besten verfügbaren EE-Wärmetechniken gefördert werden. In diesem Zusammen-

---

[39] Grundlage des Zuständigkeitswechsels war ein Organisationserlass des Bundeskanzleramtes. Nach der Übernahme der Zuständigkeit führte das Bundesumweltministerium die Richtlinie unverändert weiter. Am 26. November 2003 wurde eine vom Bundesumweltministerium erarbeitete neue Richtlinie verabschiedet, die 2004 in Kraft trat. Mit der Abwicklung wurde weiterhin das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beauftragt, eine dem Bundeswirtschaftsministerium nachgeordnete Behörde. Die Fachaufsicht übte jedoch das Bundesumweltministerium aus.

[40] Wie bei allen Zuwendungen aus öffentlichen Mitteln richtete sich die Bewilligung der Förderanträge nach § 44 Bundeshaushaltsordnung. Diese Vorschriften sehen ein zweistufiges Antragsverfahren vor: Es findet zunächst eine Projektprüfung *vor* der Durchführung statt. Auf deren Grundlage erfolgt die Bewilligung der Mittel. Nach Durchführung des Projektes wird das Projekt erneut im Hinblick auf die sachgerechte Mittelverwendung geprüft

[41] Haushaltsgrundsatz, wonach ein Haushaltsplan bzw. das Förderinstrument nur eine einjährige Wirksamkeit hat.

[42] Trotz der positiven Effekte ist das einstufige Verfahren unter den Haushältern bis heute umstritten.

hang bekam die vom BAFA herausgegebene Liste der förderfähigen Anlagen eine hohe Bedeutung, denn die Einhaltung der Standards war nahezu gleichbedeutend mit dem Markterfolg für die Hersteller. Folglich reizten diese Anforderungen die Hersteller zu technischen Innovationen an und schlechtere Anlagen verschwanden schnell vom Markt. Auch die Bonusregelungen[43] für besondere innovative Produkte verstärkten technische Innovationen an bzw. trieben diese weiter.

Abbildung 2-4 zeigt, welche Technologien nach den Förderrichtlinien der beiden Epochen jeweils Gegenstand der Förderung waren.[44] Für den Wärmebereich ist festzuhalten, dass Solarkollektoren und Biomasseheizungen durchgängig förderfähig waren. Hingegen gab es bei Wärmepumpen zwischen 2001 und 2007 eine Förderunterbrechung.

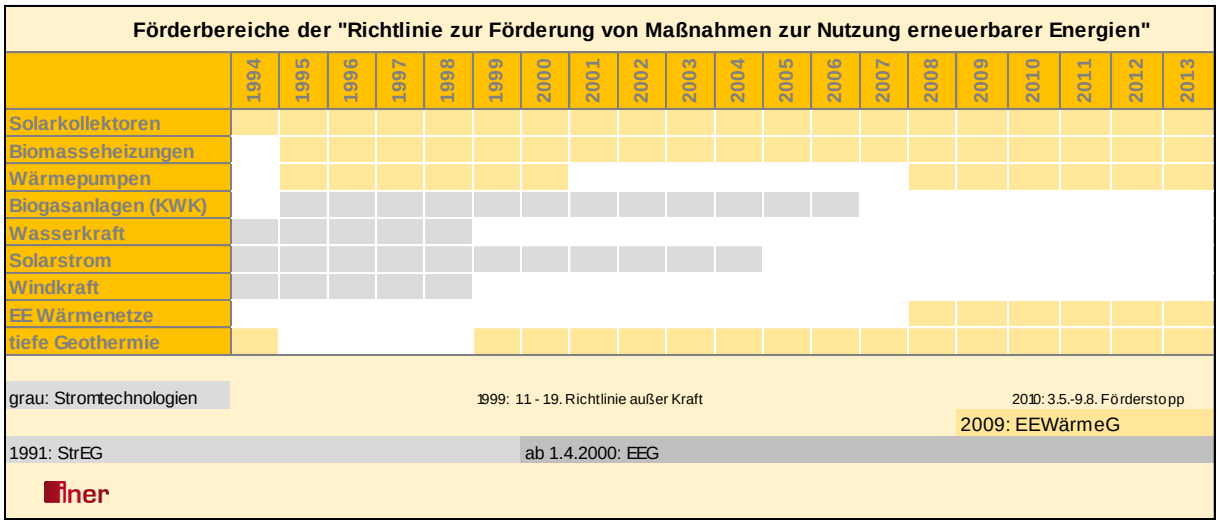


Abbildung 2-3: Wesentliche Förderbereiche gemäß der „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ ab 1994[45]

Ab 2008, nach Verabschiedung der „Richtlinien zur Förderung von MAßNAHMEN zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“ wurden schließlich nur noch Wärmetechnologien gefördert. Die Bezeichnung der Richtlinien konkretisierte sich folglich zu “Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt“. Das Fördervolumen sollte, um die Nutzungspflichten für EE-Wärme im Neubau zu flankieren - mit Mitteln aus den Erlösen des Verkaufs von CO_2-Zertifikaten auf „bis zu 500 Mio. Euro pro Jahr“ aufgestockt werden. Ausgelöst durch die Finanz- und Wirtschaftskrise führte eine qualifizierte Haushaltssperre im Mai 2010 zu einer Förderunterbrechung: 115 Mio. Euro wurden „eingefroren“. Zwar wurde die Sperre schon im Juli wieder aufgehoben. Jedoch blieb eine Verunsicherung der Antragsteller zurück und Hersteller – insbesondere der Solarthermiebranche – hatten teils massive Absatzrückgänge zu verkraften. Die Förderhöhe erreichte danach nicht wieder ein solches Niveau (vgl. Abbildung 2-4).

43 Z.B. Bonusregelung für effiziente Umwälzpumpen; für Funktionskontrollgeräte bei Solarthermieanlagen; für Solarpumpenbonus; für Systemlösungen für Kopplung von Solarthermie und Brennwertkesseln.

44 Die Bedeutung des Instruments wird daher in den einzelnen Spartenkapiteln näher beleuchtet.

45 Änderungen der Förderbereiche bzw. Förderbedingungen setzten nicht jeweils zum Jahresbeginn, sondern zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Laufe des jeweiligen Jahres ein.

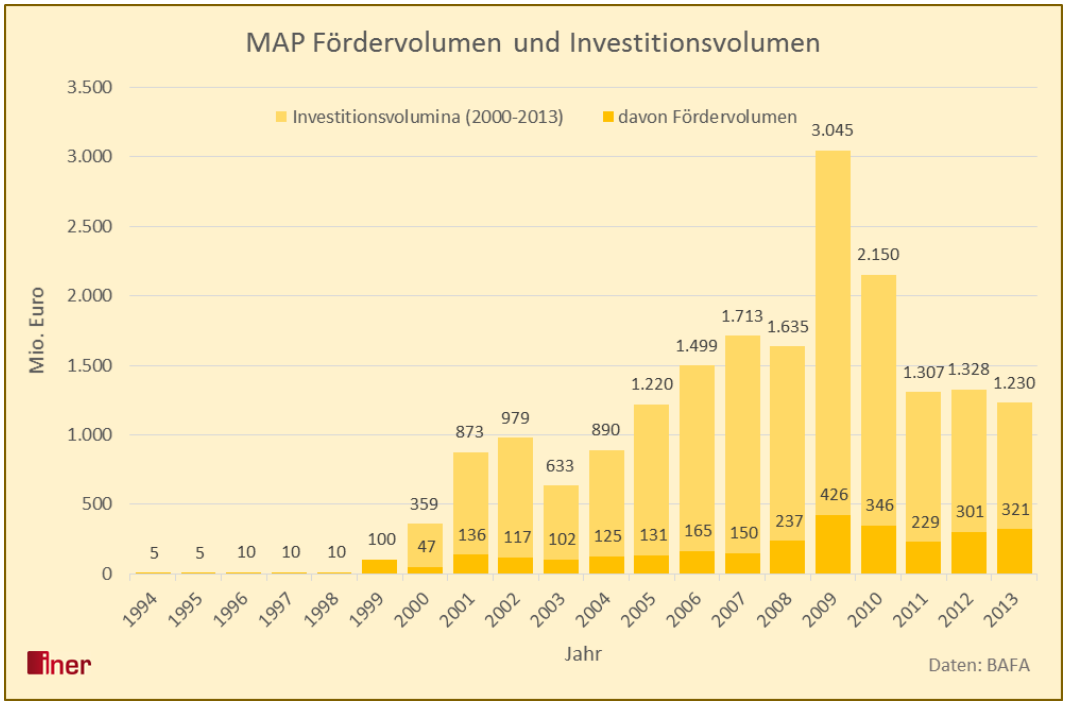


Abbildung 2-4: Entwicklung des Förder- und Investitionsvolumens

Rückblickend kann festgestellt werden, dass mit der MAP-Förderung ab Ende 1999 eine neue Qualität der Förderung erreicht wurde; mit dem einstufigen Verfahren wurden die administrative Abwicklung signifikant verringert und bürgerfreundlicher gestaltet. Die verfügbaren Mittel variierten im Zuge der Fortschreibungen aufgrund der Abhängigkeit vom Bundeshaushalt beträchtlich.

Dieser Umstand schmälerte die Investitionssicherheit für potenzielle Antragssteller. Entstehen gar längere Förderpausen, etwa durch vorzeitiger Mittelausschöpfung (2006) oder einem Haushaltsstopp (2010), kann ein dadurch bedingter Absatzrückgang die Hersteller zum Teil empfindlich treffen. Hersteller- und Verbraucherverbände setzen sich folglich für eine Verstetigung der MAP-Förderung bzw. die Überführung in ein haushaltsunabhängiges Förderinstrument ein. Bisher fehlte dafür die notwendige Unterstützung der Politik und der anderen Ressorts. Mit dem Regierungswechsel 2013 kam die Forderung nach Verstetigung als Ziel in den Koalitionsvertrag. Ob und wie der Koalitionsbeschluss umgesetzt wird, ist gegenwärtig noch offen.

Das MAP kann als wichtiger förderpolitischer Impuls für das Innovationsgeschehen bezeichnet werden, trotz haushaltsbedingt schwankender Mittelausstattung, der Möglichkeit vorzeitig ausgeschöpfter Haushaltsmittel bzw. temporärer Förderstopps. Vor allem Letzteres beschränkt aus der Perspektive von Herstellern und Verbrauchern die Verlässlichkeit des Programms. Die spezifischen Fördersummen decken pro Anlage nur 10 bis 15 % der Investitionskosten und damit nicht die vollen Mehrkosten ab. Gleichwohl bewirkt diese Förderhöhe für die investitionswilligen Anwender einen ausreichend großen Anreiz, von konventioneller auf EE-Heiztechnik zu wechseln.

2.3.3.3 Ökologische Steuerreform als Finanzierungsinstrument für MAP-Förderung

Mit dem Regierungswechsel 1998 zu Rot-grün verbreitete sich eine Aufbruchsstimmung im Umwelt- und Energiesektor. Bündnis90/Die GRÜNEN war zwar weniger erfolgreich bei der Aushandlung eines

sogenannten „Energiekonsens“ in ihrem Sinne, es gelang ihnen, eine Ökologische Steuerreform[46] durchzusetzen. Die vereinnahmte Stromsteuer auf den aus erneuerbaren Energien gewonnenen Strom bildete die Finanzierungsgrundlage für beabsichtigte Verstärkung der EE-Förderung über den Bundeshaushalt. Auch für den Wärmebereich verbesserten sich die Voraussetzungen für die Förderung. Mithilfe der Stromsteuer konnten „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ mit deutlich mehr Mitteln ausgestattet werden.[47]

2.3.3.4 Förderung durch steuerliche Abschreibungsmöglichkeiten

Eine steuerliche Förderung von EE-Anlagen nach § 82a des Einkommensteuergesetzes (EStG) als Sonderabschreibung wurde ab 1. Januar 1991 in den alten Bundesländern von 10 % auf die normale Gebäudeabschreibung – zwischen 2 % und 3,5 % jährlich und in den ersten acht Jahren seit Fertigstellung/Erwerb auf 5 % pro Jahr – reduziert. In den neuen Bundesländern galt sie unverändert noch bis zum 31. Dezember 1994. Versuche, wieder eine höhere steuerliche Geltendmachung von Aufwendungen für die Modernisierung von Heizungstechnologien zu erreichen, scheiterten seither. Die steuerliche Besserstellung von EE-Heizungstechnik gegenüber konventionellen Heizungen fand keine Mehrheit. Der Vorstoß, im Zuge der EnEV-Novelle neben der steuerlichen Begünstigung von energetischen Sanierungsmaßnahmen an Wohngebäuden (Gebäudehülle) auch eine Begünstigung des Einbaus neuer EE-betriebener Heizungsanlagen zu erreichen, scheiterte.[48]

2.3.3.5 Eigenheimzulagengesetz

Anfang 1996 wurde die Wohneigentumsförderung (Eigenheimzulagengesetz) – für Neubauten und Kauf einer Bestandswohnung – um eine Zusatzförderung für Energieeinsparinvestitionen erweitert. Dieser Fördergrundbetrag betrug für den Einbau einer Wärmepumpe, Wärmerückgewinnungs- oder Solaranlage (sog. Öko-Zulage) 2 % der Kosten, allerdings höchstens bis zu 500 DM pro Jahr, und 400 DM pro Jahr für Niedrigenergiehäuser im Zeitraum über acht Jahre. Im Zeitraum 1996 bis 1998 wurden in rd. 77.000 Fällen Energieeinsparinvestitionen mit einem Volumen von 26 Mio. DM (Deutscher Bundestag 2000, 80f.) gefördert. Die „Öko-Zulagen“ galten bis zum Inkrafttreten der Energieeinsparverordnung (EnEV). Sie sollten den Übergang zur EnEV, in der entsprechende Standards gesetzlich vorgeschrieben wurden, förderpolitisch kontinuierlich begleiten (Deutscher Bundestag 2000, 109).

Die Förderwirkung des Eigenheimzulagengesetzes für die Diffusion der EE-Wärmetechnologien wurde jedoch durch die Unübersichtlichkeit von ordnungsrechtlichen und förderpolitischen Maßnahmen für private und gewerbliche Investoren eingeschränkt. Um die Möglichkeiten der finanziellen Unterstützung zu finden und zu nutzen, war professionelle Unterstützung (z. B. von Energieberatern) erforderlich. An dieser Situation änderte sich auch nach Auslaufen der Öko-Zulage und Einführung der EnEV nur wenig.

---

46 Kurzform für “Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform” vom 24. März 1999 (BGBl. I S. 378). Darin enthalten war die Neueinführung einer Stromsteuer und Umgestaltung der Steuersätze der Mineralölsteuer nach ökologischen Kriterien. Die Einnahmen aus der Steuerreform sollten für die Finanzierung des MAP eingesetzt werden.

47 Die Aufstockung sollte 1999 180 Mio. und 2000 240 Mio. DM betragen. Es lässt sich leider nicht feststellen, ob das entsprechend umgesetzt wurde.

48 Der Bundestag hatte einen entsprechenden Gesetzentwurf zwar gebilligt, die Verabschiedung scheiterte jedoch am Widerstand der Bundesländer, welche die zu erwartenden finanziellen Belastungen bzw. Mindereinnahmen nicht tragen wollten.

2.3.4 Förderung der regenerativen Wärmenutzung in den Bundesländern

Einige Landesregierungen[49] verabschiedeten bereits Ende der 1980er Jahre Gesetze, auf deren Grundlage einzelne Programme zur Förderung der erneuerbaren Energien zur Strom- und Wärmenutzung etabliert wurden.[50] So existierte in Bayern bereits 1978 das „Bayerische Programm Rationellere Energiegewinnung und -verwendung“ zur Förderung der Forschung. In Hessen verabschiedete die Landesregierung 1985 als erstes Bundesland ein Energieeinspargesetz. Zwei Jahre später implementierte sie dazu entsprechende Förderrichtlinien mit Gesamtmitteln von 172 Mio. DM zwischen 1987 und 1990. Die Beispiele illustrieren, dass es also bereits Aktivitäten gab, bevor die Bundesregierung den Kabinettsbeschluss zur CO_2-Minderung fasste und Aktivitäten zur Anpassung des Rechtsrahmens für eine effizientere Energienutzung startete.

2.3.4.1 Bund-Länder-Koordination

Eine Möglichkeit zur Koordination von Bundes- und Landespolitik besteht über die Bund-Länder-Arbeitskreise[51] sowie im Rahmen der Amtschef- und Umweltministerkonferenz. In der 12. Legislaturperiode waren die Länder, wie eine Auswertung der Protokolle zeigt, vor allem mit den Auswirkungen der Anpassung und Fortschreibung des Rechtsrahmens, v. a. der Wärmeschutzverordnung, beschäftigt. Von den Gremien der Bund-Länder-Koordination gingen in dieser Zeit keine Impulse für die Vereinheitlichung bzw. das Vorantreiben zukünftiger förderpolitischer Maßnahmen aus. Die Vielfalt der Landesprogramme, der Energiekonzepte und der Förderprogramme erweckt vielmehr den Eindruck, dass die Länder einer Vereinheitlichung untereinander keinen hohen Stellenwert zumaßen.

2.3.4.2 Förderprogramme in den Bundesländern

Förderrichtlinien, Gesetze und politischen Strategien der Länder entstanden in einigen Fällen auf Initiative von Einzelpersonen oder kleinen Personengruppen. Ein Beispiel hierfür ist das Programm „Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen“ (REN), das 1987 unter der SPD-Regierung mit Johannes Rau als Ministerpräsident in Nordrhein-Westfalen etabliert wurde. Die Idee ging auf eine Kooperation von Mitarbeitern des Wirtschaftsministeriums des Landes mit Wissenschaftlern des Fraunhofer-Instituts für Systemtechnik und Innovationsforschung (Fraunhofer ISI) im Jahr 1987 zurück.[52] Angesiedelt wurde das Programm im Referat „Rationelle Energiepolitik“ des Wirtschaftsministeriums. Die Motivation zur Gründung des Referates entstammte der damaligen Debatte um die praktische Umsetzung des Kernenergieausstiegs (Suck 2008, 113ff.). Ein anderes Beispiel für den Einfluss von Einzelpersonen ist das EWärmeG in Baden-Württemberg: Die Initiative

---

[49] Im vorliegenden Projekt musste eine Auswahl der vertieft zu betrachtenden Bundesländer getroffen werden. Sie sollten möglichst vielversprechend hinsichtlich der Förderung von EE-Wärme sein. Gewählt wurden Baden-Württemberg, Bayern, Nordrhein-Westfalen und Hessen als westdeutsche Beispiele (bereits vor der Wende aktiv), Brandenburg und Thüringen als Beispiele für die „neuen“ Bundesländer und Berlin als Stadtstaat. Eine ausführliche Analyse aller Bundesländer wäre innerhalb des Bearbeitungszeitraums nicht möglich gewesen, wäre aber ein Ansatzpunkt für weitere Forschung im Bereich der regenerativ erzeugten Wärme und der entsprechenden förderpolitischen und ordnungsrechtlichen Instrumente.

[50] Leider sind jedoch in den Ministerien viele Unterlagen hierzu nicht mehr vorhanden gewesen. Dies liegt u. a. daran, dass Akten aus dieser Zeit inzwischen aussortiert und entsorgt wurden. Zum Beispiel Programme aus den 1980er Jahren in Baden-Württemberg (Lorinser 17.03.2014, mdl.), ebenso in Brandenburg und anderen Ländern.

[51] BLAK „Energie und Umwelt (1998-2001); „Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Nachhaltige Entwicklung“ BLAG NE (bis 2007); „Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Klima, Energie, Mobilität – Nachhaltigkeit“ – BLAG KliNa (ab 2008).

[52] Laut Suck (2008) hatte ein persönliches Netzwerk des damaligen Wirtschaftsministers Reimut Jochimsen und seinem Bruder Ulrich Jochimsen, der eine Kooperation mit dem "Institut für bleibende Energie" in Dänemark hatte, bei der Entwicklung der Fördermechanismen für erneuerbare Energien entscheidende Bedeutung.

hierfür ging von dem damaligen Fraktionsvorsitzenden der CDU, Stefan Mappus, aus, der unter dem Eindruck seines Besuches in Barcelona und der dort geltenden Solarverordnung[53] eine ähnliche Verpflichtung auf Landesebene schaffen wollte.

Im Jahre 2002 führte das damalige Umwelt-, Klima- und Energiewirtschaftsministerium *Baden-Württemberg* das Programm Klimaschutz-Plus ein. Es besteht aus drei Teilen: Das *CO_2-Minderungsprogramm* beinhaltet unter anderem den Einsatz regenerativer Energieträger in Nicht-Wohngebäuden. Über einen weiteren Programmteil können *Modellprojekte* eine individuell festgelegte Förderung erhalten; der Höhe hängt von der zu erzielenden CO_2-Minderung ab. Bzgl. der Erneuerbaren liegt der Schwerpunkt der Förderung auf der Errichtung von *Holzpelletheizungen* in Schulen, Hallen, Betriebsgebäuden und Hotels (KEA (Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH) 2013). Bis Ende 2010 wurden für 2.900 investive Vorhaben und rund 700 Energiediagnosen 70 Mio. Euro Fördermittel bewilligt und damit über 480 Mio. Euro Investitionen ausgelöst.

Die Entwicklung der Förderlandschaft für EE-Wärme in den Bundesländern ist schwer überschaubar. Die Anfänge der Förderung vor 25-30 Jahren sind mangels Unterlagen kaum noch rekonstruierbar. Insofern können lediglich exemplarische Auswertungsergebnisse wiedergegeben werden.

Die Förderkonzepte in den Ländern unterschieden sich hinsichtlich der Frage, welche Technologie und welcher Personenkreis von der Förderung profitieren sollte. Während die REN-Programme in Berlin und in Brandenburg auf eine Förderung kleiner und mittlerer Wirtschafts- und Dienstleistungsunternehmen abstellten, wurden mit dem Programm „progres.nrw“ und seinen Vorläuferprogrammen sowie den bayerischen Richtlinien Nr. 6294c-VI/3b-20 081 (19. April 1995)[54] *Privatpersonen* gefördert.

Durch Länderpartnerschaften, die nach der Wiedervereinigung zwischen ost- und westdeutschen Ländern entstanden, wurde ein Know-how-Transfer im Bereich Energieberatung und der Implementierung von Förderprogrammen und -modellen erreicht. Die Landesregierungen von Hessen und Thüringen gingen im Jahr 1990 noch einen Schritt weiter: Durch das Aktionsprogramm Hessen-Thüringen erhielt Thüringen auch eine finanzielle Unterstützung für die Ausbildung von Energieberatern und die Durchführung von Projekten. Das Land Brandenburg wiederum erhielt von Nordrhein-Westfalen in den 1990er Jahren personelle und materielle Unterstützung zum Aufbau der administrativen Strukturen. Auch inhaltlich orientierten sich die brandenburgischen Förderkonzepte (REN) am nordrhein-westfälischen Vorbild. Jedoch war in Brandenburg, anders als in Nordrhein-Westfalen, keine finanzielle Unterstützung von Energiesparprogrammen vorgesehen.

2.3.4.3 Zusammenspiel von Bundes- und Länderförderung

Während bspw. das MAP abhängig von jährlich bewilligten Haushaltsmitteln des Bundes ist, sieht das Programm progres.nrw in Nordrhein-Westfalen keine Deckelung der Zuwendungen vor (MKUNLV 2014).[55] Entscheidet sich ein Endverbraucher für die MAP-Förderung, besteht das Risiko, dass er diese im laufenden Jahr nicht mehr bekommt, wenn der Fördertopf ausgeschöpft ist. Wohnt er in Nordrhein-Westfalen und entscheidet sich für das dortige Förderinstrument, wird er die Mittel –

---

53 Grundlage der solaren Nutzungsverpflichtung in Barcelona war wiederum die gescheiterte Berliner Solaranlagenverordnung (vgl. Kapitel 4.4.2.3)

54 Die Richtlinien wurden am 6. Februar 2001 novelliert (RL Nr. 6294c-Vi/2a, b-3 031).

55 Die ausgezahlten Fördergelder sind zwischen 2011 und 2012 um 8,1 Mio. Euro auf 11,1 Mio. Euro angestiegen.

bei korrekt gestelltem Antrag – auch zugewiesen bekommen. Somit kann er bspw. den Austausch einer Heizungsanlage besser und auch kurzfristiger planen.

Während die meisten Länder die Einführung des MAP und seine Aufstockung zum Anlass nahmen, die Länderförderung schrittweise zur Vermeidung einer „Doppelförderung“ zurückzufahren, hielten einzelne Länder wie z. B. Nordrhein-Westfalen die Förderung aufrecht: Das Programm progres.nrw unterstützte im Programmpunkt Markteinführung weiterhin Privatpersonen beim Kauf und der Installation von EE-Wärmetechnik. In der progres-Richtlinie wird eine Kumulation mit anderen Fördermitteln – auch denen des Bundes – nicht ausgeschlossen. Umgekehrt schließt aber das Marktanreizprogramm (MAP) des Bundes eine Kumulation aus. Interessierte in Nordrhein-Westfalen haben also die Wahlmöglichkeit, welche Förderung im Einzelfall die für sie vorteilhaftere ist. In Nordrhein-Westfalen hat sich diese Situation vorteilhaft ausgewirkt und zu (pro Kopf) hohen Zubauraten geführt.

2.3.4.4 EE-Wärme in Klimaschutz- bzw. Energiekonzepten der Länder

Nur wenige Länder haben in ihren Energiekonzepten in der jüngeren Vergangenheit explizit Ziele für den Einsatz erneuerbarer Energien zu Wärmeerzeugung formuliert. Diese Ziele sind landespolitische Absichtserklärungen, eine rechtliche Bindungswirkung entfalten sie nicht. Darüber hinaus mangelt es ihnen an strategischer Untersetzung, d. h. es bleibt unklar, mit welchen Instrumenten (Ordnungsrecht, Förderung, etc.) die Ziele erreicht werden sollen und welche Finanzierungsmöglichkeiten dafür bestehen. Sofern Ziele formuliert wurden, ist ein Vergleich der EE-Wärmeziele erschwert, da die Ziele sehr unterschiedlich definiert sind. Eine stringente Ableitung aus den strategischen Zielkonzepten des Bundes (Ziele der Energieeffizienz, Energieeinsparung und Reduktion der THG-Emissionen) erfolgte nicht.

Während die Klimaziele auf EU-Ebene klar definiert sind und diese über das Instrument des „Burden-Sharing“ auf die Mitgliedsstaaten aufgeteilt wurden, gibt es dies im föderalen System der Bundesrepublik nicht.

2.3.4.5 Nutzungspflichten für EE-Wärme in den Ländern

Einen ersten Vorstoß zur Verankerung einer Nutzungspflicht für EE-Wärmetechniken machte das Land Berlin. Gestützt auf das Berliner Energiespargesetz von 1995 wurde eine Solaranlagenverordnung erarbeitet, die eine verpflichtende Regelung zum Einbau solarthermischer Anlagen für die Warmwasserbereitung bei Neubauten enthielt.[56] Die Solaranlagenverordnung wurde einstimmig vom Abgeordnetenhaus verabschiedet, trat jedoch nie in Kraft, da sie der zuständige Bausenator Kleemann nach einer Intervention der Bauwirtschaft nicht unterschrieb (Marks 2001). Das Scheitern des Berliner Vorstoßes zog Ernüchterung und Zurückhaltung in den Ländern nach sich. Vielmehr wurde der Ruf nach einer Bundesregelung laut.

Auch ein weiterer Anlauf, durch den 2006 in Berlin Baupflichten für erneuerbare und besonders effiziente Energien eingeführt werden sollten, scheiterte und bestätigte die Länder in ihrer Zurückhaltung. „In der vergangenen Legislaturperiode wurde – im Rahmen eines Gesetzesvorhabens für ein Berliner Klimaschutzgesetz – versucht, eine Nutzungspflicht für EE an der Wärmeversorgung im Gebäudebestand einzuführen. Der Gesetzentwurf fand aus verschiedenen Gründen keine Mehrheit, ein wichtiger Grund war dabei die befürchtete Erhöhung der Mieten in einer Mieterstadt wie Berlin.

[56] Das Konzept der Berliner Solaranlagenverordnung war Modell für die erste spanische Solarverordnung, die 2000 in Barcelona in Kraft trat.

Im Rahmen der damaligen Auseinandersetzung mit entsprechenden Regelungsmöglichkeiten wurde festgestellt, „dass insbesondere der Auslösetatbestand und der Vollzug schwer zu regeln sind, insbesondere wenn der Nichtwohngebäudebereich mit eingebunden werden soll“.[57]

Als einziges Bundesland ergriff dann Baden-Württemberg die Initiative und verabschiedete 2007 – also deutlich vor einem entsprechenden Gesetzentwurf auf der Bundesebene – als erstes (und bisher einziges) Bundesland ein „Wärmegesetz zur Förderung des Einsatzes regenerativer Energien“. Das EWärmeG sieht eine Nutzungspflicht regenerativer Wärme im Neubau und Gebäudebestand vor.[58] Den ordnungsrechtlichen Maßgaben des Gesetzes zur Nutzung einer bestimmten EE-Technologie wurden Fördermittel zur Seite gestellt. Für die Förderperiode 2007 bis 2013 waren dies EFRE-Mittel[59] in Höhe von 27,5 Mio. Euro. Diese Mittel sind in mindestens gleicher Höhe durch Mittel des Landes und der Kommunen zu ergänzen. Für den Bereich „Heizen und Wärmenetze mit regenerativen Energien“ betrug die Gesamtfördermenge 2,4 Mio. Euro (UM 2013). Flankiert wurde das EWärmeG Baden-Württemberg durch das 2009 verabschiedete „Energiekonzept 2020“.

Auch nach der Verabschiedung des EEWärmeG auf Bundesebene sind die Länder ermächtigt, eigene EEWärme-Gesetze zu verabschieden. Damit könnten sie über die vom Bund formulierte Nutzungspflicht hinausgehen. Bislang hat aber nur Baden-Württemberg davon Gebrauch gemacht. Im Saarland sowie in Thüringen wurden zunächst Konzepte für EE-Landeswärmegesetze erstellt, die als Diskussionsgrundlage dienen. Ob es allerdings zur Formulierung konkreter Gesetzentwürfe mit über die Bundesgesetzgebung hinausgehenden Verpflichtungen kommt, ist angesichts der vielfältigen Widerstände fraglich. Den Ländern fehlt eine Gegenfinanzierung für eine über das Bundesgesetz hinausgehende Ausdehnung der Nutzungspflicht auf den Bestand, weshalb die Initiativen stocken. Zudem befürchten sie wirtschaftliche Nachteile („Schlechterstellung“) gegenüber anderen Bundesländern.

2.3.4.6 CO_2-Minderung in den Ländern – Flankierung durch Klimaschutzgesetze

Mit der Verabschiedung von Klimaschutzgesetzen wird die Hoffnung verbunden, zukünftig verbindliche CO_2-Minderungsziele in den Ländern zu verankern. Dadurch sollen vor allem Maßnahmen in den Bereichen Energieeinsparung und Energieeffizienz angereizt werden. In fast allen Bundesländern bestünde eine Möglichkeit, Vorgaben zur Energieeinsparung und Energieeffizienz sowie Vorgaben zur EE-Wärmeerzeugung in einem Klimaschutzgesetz zusammenzuführen und damit für mehr Rechtsklarheit zu sorgen. Auf Bundesebene wurde die Verabschiedung eines Klimaschutzgesetzes u. a. zur Zusammenführung von EnEG und EEWärmeG bisher nicht verfolgt (Deutscher Bundestag 2011b).

Vorreiter für die Klimaschutzgesetzgebung war Hamburg. Das Hamburgische Klimaschutzgesetz (HmbKliSchG[60]) von 1997 hat allerdings eher den Charakter einer Zusammenstellung verschiedener Einzelmaßnahmen. Angesichts ehrgeiziger Ziele ging die darauf aufbauende Klimaschutzverordnung (HHKliSchVO), die am 01. Juli 2008 in Kraft trat, bereits über die Anforderungen der damals geltenden EnEV 2007 hinaus. Im Bereich von Neubauten formulierte die HHKliSchVO bereits anspruchsvollere Vorgaben als die spätere EnEV 2009. Außerdem wurde ein Klimaschutzkonzept erarbeitet, das strategische Ziele zur Emissionsminderung formuliert und ihre Erreichung evaluiert. Auch andere Bundesländer trieben und treiben Klimaschutzgesetze voran: So war der Gesetzgebungsprozess in

---

57 Züchner 10.03.2014, schriftliche Antwort per E-Mail.

58 Das Land verabschiedete das EWärmeG (vgl. RECHTSQUELLENVERZEICHNIS) am 20. November 2007.

59 Europäischer Fonds für regionale Entwicklung.

60 Vgl. RECHTSQUELLENVERZEICHNIS.

Baden-Württemberg unter der grün-roten Regierung erfolgreich: Das Klimaschutzgesetz Baden-Württemberg von 2013 benennt klare Ziele für die CO_2-Reduzierung. In Abgrenzung zum EWärmeG bezieht es sich vornehmlich auf die Handlungsfelder Energieeinsparung und Energieeffizienz und bildet in diesem Bereich ein komplementäres Instrument. Auch in *Nordrhein-Westfalen* wurde 2013 ein NRW-Klimaschutzgesetz verabschiedet. Es legt konkrete CO_2-Einsparungsziele bis 2020 und 2050 fest. Diese Ziele sollen durch Maßnahmen des Ressourcenschutzes, der Ressourcen- und Energieeffizienz, der Energieeinsparung und des Ausbaus der erneuerbaren Energien erreicht werden.

Der Versuch, auch in Berlin ein Klimaschutzgesetz zu verabschieden, scheiterte 2009 und 2010 mit Verweis auf die unüberschaubaren Auswirkungen auf den Immobilienmarkt und wurde seither nicht wieder aufgegriffen.

2.4 Akteure für regenerative Wärmeerzeugung und -nutzung

2.4.1 Akteure der EE-Wärmepolitik auf den verschiedenen Ebenen

2.4.1.1 Klimaschutz- und EE-Wärmepolitik der Bundesregierung ab 1990 im Überblick

Die Nutzung regenerativer Energien zur Wärmeerzeugung stand bereits Anfang der 1990er in den Koalitionsverträgen der damaligen Regierungsparteien (Union und FDP). Die Klimaschutzpolitik stand jedoch in Konkurrenz zu anderen wichtigen Herausforderungen, wie z. B. der Wiedervereinigung. Unter den Maßnahmen zur CO_2-Senkung konkurrierte die EE-Stromerzeugung um die Steuerungsaufmerksamkeit der Politik und band die Kräfte der EE-Befürworter in Politik und Verwaltungen. Die solare Stromerzeugung gewann in der EE-Politik und in der Solarbranche ab 1994 gegenüber der Solarthermie zunehmend an Bedeutung.

Ende der 1990er, unter der rot-grünen Bundesregierung (1998 bis 2005) mit Kanzler Gerhard Schröder (SPD), avancierte die „Energiewende“ zu einem der umweltpolitischen Kernziele (Mautz & Byzio 2005, 113). Bündnis90/Die GRÜNEN konzentrierten sich auf die sogenannten Energiekonsensgespräche mit den Energieerzeugern. Die Gespräche, durch die der Atomausstieg vorangetrieben werden sollte, waren jedoch nur begrenzt erfolgreich. Der Wärmesektor spielte in dieser Phase im Vergleich dazu eine untergeordnete Rolle. So konnte sich im Zuge der 2002 geführten Koalitionsverhandlungen der Vorschlag[61] eines „Regenerativ-Wärme-Gesetzes“ nach Vorbild des EEG nicht durchsetzen (IZW 2002b). 2002 wurde die Energieeffizienzstrategie durch die Verabschiedung der EnEV im Gebäudebereich vorangetrieben. Eine Zwischenbilanz der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (2005) ergab, dass das deutsche Reduktionsziel von 25 % bis 2005 weit verfehlt worden war.

Nach den im Jahr 2005 vorgezogenen Wahlen führte die Große Koalition (CDU/CSU und SPD) unter Bundeskanzlerin Angela Merkel (CDU) die EE-Politik mit Umweltminister Sigmar Gabriel (SPD) fort. Der Fokus richtete sich weiterhin schwerpunktmäßig auf den Ausbau der EE-Erzeugung im Stromsektor. Laut Koalitionsvertrag sollten aber auch die Marktpotenziale regenerativer Energien zur Wärmenutzung durch Fortführung des MAP und durch zusätzliche Instrumente, wie beispielsweise „ein regenerativer Wärmenutzungsgesetz“ besser erschlossen werden (CDU/CSU & SPD 2005, 51). Zu einem solchen Gesetz kam es jedoch nicht.

Nach der Bundestagswahl 2009 setzte Bundeskanzlerin Angela Merkel (CDU) die Regierung in einer schwarz-gelben Koalition fort. Unter Umweltminister Norbert Röttgen (CDU) und später Peter Altmaier (CDU) wurden die Kostenbegrenzung bei der EE-Stromerzeugung und der Stromnetzausbau zu

[61] Der Vorschlag kam von Hermann Scheer (SPD) und Hans-Josef Fell (GRÜNE).

einem zentralen Thema. Die Diskussion um den Energiepreisanstieg am Wirtschaftsstandort Deutschland sowie die Rückwirkungen auf den Verbraucher beeinflusste die Investitionsbereitschaft in erneuerbare Wärme in ungünstiger Weise. Im Zuge der Regierungsneubildung nach den Wahlen im September 2013 mahnten grüne Politiker und EE-Verbände, dass dem Wärmesektor „endlich" mehr Aufmerksamkeit zukommen müsse. Bauwirtschaft, Dämmstoffindustrie und Handwerksverbände stimmten dem zu, stellten aber die Gebäudeenergieeffizienz in den Vordergrund. Sie forderten, den Sanierungsstau, durch höhere finanzielle Anreize für bauliche Sanierungsmaßnahmen aufzulösen – eine Maßnahme, von der auch die o. a. Wirtschaftszweige erheblich profitieren würden.

Das Bundesumweltministerium als zuständiges Ressort für EE-Wärme

Die aus dem ersten Klimaschutzprogramm von 1990 resultierenden Klimaschutzaufgaben wurden unter Bundeskanzler Helmut Kohl dem Bundesumweltministerium (unter Umweltminister Klaus Töpfer) übertragen.[62] 1998 erschloss die rot-grüne Regierung mit Jürgen Trittin als Umweltminister Schritt für Schritt die Zuständigkeit des Umweltministeriums für erneuerbaren Energien im Kabinett. Bis dato war das Bundeswirtschaftsministerium für die Förderung von EE-Wärmetechnologien zuständig gewesen. Die Zuständigkeit wechselte im Jahr 2002 in das Bundesumweltministerium über.[63]

Seitdem war das Bundesumweltministerium maßgeblich für die Fortschreibung der MAP-Richtlinien zuständig. Zu den zentralen Aufgaben gehörte die jährliche Verhandlung der Fördermittelausstattung sowie die Ausübung der Fachaufsicht über die Fördermittelvergabe durch das BAFA und die KfW. Die Verantwortlichen im BMU und im BAFA arbeiteten eng zusammen. Während der gesamten Zeit stand die MAP-Förderung unter dem Druck nachzuweisen, dass die Förderziele des MAP und einen hohen Mittelabfluss erreicht wurden. Durch die kontinuierliche Fortschreibung der technischen Mindestanforderungen gelang es, im Zuge der Markteinführung zugleich Innovationsanreize für die Hersteller zur Verbesserung der Technologien zu setzen. Damit begegneten die Verantwortlichen dem Vorwurf einer unspezifischen Breitenförderung. Der Leiter für die Abwicklung des Marktanreizprogramms im BAFA Gerhard Schallenberg verwirklichte überdies ein bürgerfreundliches und weniger aufwendiges Antrags- und Prüfverfahren für die Fördermittelvergabe (vgl. Kapitel 2.3.3.2) voran. Mit Unterstützung aus dem Finanzministerium wurde eine Sonderregelung erreicht, wonach im Falle der MAP-Förderung von dem nach Bundeshaushaltsordnung üblichen zweistufigen Prüfverfahren bei der Vergabe von Zuwendungen abgewichen werden konnte.

Nach dem Regierungswechsel 2005 erarbeitete das zuständige Referat im Bundesumweltministerium (unter der Leitung von Umweltminister Sigmar Gabriel) erste Vorschläge zur Einführung eines EE-WärmeG und stellte diese zur Diskussion. Die Bemühungen mündeten aber erst nach dem Beschluss des IEKP 2007 in einen Gesetzentwurf zum EEWärmeG. Dieser wurde unter Leitung des Bundesumweltministeriums erstellt.[64] Das EEWärmeG trat 2009 in Kraft und wurde 2011 fortgeschrieben (vgl. Kapitel 2.3.1.2). Seither wird eine Fortschreibung diskutiert, jedoch brachte das Bundesumweltministerium bis Ende 2014 keinen Novellierungsentwurf auf den Weg. Seit dem Regierungswechsel und

---

[62] Bis 1990 hatte das Bundesverkehrsministerium als zuständiges Ressort für den Wetterdienst diese Aufgabe zusammen mit der Wetterbeobachtung wahrgenommen. Das Ressort maß dem Klimaschutz jedoch nur einen geringen Stellenwert bei. Daher übertrug das Bundeskanzleramt dem Bundesumweltministerium die Verantwortung für den Klimaschutz (Dürrschmidt 2007, mdl. in Bruns et al. 2009, 85).

[63] Ausgenommen waren die Biomasse (Bundeslandwirtschaftsministerium); Grundlagenforschung (Bundesforschungsministerium) und der Exportinitiative für erneuerbare Energien (Bundeswirtschaftsministerium).

[64] An der Ressortabstimmung waren Bundeswirtschafts-, Bundesbau- und Bundesjustizministerium beteiligt.

der Ressortumbildung im Jahr 2013 liegt die Zuständigkeit für das MAP wieder im Bundeswirtschaftsministerium.

2.4.1.2 Länder als Vorreiter für ambitionierte EE-Wärmeziele?

Die Länder haben sich im Wesentlichen auf die in Kapitel 2.3.4 beschriebene länderspezifische Förder- und Gesetzgebung zur Energieeinsparung konzentriert. Darüber hinaus haben sie sich mit der Einführung ordnungsrechtlicher Instrumente (Ausnahme: EWärmeG Baden-Württemberg) zurückgehalten.

Einige Länder haben Ziele für den EE-Anteil an der Wärmeerzeugung (vgl. Überblick Länderziele) formuliert, in keinem der Länder wurden diese aber gesetzlich verankert und damit verbindlich. Die politischen Ziele orientieren sich meist an dem im EEWärmeG formulierten „14-%-Ziel". So soll auch in Mecklenburg-Vorpommern 14 % EE-Anteil am Endenergieverbrauch im Wärmesektor bis 2020 erreicht werden. Berlin bleibt dagegen mit 11 % bis zum Jahr 2020 dahinter zurück. Baden-Württemberg ist ambitionierter und will den Anteil auf 16 % bis 2020 steigern. Bayern hat den Zielhorizont auf 2050 erweitert. Dann soll EE-Wärme einen Anteil von 50 % durch den erhöhten Einsatz von Solarkollektoranlagen und Wärmepumpen erreichen. Damit hat Bayern das bisher ambitionierteste informelle Ziel für die EE-Nutzung im Wärmesektor festgelegt.

Vorreiter für EE-Nutzungspflichten: das Land Baden-Württemberg

Inspiriert durch die mittels einer technischen Gebäuderichtlinie gesetzlich verankerte Nutzungspflicht für Solarthermie in Spanien (vgl. Solarverordnungen) ergriff Baden-Württemberg 2007 die Initiative, ebenfalls Nutzungspflichten für EE-Wärmequellen festzulegen. Das am 7. November 2007 verabschiedete Landesgesetz (EWärmeG Baden-Württemberg) sah eine Nutzungspflicht regenerativer Wärme für den Neubau und – im Sanierungsfall – bei Erneuerung der Heizungsanlage auch für den Gebäudebestand vor. Ob die Einführung der Nutzungspflicht tatsächlich zu der beabsichtigten Steigerung der EE-Anteile an der Wärmeerzeugung geführt hat, muss offenbleiben.

Finanzierungsrestriktionen in den Ländern

Im Rahmen von Gesetzgebungsverfahren auf Bundesebene haben die Länder über den Bundesrat und über Gremien zur Bund-Länder-Koordination deutlich gemacht, dass sie keine bzw. nur sehr geringe finanzielle Möglichkeiten haben, Kostenbelastungen infolge der Vorgaben zu Nutzung von EE-Wärme abzupuffern. Die Einführung ordnungsrechtlicher Vorgaben und Pflichten (und damit Belastungen für den Einzelnen) gilt als politisch undankbare Maßnahme, die sich einzelne Bundesländer aus politischen Gründen, wegen anstehender Wahlen oder wegen der Befürchtung sich damit im Vergleich zu anderen Bundesländern schlechter zu stellen, nicht leisten wollen.

Zur Absicherung der Finanzierung einer „Wärme-Energiewende im Gebäudebestand" forderte der Bundesrat im Rahmen einer Entschließung vom 8. Juli 2011 die Bundesregierung auf, unverzüglich eine „Gesetzesinitiative für ein Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz als *marktfinanziertes Anreizmodell* zu ergreifen. Dieses sollte insbesondere Wirkung für den Altbaubestand entfalten." Dies unterstreicht, dass die Länder vor allem an einer stetigen, abgesicherten Förderung durch die Bundesebene interessiert waren und sind. Wenn die Länder überhaupt politische Spielräume sehen, eine Ausweitung der Nutzungspflicht auf den Bestand vorzunehmen, dann soll dies – wegen der erwähnten Mittelknappheit – auf Bundesebene veranlasst werden. Zusammen mit dem Verband kommunaler Unternehmen (VKU) und dem Deutschen Städte- und Gemeindebund (DStGB) setzte sich der Bundesrat auch dafür ein, dass vor allem die kommunalen Investitionen durch das MAP zu-

verlässig unterstützt werden, damit die Kommunen ihrer Vorbildfunktion gemäß Europarechtsanpassungsgesetz Erneuerbare Energien (EAG EE)[65] besser gerecht werden können (Bundesrat 2011, 5).

Vollzugskontrolle auf Länderebene

Im Rahmen der Föderalismusreform (2006) haben die Länder auch Zuständigkeiten für Vollzugsaufgaben übernommen, darunter für das Energieeinspargesetz und – seit 2009 – das EEWärmeG. Diese Kontrollaufgaben belasten die Länder nun personell und finanziell. Der notwendigen Untersetzung des EEWärmeG durch Festlegung und Durchführung von Vollzugsaufgaben (u. a. Kontrollen) kommen sie daher nur schleppend nach, sodass die ordnungsrechtlichen Vorgaben des Bundes drohen, ins Leere zu laufen.[66] Der Bundesrat[67] plädierte vor dem Hintergrund des zunehmenden Vollzugsaufwands für eine Konsolidierung und Vereinfachung durch Zusammenführung von EEWärmeG und Energieeinspargesetz bzw. EnEV. Damit würde nicht nur der zunehmenden Rechtszersplitterung im EE-Wärmesektor entgegengewirkt, sondern es könne auch der Vollzug übersichtlicher strukturiert und der Aufwand gemindert werden. Bis heute wurde in diesem Punkt jedoch kein Fortschritt erzielt.

2.4.1.3 Kommunen als Akteure im EE-Wärmesektor

Die Kommunen gelten als wichtige Akteure, da sie zum einen selber für die Wärmeerzeugung in öffentlichen kommunalen Gebäuden verantwortlich sind, als Betreiber von Heizwerken fungieren und die Anwendung erneuerbarer Wärmetechniken z. B. durch bauplanerische Vorgaben im Rahmen der Siedlungsentwicklung befördern können. In den 1990er Jahren haben sich die Kommunen für Modellprojekte im Bereich klimagerechtes Bauen eingesetzt und hier beispielhaft demonstriert, welche Kombinationen von Niedrigenergiebauweise und Anwendung von Solarthermie, Holzheizungen oder Wärmepumpen möglich sind (vgl. Kapitel 4.5.3.3).

Der *allgemeine* Klimaschutz wurde mit der BauGB-Novelle 2004 erstmals ausdrücklich zur Aufgabe der Stadtentwicklung erklärt. Mit der Klimaschutznovelle im Baurecht 2011 wurden die Handlungsoptionen der Kommunen für den Klimaschutz im Bauplanungsrecht erweitert.[68] Der Festsetzung von Nutzungspflichten durch die Kommune, von verbindlichen Wärmeschutzanforderungen oder von Obergrenzen des zulässigen Wärmebedarfs in Gebäuden sind jedoch Grenzen gesetzt, da diese im konkreten Fall „verhältnismäßig und zumutbar“ für den Gebäudeeigentümer sein müssen. Aufgrund der Anfechtbarkeit entsprechender ordnungsrechtlicher Vorgaben tendieren die Kommunen eher zu freiwilligen Vereinbarungen, z. B. bei Neubauvorhaben in Form von Städtebaulichen Verträgen. Grundsätzlich sehen die Kommunen Handlungsspielräume für energetische Sanierung nur gegeben, wenn eine finanzielle Förderung erfolgt, die die Kommunen meist selber jedoch nicht leisten können. Durch die Erstellung kommunaler Wärmekonzepte könnten die Kommunen maßgeblich zur CO_2-Einsparung im Wärmesektor beitragen. Deren Einführung scheiterte bisher – wie auch andere Vorgaben des Bundes, die zu einer Mehrbelastung der Länder und Kommunen führen – an der Frage der Finanzierbarkeit und Kostentragung.

Aufgrund der Ausdehnung der EE-Nutzungspflicht auf öffentliche Bestandsbauten im EEWärmeG 2011 haben Kommunen seither auch als Bauherr eine explizite Vorbildfunktion für die Erfüllung von

---

65 vgl. RECHTSQUELLENVERZEICHNIS.

66 Dasselbe gilt für die Einrichtung von Zuständigkeiten und die Durchführung von Kontrollen zur Überprüfung der Einhaltung von EnEV-Vorgaben.

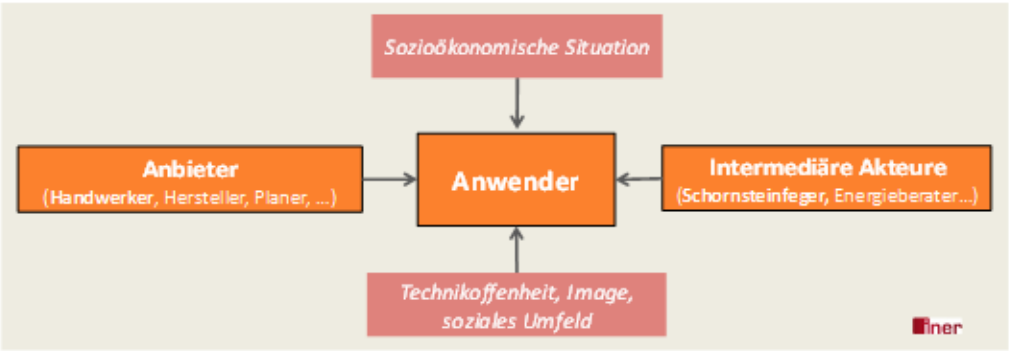
67 Stellungnahme anlässlich der Verabschiedung des EAG EE 2011.

68 Sie erstrecken sich auf Vorgaben zur energiesparenden Siedlungsentwicklung sowie auf erweiterte Festsetzungsmöglichkeiten im Flächennutzungsplan und Bebauungsplan.

EE-Nutzungspflichten und Gebäudeenergieeffizienz. Auch dieser Aufgabenstellung können die Kommunen oftmals nur bei Inanspruchnahme von Fördermitteln nachkommen.

2.4.2 Akteure mit Einfluss auf die Technikentscheidung

Die Entscheidung, welche Heizungstechnik angewendet wird, trifft in privaten Wohngebäuden in der Regel der Nutzer dieser Gebäude (hier als Anwender[69] bezeichnet; vgl. Abbildung 2-5). Er steht unter dem Einfluss der Marktanbieter und beratender Personen und Institutionen. Im Folgenden werden die Perspektiven dieser drei Gruppen näher erläutert, da sie unmittelbaren Einfluss auf die Diffusionsdynamik haben.



Quelle: nach Henning et al. 2012, verändert

Abbildung 2-5: Einflussfaktoren auf die Technikentscheidung des Anwenders

Die Technikentscheidung hängt dabei stark von der sozio-ökonomischen Situation des potenziellen Anlagenbetreibers ab (Vermögen, Einkommen, Verlässlichkeit des zukünftigen Einkommens, Alter). Die Investitionsbereitschaft steigt mit größerem Vermögen bzw. Einkommen, auch wenn sich die eingesetzte EE-Technik erst langfristig oder auch gar nicht amortisieren sollte. Die Bereitschaft, die Mehrkosten einer EE-basierten Heizungsanlage allein „der Umwelt zuliebe“ auf sich zu nehmen, ist bei solventen Anwendern mit ausgeprägtem Umweltbewusstsein höher. Ob die Anwender bereit sind, auch bisher weniger etablierte Techniken auszuprobieren, hängt u. a. von ihrer Neugier, Technikoffenheit und Risikobereitschaft ab. Grundsätzlich ist die Experimentierfreudigkeit bei Investitionen mit langfristigen Austauschzyklen begrenzt. Doch kann ein positives Image Hemmnisse überwinden helfen. Werden neue Techniken z. B. mit Fortschritt und Modernität assoziiert, und kann der Anwender durch ihre Nutzung seinen Status im sozialen Umfeld (Kollegen, Nachbarn, etc.) aufwerten (Henning et al. 2012, 35), wirkt dies förderlich. Abgesehen von diesen Einstellungen, die die grundsätzliche Offenheit und Bereitschaft beeinflussen, unterliegt der Anwender den Einflüssen der Marktakteure auf der Anbieterseite sowie dem Einfluss der mittelbar auf die Entscheidung wirkenden intermediären Akteure. Diese haben die Aufgabe, durch „neutrale“, d. h. anbieterunabhängige Information und Beratung zwischen Anbieter- und Nutzerinteressen zu vermitteln. Auf der Anbieterseite besteht nach Henning et al. (2012, 39) eine Dominanz der Beeinflussung durch Heizungsbauer, im Bereich der intermediären Akteure treten die Schornsteinfeger hervor. Mit diesen Akteuren tritt der Anwender in jedem Fall in Kontakt. Der Einfluss von Energieberatungen wird hingegen als geringer eingeschätzt, da nur ein vergleichsweise geringer Anteil der Anwender vor einer Investitionsentscheidung eine Energieberatung in Anspruch nimmt.

[69] Der Anwender befindet sich zugleich in der Rolle des Investors.

2.4.2.1 Motive und Interessen des Anwenders

Die Wahl des Anwenders hinsichtlich Wärmeerzeugungstechnik fällt im Neubau im Rahmen der Gebäudeplanung. Gebäudehülle, Platzbedarf und Heizungsanlage können somit aufeinander abgestimmt und räumliche Restriktionen vermieden werden. Im Gebäudebestand fällt die Entscheidung entweder im Rahmen einer energetischen Sanierung, die entweder nur die Heizung oder Heizung *und* Gebäudehülle umfasst. In einer solchen Situation findet eine Alternativenabwägung statt und es werden Planungs- und Beratungsleistungen (durch Fachplaner, das Handwerk oder unabhängige Energieberatungen) in Anspruch genommen. Steht kurzfristig ein Kesseltausch im akuten Schadensfall an, ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass die bisherige Technik beibehalten wird und *kein* Systemwechsel stattfindet.

Der Anwender hat in der Regel ein grundsätzliches Interesse an möglichst geringen Investitionskosten. Höhere Investitionskosten werden leichter akzeptiert, wenn diese sich durch Energieeinsparung ganz oder teilweise wieder amortisieren. Der Anteil solventer Anwender, die aus idealistischen Gründen auch bei geringer oder keiner Amortisation höhere Kosten für EE-Wärmeerzeugungstechniken in Kauf nehmen, ist gering. Als Motiv für die Nutzung von EE-Wärmetechniken geben die meisten Anwender nach wie vor die geringere Abhängigkeit von Gas und Öl an, deren Preisentwicklung sie nicht beeinflussen können. Von den Heizungsanlagen werden vor allem eine hohe Effizienz (bzw. Einsparungen), aber auch eine hohe Zuverlässigkeit (geringe Reparatur- und Wartungskosten) erwartet. Zugleich sind die Komforterwartungen an die Heizungsanlage gestiegen.

Die Steuerung der Anlage, d. h. die möglichst einfache Programmierbarkeit einer zeit- und bedarfsgerechten Wärme- und Warmwasserbereitstellung, hat heute einen hohen Stellenwert. Sie kommt dem Wunsch nach Befriedigung der individuellen Bedürfnisse entgegen.

2.4.2.2 Anbieter

Die Anbieterseite umfasst Energieversorger, Anlagenhersteller, beratende Ingenieure, Handwerk sowie unabhängige Energieberatungen. Die Anbieter nehmen in unterschiedlicher Weise Einfluss auf die Entscheidung des Nutzers.

2.4.2.3 Energieversorger

Der (lokale) Energieversorger spielt vor allem bei Modernisierungsentscheidungen im Bestand eine wichtige Rolle für die Technikentscheidung. Ist bereits ein Gasanschluss vorhanden, ist die Wechselbereitschaft zu anderen Heiztechniken meist eingeschränkt. Dass Gasheizungen in einem solchen Fall zumindest Teil des Heizungskonzeptes bleiben, ist sehr wahrscheinlich.

Auch der Energieholzhandel kann im weitesten Sinne als „Versorger“ aufgefasst werden. Die regionale Brennstoffverfügbarkeit über den Handel spielt beim Einsatz von Holzheizungen eine wichtige Rolle. Zwar muss der Energieholzhändler nicht zwingend vor Ort sein. Beim Bezug von Holzpellets oder Hackschnitzeln sind durch Einsatz von großen Tankwagen größere Distanzen möglich. Weite Transportwege können sich aber auf den Preis niederschlagen.

2.4.2.4 Architekten und Fachplaner

Die genannten Berufsgruppen nehmen im Rahmen ihrer Dienstleistungen für Bau- bzw. Sanierungsprojekte Einfluss auf die Entscheidung über die Heizungstechnik sowie – über die Konzeption der Baukörper und der Gebäudehülle – direkt Einfluss auf die Gebäudeenergieeffizienz. Fachplaner und Architekten werden in der Regel aber nur bei Bauprojekten mit einem größeren Investitionsvolumen hinzugezogen, während sich private Bauherren von Wohngebäuden hinsichtlich der Auswahl und

Ausführung der Heiztechnik eher von Ingenieurbüros oder Installateuren beraten lassen. Bei größeren Vorhaben wird die Gebäudetechnik für die Wärme- und ggf. Kältebereitstellung in der Regel von spezialisierten Fachplanern für Haustechnik oder Installateuren geplant. Daher ist deren Einfluss auf die Auswahlentscheidung des Bauherrn in der Regel noch höher als die des Architekten. Architekten (und Fertighaushersteller) hatten sich im Vorfeld der EEWärmeG-Verabschiedung gegen weitreichende Nutzungspflichten für EE-Wärme gewehrt. Diese Akteursgruppen befürchten steigende Kosten und einen „erheblichen bürokratischen sowie Investitionen hemmenden Aufwand bei Eigentümern, Investoren und Planern“ (Bundesarchitektenkammer (BAK) 2007).

2.4.2.5 Hersteller und Großhandel

Um ihre Marktstellung zu behaupten oder zu verbessern, verbessern innovative Hersteller von EE-Heizungstechnik kontinuierlich den technischen Stand ihrer Produkte. Dieses Bestreben schlug sich auch in den Effizienzanforderungen der MAP-Förderrichtlinien ab 1995 nieder. Auch machten Hersteller nach Stahl (26.06.2013) z. T. gezielt Vorschläge zur Aufnahme bestimmter (von ihnen entwickelter) Innovationen in die Richtlinien bzw. der Liste förderfähiger Anlagen (z. B. Partikelabscheider), damit sich diese schneller verbreiten und Standards setzen.

Der Übergang vom primären Angebot von Einzelkomponenten zu Systemangeboten (z. B. Heizkessel mit Wärmespeicher, Solarkollektor und Steuerung) durch die Hersteller, kam dem Bedürfnis der Installateure und Investoren entgegen, einfacher zu installierende und bereits werksseitig aufeinander angestimmte Lösungen einzusetzen. Eine geringere Komplexität der EE-Heizsysteme für das installierende Handwerk als auch Betreiber steigerte auch die Akzeptanz.

Der Produktvertrieb erfolgt dreistufig (Hersteller, Großhandel, Handwerk). In der Regel binden sich Handwerksbetriebe an bestimmte Hersteller und Techniken, die sie bevorzugt installieren. Dies ist angesichts des immer breiter und komplexer werdenden Technikangebots vor allem für kleinere Handwerksbetriebe naheliegend. Hersteller bieten Schulungen[70], Marketingmaßnahmen (z. B. Verkaufsprämien) sowie durch Service- und Supportleistungen für die Handwerksbetriebe an, welche die Bindung der Handwerker stärken. Neben dem Direktvertrieb der Hersteller über die Installateure erfolgt der Vertrieb aber in der Regel über den Großhandel für Installateurbedarf.

Dieser beeinflusst – in Absprache mit den Herstellern – durch das Einräumen von Rabatten sowie durch die die Bereitstellung verlässlicher Serviceleistungen hinsichtlich Lieferung und Ersatzteilbereitstellung, welche Techniken und Marken bevorzugt abgenommen werden.

2.4.2.6 Das Handwerk – Schnittstelle zum Nutzer von EE-Wärmetechnologien

Die Rolle der Handwerksbetriebe in Innovationsprozessen ist äußerst vielschichtig. Sie sind nicht nur „Umsetzer“, sondern auch Ideengeber für die Optimierung. Als Installateure der neuen Techniken sind sie Multiplikator bzw. Mittler in den Markt (Prognos 2006). Die Maßnahmen zur Verbesserung der Gebäudeenergieeffizienz bieten dem Handwerk ein enormes Tätigkeitsfeld (Debertshäuser 13.03.2014). Insofern hat das Handwerk ein starkes wirtschaftliches Interesse insbesondere an Maßnahmen, die die Sanierungsquote anheben. Das Handwerk, insbesondere die Heizungsbauer, haben aber nicht automatisch auch ein Interesse daran, innovative Lösungen zur regenerativen Wärmeerzeugung einzubauen.

---

[70] Für die meisten Hersteller sind Schulungszentren daher ein wichtiger Unternehmensbestandteil.

Das Handwerk, bzw. der Handwerker vor Ort, hat einen großen Einfluss auf die Entscheidung für oder gegen ein bestimmtes Wärmeerzeugungssystem. In der Regel hat er aus Sicht des Hauseigentümers die Kompetenz und genießt das Vertrauen, Kosten und Zuverlässigkeit der Anlage richtig einschätzen zu können. Grundsätzlich hat das Handwerk wenig Motivation Heizungsanlagen zu empfehlen, deren Betrieb während seiner Gewährleistungszeit (5 Jahre) mit größeren Risiken verbunden sein kann. Unzuverlässigkeit oder auch zu geringe Wärmebereitstellung schlagen sich unmittelbar auf die Kundenzufriedenheit nieder. Daher tendieren Handwerks- und Heizungsbetriebe dazu, wenig komplexe, bekannte und bewährte Technologien mit geringer Fehleranfälligkeit und geringem Wartungsaufwand zu empfehlen. Damit erfüllen sie die Kundenerwartung und können ihr Know-how und ihre Leistung wirtschaftlich einsetzen. Für die Empfehlungen des Handwerkers spielt es auch eine Rolle, welche Unterstützungsleistungen Hersteller und Großhandel anbieten (z. B. Just-in-Time-Lieferung; Onlinesupport) bzw. welche Gewinnmargen dem Installateur möglich sind.

Nicht zuletzt hängt die Bereitschaft, erneuerbare Wärmetechnologien zu empfehlen, auch vom Aus- und Fortbildungsstand des Personals ab. Erneuerbare Wärmetechnologien (z. B. Solarthermie) gehören erst seit 2003 regulär zum Ausbildungsumfang des Heizungs- und Sanitärhandwerks.[71] Die Handwerksbetriebe leiden zudem unter einem wachsenden Fachkräfte- und Nachwuchsmangel, zumal die Ausbildung deutlich anspruchsvoller geworden ist und hohe Anforderungen an das Lern- und Leistungsvermögen der Fachkräfte stellt. Die Qualität der handwerklichen Ausführung ist letztlich aber entscheidend für das Erreichen der mit der eingebauten Technik beabsichtigten Einsparungs- und Substitutionsziele. Nicht zuletzt hängen auch die Glaubwürdigkeit der Empfehlung und die Kundenzufriedenheit davon ab.

2.4.3 Intermediäre Akteure

2.4.3.1 Energieberatungen als unabhängige Vermittler

Im Gebäudebestand ist die Entscheidung für ein bestimmtes Heizsystem in der Regel mit einer Entscheidung über mehr oder weniger komplexe Gebäudemodernisierungs- und Effizienzmaßnahmen verbunden. Um ggf. Komplettlösungen anbieten zu können, müssen sich die Gewerke (Dachdecker, Fassadenbauer/-sanierer, Bautischler) vernetzen. Welche Energieträger und welche Wärmeerzeugungstechnologien schließlich zum Zuge kommen, ist eine Einzelfallentscheidung, da viele Faktoren einzubeziehen sind. Angesichts dieser Herausforderungen, die nur noch von „großen“ Handwerksbetrieben zu leisten ist, hat sich seit Mitte der 1990er Jahre die Energieberatung als Aufgabenfeld entwickelt. Energieberatungen bieten Entscheidungshilfe und wirken als intermediäre Akteure zwischen der Anbieterseite (Handwerk, Hersteller) und dem Anwender. Als unabhängige Einrichtungen bzw. Dienstleistungen tragen sie dazu bei, spezifische betriebliche Anbieterinteressen (vgl. Kapitel 2.4.2.5) zu überwinden. Bei entsprechender Qualifikation können sie in komplexen Sanierungsfragestellungen auch „gewerkeübergreifend“ beraten und Synergien durch die Kombination verschiedener Maßnahmen ausnutzen. Der Heizungstausch kann so besser in individuelle Wärmeschutz- und Wärmeerzeugungskonzepte eingebettet werden. Die Gewährung von Fördermitteln wird daher z. T. mit der Inanspruchnahme von Energieberatung verknüpft.

Die Mehrzahl der Bundesländer setzt für die Energieberatung der Gebäudebesitzer auf die Verbraucherzentralen der Länder und auf private Energieberatungsdienstleister.

---

[71] Vgl. „Verordnung über die Berufsausbildung zum Anlagenmechaniker für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik/zur Anlagenmechanikerin für Sanitär-, Heizungs- und Klimatechnik“ vom 24. Juni 2003.

Im Land Brandenburg übernimmt eine Landes-Energieagentur (ZAB-Energie) die Funktion einer unabhängigen Energieberatung für Industrie, Gewerbe und Kommunen. Ein anderes Modell sind vom Land geförderte Energieagenturen als „operative Plattformen“, die ein breites Beratungsspektrum[72] im Auftrag der Landesregierungen abdecken (z. B. Nordrhein-Westfalen, Rheinland-Pfalz).

Das Berufsbild des privaten Energieberaters ist nicht gesetzlich geschützt. Bislang existiert kein geregelter Ausbildungsgang. Ersatzweise wurden Zertifikate für Berater und beratende Ingenieure eingeführt, um eine Mindestqualität zu sichern. Trotz des hohen Bedarfs ist die Zahlungsbereitschaft der Anwender für eine qualifizierte Energieberatung gering. Dort, wo eine Energieberatung nicht Voraussetzung dafür ist, Fördermittel zu bekommen, nehmen Modernisierungswillige nur selten Energieberatungen in Anspruch.

2.4.3.2 Schornsteinfeger

Neben den Heizungsinstallateuren haben die Schornsteinfeger im Rahmen ihrer Kehr- und Kontrollaufgaben (z. B. Abnahme von Heizungsanlagen, Emissionskontrollen) den intensivsten Kontakt zu den Anwendern.

Aufgrund ihres Fachwissens über Anwendungsmöglichkeiten werden sie auch als „technikneutrale“ Berater herangezogen. Ihre wichtigste Aufgabe ist allerdings die Emissionskontrolle zur Überprüfung der Einhaltung von Schadstoff- und Feinstaubgrenzwerten – seit 2010 auch für Klein- und Kleinstfeuerungsanlagen. Da sie in bestimmten Zeitabständen praktisch in jeden Haushalt kommen, sind Schornsteinfeger zentrale Wissensträger. Die Berufsgruppe hatte aufgrund der Erhebungsdaten bisher den besten Überblick über den Modernisierungsgrad von Heizungsanlagen und den energetischen Sanierungsstand von Gebäuden. Dieses Wissen wurde im Rahmen von Befragungen[73] zugänglich gemacht. Seit 2010 veröffentlichte der Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks überdies jährlich die Ergebnisse seiner Erhebungen. Diese Erhebungen sind gegenwärtig die einzigen, aus denen die Art und Gesamtzahl der in Deutschland verwendeten Feuerungsanlagen, differenziert nach Brennstoffen, zu entnehmen ist.

2.4.4 Konventionelle Branchenverbände – Befürworter der Technologieoffenheit

Der Bundesverband Heizung, Klima, Sanitär (BHKS)[74] vertritt in erster Linie „konventionelle“ Kesselhersteller für Gas- und Ölheizsysteme und damit Unternehmen, die an der Anwendung effizienterer konventioneller Technik (z. B. Brennwertkessel, Niedertemperaturheizungen) interessiert sind. In deren Interesse setzt sich der BHKS für eine Technologieoffenheit der Förderung ein. Nicht nur EE-Technologien sollen davon profitieren, sondern jeweils die effizienteste Technik sollte förderfähig sein. Im Zuge der Diskussion um das EEWärmeG lehnte der BHKS Vorgaben zur Nutzungspflicht bestimmter EE-Wärmetechniken ab.[75] Regenerative Wärmeerzeugung sollte aus Sicht des BHKS nicht durch Fördervorteile privilegiert werden, sondern nur dann zum Einsatz kommen, wenn sie tatsäch-

---

[72] Zum Beispiel EnergieAgentur.NRW: Energieforschung, technische Entwicklung, Demonstration und Markteinführung, Energieberatung, berufliche Weiterbildung.

[73] Zum Beispiel durch die bundesweite repräsentative Schornsteinfegerbefragung (Diefenbach et al. 2010) im Auftrag des BBSR.

[74] Der BHKS vertritt ein heterogenes Konglomerat aus Herstellern von Heizungsanlagen, Wärmepumpen, Solarthermieanlagen, etc.

[75] BDH-Präsident Klaus Jesse äußerte anlässlich der 1. Wärmekonferenz z. B. die Auffassung, die Nutzungspflicht für EE sei kontraproduktiv und würde den „Sanierungsstau“ noch verstärken. Den Bürgern dürften seiner Meinung nach keine Technologien vorgeschrieben werden.

lich hinsichtlich Kosten und Effizienz konkurrenzfähig sind. In diesem Punkt deckt sich die Position des BHKS mit der des *Bundesindustrieverbands Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik* (BDH). Beide Verbände haben bisher Vorstöße zur Besserstellung regenerativer Technologien ausgebremst und sich so ihre Marktchancen bewahrt.

Die oberste Interessenvertretung des SHK-Handwerks in Deutschland ist der *Zentralverband Sanitär Heizung Klima* (ZVSHK).[76] Seine Mitglieds-Fachverbände repräsentieren ein breites Spektrum von Handwerksbetrieben, die für energetische Modernisierung und insbesondere die Installation von Heizungsanlagen (Heizkessel, Solarthermie, usw.) verantwortlich sind. Angesichts der Vielfalt möglicher technischer Lösungen kommt dem ZVSHK als oberstem Verband vornehmlich eine Moderatorenrolle zu.[77] Auch die Fachverbände des SHK-Handwerks vertreten das Prinzip der Technologieoffenheit zur Erreichung der bundes- und länderpolitischen Ziele der CO_2-Minderung und Energieeinsparung. Eine wichtige Aufgabe der SHK-Fachverbände ist die Ausbildung von Fachkräften.

Im Hinblick auf die Forderung nach „Technologieoffenheit“ bilden die Handwerksverbände und Kesselhersteller bislang eine Interessenallianz mit der *Gas- und Mineralölwirtschaft* (vgl. MWV 2008). Deren Hauptinteresse besteht in der Sicherung des Absatzes beim Endkunden. Für die Lobbyverbände ist „Technologieoffenheit“ der Schlüssel zur Sicherung bzw. Steigerung ihrer Absatzmärkte.

Für die Interessen der Unternehmen, die Wärmepumpen für die elektrische Wärme- und Warmwasserversorgung von Wohngebäuden herstellen, setzt sich der Fachverband Elektro-Hauswärmetechnik ein. Er ist Mitglied im *Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie* (ZVEI), der eine große Zahl von Elektrotechnikherstellern repräsentiert.

2.4.5 Branchenverbände und Interessenvertretungen

2.4.5.1 Vertreter der EE-Branchen und ihrer Verbände im Wärmemarkt

Auf Bundesebene werden die Interessen der EE-Wärmebranche von mehreren branchenspezifischen Verbänden[78] vertreten. Diese Verbände verbindet die Nutzung erneuerbarer Energiequellen, jedoch konkurrieren sie zugleich um Anteile am EE-Wärmemarkt, was die Bündelung der Kräfte erschwert. Die wirksame Interessenvertretung wird darüber hinaus dadurch eingeschränkt, dass die EE-Wärme – im Vergleich zu EE-Strom oder EE-Kraftstoffen – selten an erster Stelle steht. So bestimmen z. B. die Interessen der relativ jungen PV-Branche die Ausrichtung der Solarverbände maßgeblich. Spätestens ab Ende der 1990er Jahre hat dies zu einer gewissen Dominanz der PV-Branche geführt. Die Anliegen der Solarthermie traten in der öffentlichen und politischen Wahrnehmung hinter die PV zurück.

Die Verbände der EE-Wärmebranchen sind unter dem Dach des *Bundesverbandes Erneuerbare Energie* (BEE) vereint.[79] Im Politikprozess ist der BEE als Kritiker der bisherigen EE-Wärmepolitik in

---

[76] Er vertritt die Interessen der Handwerks-Innungsbetriebe (Installateure und Heizungsbauer, Klempner, Ofen- und Luftheizungsbauer, Behälter- und Apparatebauer).

[77] Auch gegenüber der Politik und Öffentlichkeit sieht sich der ZVSHK nicht mehr als eindimensional ausgerichteter Interessenvertreter. Vielmehr versteht er sich zunehmend als Moderator volkswirtschaftlich und gesellschaftlich relevanter Themen. Bei allen politisch bedeutsamen Fragen rund um Wasser, Wärme und Luft sieht er sich nach eigener Ansicht als Anwalt der Verbraucher.

[78] Bundesverband Bioenergie (BBE); Bundesverband Solarwirtschaft (BSW-Solar); Bundesverband Wärmepumpe (BWP); Deutsche Gesellschaft für Solarenergie (DGS); Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband (DEPV); Geothermische Vereinigung (GTV-BV); Verband Deutscher Biomasseheizwerke (VDBH); Fachverband Biogas e.V.; Wirtschaftsforum Geothermie (WFG).

[79] Der Dachverband umfasst auch zahlreiche Verbände aus dem Bereich der erneuerbaren Strom- und Kraftstofferzeugung, was die Heterogenität der Interessen verstärkt.

Erscheinung getreten, da ihm Maßnahmen wie das EEWärmeG nicht weit genug gehen (BEE 2008; Deutscher Bundestag 2008, 12). Im Mai 2009 gründete sich die Arbeitsgruppe Wärme des BEE.[80] Die AG hat sich zum Ziel gesetzt, die vollständige regenerative Wärmeversorgung über die sinnvolle Kombination der verschiedenen erneuerbaren Energien voranzubringen.

2.4.5.2 Eigentümerverbände

Die Eigentümerverbände und Verbände der Immobilienwirtschaft (u. a. Bundesvereinigung Spitzenverbände der Immobilienwirtschaft (BSI) und Bundesverband Freier Immobilien- und Wohnungsunternehmen e. V.) hatten sich anlässlich der EEWärmeG-Vorbereitung dezidiert gegen die Nutzungspflicht zur Steigerung des Anteils regenerativer Wärmenutzung positioniert. Die Immobilienwirtschaft lehnte den Gesetzentwurf ab, da er ungeeignet sei, die Ziele der Primärenergieeinsparung und CO_2-Minderung zu erreichen. Der Entwurf bevorzuge einzelne Technologien ohne Rücksicht auf deren Effektivität und würde damit zur Kostenerhöhung bei Gebäudeeigentümern und Mietern führen (TGA Fachplaner 02.11.2007). Der BSI setze vielmehr auf Freiwilligkeit und Anreizförderung, da Nutzungspflichten den Verbraucher verunsichern und zu gegenteiligen Effekten führen würden. Die Vertreter der Grundeigentümer (z. B. Eigentümerverband Haus & Grund) unterstrichen, dass bei den selbst nutzenden Grundeigentümern bereits eine hohe Bereitschaft zu klimafreundlicher Sanierung bestehe. Auch dieser Verband setzte sich anstelle einer Nutzungspflicht für Technologieoffenheit und verstärkte finanzielle Anreize durch das Marktanreizprogramm sowie für Steuererleichterungen ein. Eine EE-Nutzungspflicht für den Gebäudebestand schlossen die Grundeigentümerverbände in den Diskussionen zum EEWärmeG aus. Sie würde finanzschwache Eigentümer überfordern.

2.4.5.3 Mieterverbände, Deutscher Mieterbund

Die Instandhaltung oder Erneuerung der Heizungsanlage ist Sache des Vermieters. Er bestimmt in der Regel die Art der Wärmeversorgung. Da Vermieter Investitionen in die Wärmebereitstellung mit erneuerbaren Energien und in den Wärmeschutz bis zu einem Anteil von 11 % der Investitionskosten dauerhaft auf die Mieten umlegen (§ 559 Abs. 1 BGB) können, sind Mieter von der Investitionsentscheidung des Vermieters über die Kosten betroffen. Die Interessen der Mieter an einer kostengünstigen Wärmeversorgung vertritt der Deutsche Mieterbund als Dachverband von 320 deutschen Mietervereinen. Die Umlage der Mehrkosten für energetische Sanierungen und insbesondere für den Heizungsaustausch auf die Mieter wird grundsätzlich kritisch gesehen. Der Deutsche Mieterbund sowie der Bund der Energieverbraucher befürworten die regenerative Wärmenutzung demzufolge nur, soweit sich dadurch keine Mehrkosten, sondern vielmehr Kosteneinsparungen für die Mieter ergeben. Sind Mehrkosten unvermeidlich, fordert der Mieterbund, dass diese für finanzschwache Mieter durch sozialpolitische Maßnahmen, z. B. durch eine Wohngeldreform, abgepuffert werden. Die Frage, welche Anteile der Sanierungskosten vom Vermieter und welche vom Mieter zu tragen sind, stellt einen dauerhaften Konfliktpunkt dar (Deutscher Bundestag 2008).[81] Die Verbraucherverbände (insbesondere die Verbraucherzentrale Bundesverband (VZBV)) unterstützt das Anliegen der Mieter, Preissteigerungen zu vermeiden. Wegen möglicher Kostensteigerungen für den Verbraucher stehen sie staatlichen Vorgaben (Nutzungspflichten) zur regenerativen Wärmenutzung

---

[80] Mitglieder: BEE, Agentur für Erneuerbare Energien sowie Vertreter der Bundesverbände Wärmepumpe, Solarwirtschaft, Deutscher Energiepellet-Verband, Fachverband Biogas, Geothermie und Bioenergie.

[81] Vgl. hierzu Ausführungen zur Kostentragung im MIETRECHTSÄNDERUNGSGESETZ 2013.

daher grundsätzlich skeptisch gegenüber. Vertreter der Immobilienwirtschaft wehren sich jedoch ebenfalls erfolgreich gegen höhere Kostenbelastungen. Dadurch entsteht eine kaum überwindbare Pattsituation. Beide Interessenparteien fordern finanzielle Anreize, um Mehrkosten sozial verträglich ab puffern zu können.

2.5 Wirtschaftlichkeit und Investitionskonkurrenzen

2.5.1 Ölpreisentwicklung und ihre Effekte auf die Nachfrage nach EE-Wärmetechniken

Ein Paradigmenwechsel in der Energiepolitik trat in der EU erst in Folge der Ölpreiskrise von 1973 und der ebenfalls in diesem Jahr aufgehobenen Goldbindung des US-Dollars nach dem Zusammenbruch des Bretton-Woods-Systems[82] ein. Damit verlor der US-Dollar, mit dem mehr als 90 % des weltweiten Erdölhandels getätigt wurden, die Bindung an den stabilen Goldpreis. Durch die nun notwendige Einberechnung der Inflation und in Folge freier Wechselkurse waren der US-Dollar und somit auch der Erdölpreis von starken Schwankungen betroffen.

Zudem setzte im Zuge eines Diversifizierungsgedankens der Energieproduzenten, -quellen und -träger eine Politik zur Erhöhung des Anteils alternativer Energien gegenüber den fossilen Energieträgern vom Primär- bis Endenergieverbrauch ein. Zu diesen Energieträgern gehörten neben der Kernkraft auch erneuerbare Energien, die für die Erzeugung von Elektrizität und Wärme/Kälte genutzt werden sollten.

Die Entwicklung des Ölpreises und des daran gekoppelten Erdgaspreises hatten und haben Auswirkungen auf die Durchdringung der EE-Wärmetechnologien im Markt. Je höher der Ölpreis, desto eher ist die Wirtschaftlichkeit von Solarthermie, Umweltwärme und biogenen Festbrennstoffen zu erreichen. Die Technologien werden attraktiver, die Nachfrage steigt. Bei fallendem Ölpreis geschieht genau das Gegenteil und die Nachfrage nach EE-Wärmetechnologien geht zurück. Durch wirtschaftliche Anreize sind die unvorhersehbaren Preis- und Nachfrageschwankungen kaum auszugleichen. Förderinstrumente für den EE-Wärmesektor müssten sich dem schwankenden Preisniveau kurzfristig anpassen können. Diese Flexibilität ist jedoch bei haushaltsabhängigen Förderinstrumenten kaum gegeben.

2.5.2 Kosten- und Wirtschaftlichkeitsvergleiche

Grundsätzlich hat die Wirtschaftlichkeit (Verhältnis von Ertrag zu Aufwand) bei der Beurteilung einer Investition vor allem bei unternehmerischen Entscheidungen (z. B. Haus- und Wohnungsvermieter) eine wesentlich größere Bedeutung, als bei privaten (nicht unternehmerischen) Investitionsentscheidungen (z. B. selbstnutzende Hauseigentümer). Bei Letzteren ist die Wirtschaftlichkeit deshalb von geringerer Bedeutung, da hier keine Gewinnabsicht (Ertrag), sondern maximal das Ziel möglichst geringer Kosten (Aufwand) besteht.

In beiden Fällen können hohe Anfangsinvestitionen einen hemmenden Faktor darstellen, auch wenn durch langfristig niedrigere Betriebskosten Gesamtkostenvorteile (Summe aus Anschaffung- und Betriebskosten) ggü. den Alternativen zu erwarten sind. Gerade die Heiz- und Kühltechnik auf Basis erneuerbarer Energien hat mit diesem Nachteil zu kämpfen, denn je nach Technik (vor allem Holzheizungen und Wärmepumpen) sind langfristig geringere Betriebskosten ggü. Gas oder Öl nicht garantiert. Die Unsicherheit bzw. das Risiko einer Fehlinvestition spielen eine große Rolle bei der

[82] Seit 1944 hatte das System eine „Goldbindung“ festgelegt: 35 US-Dollar pro Feinunze Gold.

Entscheidung. Gerade risikoaverse Akteure wünschen ein hohes Maß an Sicherheit (Garantie), dass niedrige Betriebskosten auch tatsächlich eintreten, bevor sie sich für eine hohe Anfangsinvestition entscheiden (vgl. Kapitel 2.4.2.1).

Doch erfordert die Abschätzung der zu erwartenden Gesamtkosten eine preisdynamische Kostenvergleichsrechnung für die ausgewählten Alternativen. Diese ist jedoch wegen der notwendigen Abschätzungen zur Brennstoffpreisentwicklung und Inflation über die technische Lebensdauer von 20 und mehr Jahren deutlich schwieriger als eine einfache (statische) Kostenvergleichsrechnung. In vielen Fällen wird noch nicht einmal die einfache Kostenvergleichsrechnung zum Zeitpunkt der Anschaffung durchgeführt.[83] Folglich bekommen gerade bei Privatinvestoren weiche Entscheidungsfaktoren wie Image, Unabhängigkeit, Erfahrungen von Freunden und Bekannten sowie die Meinung des Installateurs ein großes Gewicht. Studien zeigen zudem, dass beim Kostenvergleich mehrerer EE-Heizungsalternativen (z. B. BSW 2012, 57ff.) die wirtschaftliche Beurteilung einer bestimmten EE-Heiztechnik sehr vom Einzelfall abhängig ist. Zudem wird vom Eigentümer ein hohes Maß an Interesse und Einarbeitung in die Materie verlangt, wenn er sich nicht allein auf subjektive Einzelmeinungen oder Erfahrungen stützen will.

2.5.3 Investitionskonkurrenzen

Durch die im Laufe der Zeit aufgetretenen Verschiebungen bei den Anschaffungs- und Investitionskosten treten auch unter den EE-Heiztechniken Konkurrenzen auf. Dabei gelten für Neubauten mit niedrigem Wärmebedarf andere Bedingungen als in Bestandsbauten mit höherem Wärmebedarf. In der Folge haben sich bei Neubauten Wärmepumpen in vielen Fällen gegenüber einer solarthermischen Heizungsunterstützung durchgesetzt. Auch Holzheizungen haben es im Neubau wegen des dort sehr viel geringeren Wärmebedarfs schwer, da kleine Heizkessel mit wenigen Kilowatt Wärmeleistung nur unwesentlich kostengünstiger sind als größere Kessel. Diese haben im Bestand im Vergleich zu Wärmepumpen und Solarthermieanlagen häufig bessere Voraussetzungen, da ein größerer Wärmebedarf zu decken ist. Zudem benötigen die vorhandenen Heizkörper in der Regel höhere Vorlauftemperaturen, die bei Wärmepumpen zu geringerer Effizienz führen. Vor allem bei der Solarthermie spielen die zusätzlichen Installations- und Integrationskosten bei eher geringen Brennstoffeinsparungen eine wesentliche Rolle.

Neben den Alternativen innerhalb der EE-Heiztechnik bestehen weitere Möglichkeiten, um gesetzliche Anforderungen (EnEV, EEWärmeG) bei Neubau oder Sanierung zu erfüllen. Die Anforderungen des EEWärmeG können statt durch eine EE-Heizung/Heizungsunterstützung auch durch Mehrinvestitionen in eine höhere Gebäudeeffizienz erfüllt werden (vgl. Kapitel 2.3.1.2). Ein geringerer Wärmebedarf des Gebäudes bei Sanierung oder bei Neubauten verschiebt zudem das Kostenverhältnis von den Betriebs- zu den Anschaffungskosten, sodass es Anlagen mit hohen Anfangsinvestitionen schwerer haben, mit niedrigeren Betriebskosten die höheren Anschaffungsmehrkosten zu kompensieren.

Insbesondere bei der Solarenergie besteht zusätzlich eine Investitionskonkurrenz zur solaren Stromerzeugung über eine Photovoltaikanlage. Die Investitionskosten liegen für private Investoren in vergleichbarer Höhe. Im Gegensatz zur Solarthermie kann jedoch bei der Photovoltaik sehr wahrscheinlich eine gute Rendite auf das eingesetzte Kapital erzielt werden, woraus eine Bevorzugung der Photovoltaik durch private Investoren folgt.

---

[83] Nur 60 % der 850 befragten Investoren aus dem Jahr 2009 haben eine derartige Kostenvergleichsrechnung vorgenommen (Langniß 2010, 95).

3 Innovationsbedingungen der Wärmeerzeugung mit Holz

3.1 Einführung

3.1.1 Bedeutung von Holz als Brennstoff

Holz gehört zu den ältesten Werkstoffen und war für sehr lange Zeit auch der einzige Brennstoff von wirtschaftlicher Bedeutung.[84] Die intensive Holznutzung führte zu großflächiger Zerstörung von Waldgebieten, da Holz in heute unvorstellbaren Mengen[85] benötigt wurde. Der daraus resultierende Holznotstand führte in Deutschland ab dem 18. Jahrhundert zur Einführung der *nachhaltigen* Holzwirtschaft mit planmäßiger Aufforstung und kontrolliertem Einschlag in allen Teilen Deutschlands (Osteroth 1992, 76f.). Ab dem 19. Jahrhundert substituierte Steinkohle in den aufstrebenden Industrieländern wie Deutschland schrittweise das Holz als Primärbrennstoff und reduzierte den Druck auf die Wälder. Im 20. Jahrhundert kamen noch Heizöl und Erdgas hinzu und Holz verlor seine Bedeutung für Heizzwecke. In Verbindung mit der nachhaltigen Wald- und Holzwirtschaft in Deutschland erholten sich die Holzbestände deutlich. Allerdings wurden die Holzpreise daraufhin für eine wirtschaftliche Nutzung der Wälder für viele Waldbesitzer unattraktiv.

Wieder reichlich verfügbare Holzressourcen und das wachsende Bewusstsein für die Endlichkeit fossiler Ressourcen, deren unsichere Preisentwicklung sowie die durch sie verursachten CO_2-Belastungen führten ab den 1980er Jahren zu einer Rückbesinnung auf Holz als Brennstoff. Diese Rückbesinnung erstreckte sich allerdings vorwiegend auf den privaten Sektor, der leichten Zugang zu Brennholzreserven in den Waldbeständen hatte. Zwischen 2000 und 2010 hat sich die Brennholznachfrage privater Haushalte in Deutschland von 12 Mio. auf rund 34 Mio. Festmeter[86] fast verdreifacht (Mantau 2012, 10). Dabei ist die Holzheizung keine Heizung der „Armen“, sondern es sind primär Haushalte mit mittleren bis höheren Einkommen und mittleren Alters mit Wohneigentum, die heute Holzheizungen betreiben (Mantau 2012, 23). Der größte Teil dieses privat genutzten Holzes wird in den ca. 15 Mio. Scheitholzöfen und Kaminen verbrannt, nicht in den geschätzt ca. 700.000 Holzzentralheizungen (AEE 2014, 6).

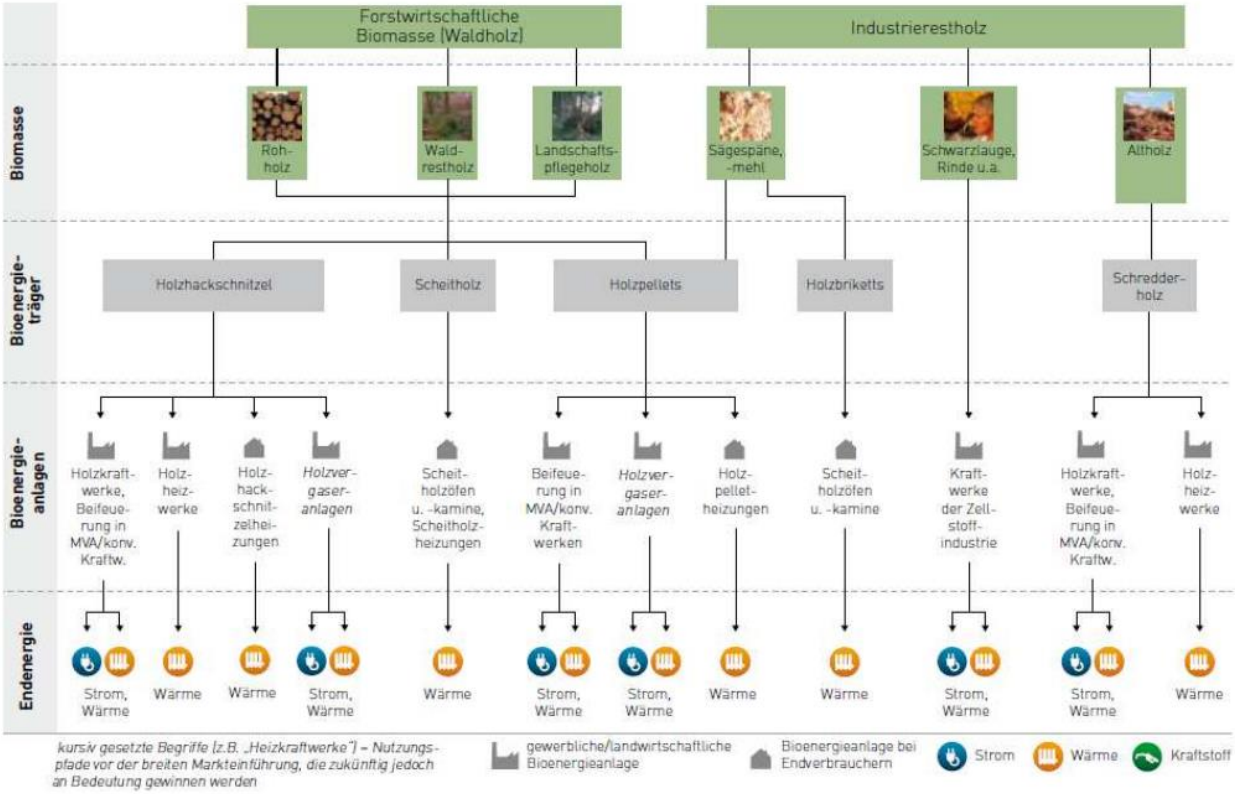
Im Jahr 2011 deckten die erneuerbaren Energien insgesamt 11 % des Wärmebedarfs in Deutschland. Die bedeutendste erneuerbare Endenergie war mit einem Anteil von 92 % die Biomasse, vor allem in Form von Scheitholz in einfachen Kaminen und Heizungen mit schlechtem Wirkungsgrad und hohen Emissionen. Der Anteil von Holz an der erneuerbar bereitgestellten Wärme betrug rund 68 % und 7,5 % am gesamten Wärmebedarf, überwiegend genutzt von privaten Haushalten (BMU 2012b, 12ff.). Dabei ist die Bandbreite der Holznutzung als Brennstoff sehr vielfältig (vgl. Abbildung 3-1).

---

84 Aus Holz gewann man Baumaterial für Häuser, Schiffe, Wagen, Fässer, etc., aber eben auch Holzkohle, Pech und Teer sowie Gerbstoffe. Der Energiegehalt von trockenem Holz (Feuchte < 10 %) liegt mit 18 bis 20 MJ/kg etwa bei der Hälfte von Steinkohle oder Erdöl aber doppelt so hoch wie bei der Braunkohle.

85 Für die Herstellung von 1 t Eisen mit dem Rennofen, der erst ab Beginn des 18. Jahrhunderts langsam durch den Hochofen mit Steinkohlekoks abgelöst wurde, wurden 6 t Holzkohle benötigt, die wiederum aus 30 t Holz gewonnen werden mussten. Zum Schmieden wurde von den Hammerwerken weitere Holzkohle benötigt: Für 1 t Schmiedeeisen wurden noch mal 15 t Holzkohle benötigt, d. h. in Summe für 1 t Schmiedeeisen 21 t Holzkohle bzw. rund 100 t Holz (Osteroth 1992, 77f.).

86 Festmeter wie Raummeter sind eine in der holzwirtschaftlichen Praxis noch heute übliche Bezeichnung, die bis Ende 1978 auch gesetzlich zulässig war. Seitdem ist nur noch die Angabe in Kubikmetern gesetzlich zulässig, ähnlich wie kW statt PS.



Quelle: AEE 2013, 5

Abbildung 3-1: Nutzungspfade für Reststoffe im Bereich Energieholz

Aufgrund der vorwiegenden Nutzung in Haushalten stehen im Zentrum dieser Innovationsbetrachtung die in den letzten 20 bis 30 Jahren entwickelten Holz-Einzelzentralheizungen mit automatischer Brennstoffzufuhr sowie kontrollierter Verbrennungssteuerung zur Nutzung von primär forstwirtschaftlichem Restholz. Dabei handelt es sich vor allem um Hackschnitzel- und Pelletheizungen, aber auch um innovative Scheitholzheizkessel.

3.1.2 Nicht untersuchte Wärmeerzeugungstechniken für Biomasse

Nicht betrachtet werden die mehreren tausend Holzheizwerke zur reinen Wärmeerzeugung und 440 Holzheizkraftwerke (AEE 2014, 7) zur kombinierten Strom- und Wärmeerzeugung sowie Kohlekraftwerke bzw. Müllverbrennungsanlagen[87], in denen nur eine Mitverbrennung von Holz erfolgt. Die dort erzeugte Wärme wird regelmäßig über ein Leitungsnetz verteilt.

Neben der festen Biomasse werden in Deutschland weitere biogene Endenergieträger zur Wärmeerzeugung genutzt. Die Wärme ist in diesem Fall ein Koprodukt bei der Stromerzeugung mit biogenen Brennstoffen in Bio-, Klär- und Deponiegas-BHKW. Diese Umwandlungstechniken werden im Folgenden nicht vertieft, da hier die Stromerzeugung im Vordergrund steht und die Wärme ein Nebenprodukt ist, dessen Nutzung – je nach Inbetriebnahmejahr – verpflichtend ist, wenn eine Vergütung

[87] Zu den Voraussetzungen der Anerkennung der Müllverbrennung als EE-Wärme vgl. Anwendungshinweise zur Nutzung von Wärme aus Müllverbrennungsanlagen der AG EEWärmeG in der Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft KliNa von 2010 (BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) 2010).

des erzeugten EE-Stroms über das Erneuerbare-Energien-Gesetz erfolgen soll. In der Regel wird diese Wärme über ein Wärmenetz zu den Orten des Bedarfs transportiert.[88]

Die reine EE-Wärmeerzeugung mit Biogas (Biomethan) bleibt ebenfalls unberücksichtigt. Biogas kann direkt in konventionellen Erdgasheizkesseln eingesetzt werden. Von der Biogasnutzung geht somit technisch gesehen keine Innovationswirkung aus.[89]

3.2 Phasen des Innovationsprozesses

Als zeitliche Bezugsräume für die Darstellungen der treibenden und hemmenden Kräfte im Innovationsverlauf wurden eine Vorphase sowie zwei Phasen innerhalb des Betrachtungszeitraums abgegrenzt (vgl. Abbildung 3-2). Grundlage der Phaseneinteilung ist eine Chronologie der Ereignisse und die Identifizierung von starken Impulsen, die Wendepunkte oder Dynamisierungen im Innovationsprozess auslösen.

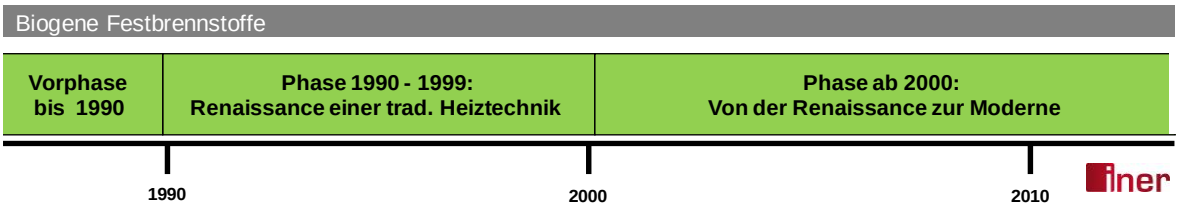


Abbildung 3-2: Innovationsphasen der biogenen Festbrennstoffnutzung

Die Vorphase war einerseits durch einen starken Trend zu Öl- und Gasheizungen gekennzeichnet. Holzheizungen konnten sich nur in wenigen Anwendungsgebieten behaupten. Durch die Ölpreiskrisen fand eine Rückbesinnung auf Holz statt. Die Phase der *Renaissance* umfasste die Dekade der 1990er Jahre und war durch ein verstärktes Interesse an der Holznutzung als Alternative zu Öl und Gas gekennzeichnet. Pioniere unter den Kesselherstellern entwickelten steuerbare und automatische Holzheizkessel, die vergleichbare Komforteigenschaften wie Öl- und Gasheizungen aufwiesen, und brachten sie zur Marktreife. Im Vergleich zu Öl und Gas waren Holzheizungen ein Nischenmarkt.[90]

Die Phase ab 2000 war durch fortschreitende *Optimierung* der neuen Kessel- und Verbrennungstechnik gekennzeichnet. Das Interesse an der Brennholznutzung stieg weiter an. Unter den Waldbesitzern und in der Forstwirtschaft sorgten steigende Brennholzpreise zu Beginn der zweiten Phase für Optimismus („Goldgräberstimmung“) – endlich war die Brennholzgewinnung auch gewinnbringend. Zum Ende der Phase wurden die begrenzten Ausbaupotenziale für Wärme aus Brennholz sichtbar. Die Konkurrenz zwischen stofflicher und energetischer Nutzung verschärfte sich, wobei die Holzindustrie (stoffliche Nutzung) den Vorrang beanspruchte. Auseinandersetzungen über die vertretbaren jährlichen Entnahmemengen zeigten an, dass Holzentnahme und Substratbereitstellung nicht in gleichem Maße wie in den vergangenen Jahren gesteigert werden konnten, zumal der Wald auch andere wichtige Funktionen für die Gesellschaft zu erfüllen hat. Diese Perspektiven verlangsamten die Marktentwicklung von Holzheizkesseln. Es zeichnet sich eher eine Stagnation als ein weiterer Aufwärtstrend ab.

---

88 Zu den Rahmenbedingungen und Einflussfaktoren auf die leitungsgebundene Wärmebereitstellung vgl. „Erneuerbare Energien in Deutschland – Eine Biographie des Innovationsgeschehens“ (Bruns et al. 2009).

89 Vertiefend hierzu wird auf die Ausführungen in Bruns et al. (2012, 244ff.) verwiesen.

90 Vgl. http://bdh-koeln.de/uploads/media/Pressegrafik_Marktentwicklung_2002-2012.pdf (letzter Abruf 07.04.2014).

Die Innovationen ab 1990 knüpften an Entwicklungen an, die bereits in den 1970er und 1980er Jahren stattgefunden hatten. In dieser „Vorphase“ fanden Pionierleistungen statt, die eine Renaissance der Holzheizungen, zumindest in holzreichen Regionen, einleiteten.

3.3 Entwicklungen in der Vorphase bis 1990

3.3.1 Modernisierung der Wärmeerzeugung mit Holz in Wohngebäuden

3.3.1.1 Umstellung von Holz-Einzelfeuerungen auf Öl- und Gasheizungen

Bis in die 1970er Jahre hinein zielten Modernisierungsmaßnahmen in Gebäuden in der Regel auf mehr Komfort und waren mit einer Umstellung von Einzelöfen auf eine Zentralheizung verbunden. Der Einbau einer Zentralheizung mit Umstellung auf Öl bzw. Gas versprach trotz höherer Betriebsmittelkosten einen erheblichen individuellen Komfortgewinn durch weniger Arbeit, weniger Schmutz und Staub in den Räumen und einer besseren Regelbarkeit. Holzheizungen hatten im Vergleich zu Öl- und Gasheizungen Nachteile durch den höheren Bedienaufwand und den relativ geringen Wirkungsgrad bei gleichzeitig hohen Schadstoffemissionen und waren nur unter engen Voraussetzungen konkurrenzfähig. Ihre technische Weiterentwicklung schien keine Zukunft zu haben. Auch der fortgesetzte Strukturwandel in der Landwirtschaft[91] begünstigte die Abkehr von Holzheizungen: Die sich verändernde Erwerbssituation (Nebenerwerb, Zunahme von Pendlern) und veränderte Erwartungen an die Freizeitgestaltung verringerten die Bereitschaft, den Aufwand für Brennholzwerbung zu leisten. Die Ölpreiskrisen in den 1970er Jahren in Verbindung mit erheblichen kurzfristigen Preisanstiegen von Öl und Gas führten hingegen zu einer Rückbesinnung auf Brennholz. Für ländliche *Eigenheim- und Grundstücksbesitzer* und Landwirte – Akteure mit günstigen Voraussetzungen für die Brennholzwerbung[92] – wurde Brennholz wieder attraktiv. Sie nutzten zunächst klassische Scheitholzheizungen mit teilweise verbesserter Technik und/oder kehrten zu noch vorhandenen Holzöfen und Kaminöfen für die Zufeuerung zurück. Doch wurden in Schweden und Dänemark in den 1980er Jahren bereits Holzpellets hergestellt und in großem Umfang verwendet. Sie wurden allerdings noch nicht im Einzelfeuerungsbereich, sondern in umgerüsteten Kohlekraftwerken mit Kraft-Wärme-Koppelung zur Strom- und Wärmeerzeugung eingesetzt.

3.3.1.2 Anwendungsbereiche für Holzheizungen

Vor allem in ländlichen Gebieten mit hohen Waldanteilen und hohen Anteilen an Privat- und Genossenschaftswald bestand ein leichter Zugang zu Brennholz. Dort konnte sich der Brennstoff zur Befeuerung von Einzel- und Kachelöfen – häufig Allesbrenner[93] – behaupten. Gelegentlich wurde Holz auch in offenen Kaminen oder Kaminöfen eingesetzt, allerdings nicht primär zu Heizzwecken. Nur wenige Gebäude, wie z. B. landwirtschaftliche Betriebe mit großen Gebäuden, wurden auch mit

---

91 Zum Strukturwandel in der Landwirtschaft (vgl. u. a. Priebe 1982). Priebe beschreibt den durch Technisierung forcierten „zweiten Strukturwandel der Landwirtschaft” in den 1970er Jahren, die Freisetzung landwirtschaftlicher Arbeitskräfte und die daraus resultierenden Veränderungen der Lebensformen. Zahlreiche kleine und mittlere landwirtschaftliche Betriebe gaben auf. Das Haushaltseinkommen wurde aus unselbstständiger Arbeit erwirtschaftet, die Maschinen und Geräte abgeschafft.

92 Die räumliche Nähe zum Waldbesitz, Know-how und technischer Ausstattung (Spalten, Sägen, Hacken) sowie ausreichend Arbeitskapazität und Platz zur Lagerung der Holzvorräte boten (und bieten) die notwendigen Voraussetzungen.

93 In den Öfen konnten neben Holz z. T. auch Kohlen und Briketts verbrannt werden. Im Vergleich zu Holz beanspruchte Kohle weniger Lagerplatz, hatte einen höheren Heizwert und hielt länger vor.

Holzheizungskesseln beheizt. Hier kam meist eigenes Stückholz zum Einsatz, das regelmäßig nachgelegt werden musste.

In größeren Mengen wurde Holz in holzverarbeitenden Betrieben genutzt, die ihre Reststoffe (Sägereste) zur Dampf- und Wärmeerzeugung verwerteten. Die hier eingesetzten Kessel mittlerer Leistungsbereiche waren automatisiert und konnten mit Hackschnitzeln, Holzresten oder Sägespänen befeuert werden. Technisch waren diese Anlagen aufgrund ihrer Konstruktion, Größe (mehrere 100 kW oder MW Leistung), Technik der Holzzuführung und Brennstoffflexibilität (Holzreste, Sägespäne, Staub) mit den Scheitholz-Heizungen nicht zu vergleichen.

Aus Sicht der Holzproduzenten (Waldbesitzer, Forstwirtschaft) versprach Produktion von Brennholz angesichts niedriger Holzpreise und geringer Nachfrage keine Gewinne. Insofern bestand kein Anreiz, den Einsatz von Holz zur Wärmeerzeugung zu forcieren. Die für Brennholznutzung in Frage kommenden Holzklassen wurden vielmehr als Industrieholz („Spanplatten“) verkauft.

3.3.2 Technische Herausforderungen

3.3.2.1 Weiterentwicklung von Heizungsanlagen im mittleren und höheren Leistungsbereich

Die wenig befriedigenden Erfahrungen mit automatisierten Holzkesseln in Europa, u. a. mit sogenannten Iwabo-Brennern aus Schweden[94], führten dazu, dass bis Mitte der 1990er Jahre nur eine geringe Nachfrage nach automatisierten Holzkesseln bestand. Erst in der Folgezeit konnten sich die zwischenzeitlich marktreif entwickelten Pellet- und Holzhackschnitzelheizungen als Alternative zu klassischen Heizkesseln am Markt etablieren (Stubenschrott 22.11.2012).

Bis Ende der 1980er / Anfang der 1990er Jahre konzentrierte sich die Forschung überwiegend auf die Weiterentwicklung von Holzkesseln für den mittleren und hohen Leistungsbereich bei gewerblicher Anwendung zur Nutzung von Stroh, Elefantengras (Miscanthus) oder Hackschnitzeln (Goy et al. 1987, 341; Flaig et al. 1998, 37ff.). Eine automatische Brennholzzufuhr gab es in diesem Zeitraum nur bei *Großanlagen*[95] in der Holzverarbeitung, um die dort anfallenden Holzabfälle, wie Sägespäne oder Verschnitt, thermisch zu nutzen. Die dabei verwendeten Holzzuführungen wie z. B. Schubböden oder Förderschnecken waren für kleine Heizkessel zu aufwendig und teuer, sodass damit ausgestattete Produkte nicht marktfähig waren (Goy et al. 1987, 343). Dadurch bestand die Herausforderung in der Entwicklung preiswerter Zuführungen für kleine Kessel, die flexibel an verschiedenen Orten zu installieren waren. Doch war dies zu Beginn der 1990er Jahre noch kein Forschungsthema.

Vielmehr waren es einzelne engagierte Unternehmer (vgl. Kapitel 3.3.2), die nach Möglichkeiten suchten, Holzheizkessel automatisiert und steuerbar mit Schwachholz oder Sägespänen zu betreiben. Der Entwicklungspfad für kleine Hackschnitzelheizungen[96] begann so in Deutschland mit der Entwicklung kleiner und raumsparender Fördertechnik. Eine zweite wesentliche Voraussetzung für den Betrieb kleiner Hackschnitzelkessel ist gleichmäßig und fein zerkleinertes Holz, welches die Brennstoffzuführung (Schnecken oder Trichter) nicht blockiert. Auch dafür mussten parallel in den 1980er Jahren maschinelle Holzhacker entwickelt werden, die Hackgut in der benötigten Qualität konstant herstellen konnten (vgl. Kapitel 3.4.1.4).

---

[94] Die Naturenergi Iwabo AB aus Schweden (2006 von NIBE INDUSTRIER AB übernommen) bot als erstes Unternehmen einen automatischen Holzbrenner an. Die Anlagen wiesen jedoch eine geringe Zuverlässigkeit und eine ungeeignete Feuerraum-Geometrie auf. Zudem hatten sie hohe Emissionswerte.

[95] Zum Beispiel von SPÄNEX, Nolding oder Mawera (heute *Viessmann*).

[96] Heute ab etwa 15 kW Leistung verfügbar.

3.3.2.2 Optimierung von Verbrennungsprozessen

Bei der Holzverbrennung läuft eine Vielzahl von komplexen chemischen und physikalischen Prozessen teilweise parallel ab (Nussbaum & Hartmann 2009, 463). Im Interesse der Weiterentwicklung effizienter und schadstoffarmer Verbrennungstechniken war es notwendig, die verschiedenen Stadien der Holzverbrennung vor allem bei kleinen Holzkesseln besser zu verstehen. Nur mit diesem Wissen konnten die Verbrennungsprozesse besser gesteuert, effizienter und für die automatisierte Verbrennung entsprechend weiterentwickelt werden.

3.3.3 Politische Weichenstellungen vor 1990

Auch auf Ebene der Europäischen Gemeinschaften hatten die Erdölpreiskrisen der 1970er Jahre sowie die Volatilität des Erdölpreises und der daran gekoppelten anderen Energiepreise die Notwendigkeit, alternative Energiequellen für die Wärmeerzeugung zu erschließen, unterstrichen. In den 1980er Jahren setzte überdies eine weltweite Diskussion um die nachhaltige Nutzung der Umwelt und der energetischen Ressourcen (vgl. UN General Assembly 1987) ein. Die Europäische Gemeinschaft (EG) verfolgte nach den Ölkrisen eine Diversifizierung der Energieversorgung (mehr Unabhängigkeit von Öl- und Gasimporten), entwickelte aber in den 1970er und 1980er Jahren nur kleine Impulse für eine Förderung von erneuerbaren Energien bzw. biogenen Festbrennstoffen im Wärmesektor. Sie beschränkte sich auf Förderprogramme für Demonstrationsprojekte, die jährlich von der Kommission der EG, Generaldirektion Energie, ausgeschrieben wurden (Urbanek 1989, 6). Auch auf Bundesebene gab es vor dem Jahr 1990 keine Initiativen – etwa in Form von energiepolitischen Zielen oder Strategien – für den Einsatz von biogenen Festbrennstoffen.

Einige Bundesländer, darunter Hessen und Nordrhein-Westfalen, setzten durch die Landesgesetzgebung und Förderprogramme Impulse für die Energieeinsparung und nahmen damit eine Vorreiterrolle ein. Unter Ministerpräsident Holger Börner und Umweltminister Joschka Fischer verabschiedete die rot-grüne Landesregierung in Hessen im Juli 1985 als erstes Bundesland ein Hessisches Energiespargesetz (HEnG)[97]. Dieses Gesetz zielte nicht nur auf Energieeinsparungen, sondern sah darüber hinaus eine Förderung von „Anlagen zur energetischen Verwertung von Biomasse“ im Wärmesektor vor. Auch Energiekonzepte, Energieberatung und Bürgerbeteiligungsprojekte konnten Zuwendungen erhalten.[98]

Nordrhein-Westfalen führte 1987 – ein Jahr nach dem Tschernobyl-Unfall – unter der SPD-Regierung von Johannes Rau das Programm „Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen“ (REN) ein. Ein Schwerpunkt lag auf dem Bereich der Bioenergie. Im Juni 1989 lagen die Zuschüsse für Bioenergieanlagen bei 25 % der Investitionskosten und konnten von allen Verbrauchern in Anspruch genommen werden. Wurden gleichzeitig Steuervergünstigungen nach § 82a Einkommensteuer-Durchführungsverordnung (EStDV)[99] in Anspruch genommen, reduzierte sich der Zuschuss auf 17,5 % (Urbanek 1989, 5 f.). Ob, und in welchem Umfang auch der Einbau privater Holzheizungsanlagen in Hessen und Nordrhein-Westfalen von der „Bioenergieanlagenförderung“ profitierte, konnte rückwirkend nicht geklärt werden.

Abgesehen von diesen Einzelbeispielen gab es vor 1990 keine politischen Impulse für eine verstärkte Nutzung von Holz als Brennstoff. Das wiedererwachende Interesse der Anwender war eher durch die

---

97 Vgl. Rechtsquellenverzeichnis.

98 Es lässt sich nicht mehr feststellen, wie hoch der Effekt auf den Ausbau des Marktes für biogene Festbrennstoffe war.

99 Einkommensteuer-Durchführungsverordnung, vgl. Rechtsquellenverzeichnis.

krisenbedingten Preisunsicherheiten des Öl- und Gasmarktes geprägt. Erst in der nachfolgenden Phase – ausgelöst durch den von der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ initiierten Klimaschutz- und CO_2-Minderungsprozess – wurden Maßnahmen wie die finanzielle Bezuschussung von biogenen Festbrennstoffheizungen etabliert.

3.3.4 Akteure: Unternehmen als Treiber für die Rückbesinnung auf Holzheizkessel

Während in Deutschland die technische Fortentwicklung von Holzheizkesseln (bis dato vorwiegend Stückgut/Scheitholz) in den 1980er Jahren überwiegend stockte, ergriffen einzelne Unternehmen im holzreichen Nachbarland Österreich die Initiative: Sie begannen, Holzheizungen im Hinblick auf Effizienz und Bedienkomfort zu optimieren. Ausschlaggebendes Motiv war die unmittelbare Verfügbarkeit des Brennstoffs, sei es, dass „das Brennholz ja direkt vor der Tür wuchs“ (Stubenschrott 16.11.2012) oder dass eine Weiterverwertung von Holzabfällen der holzverarbeitenden Betriebe nahelag. In Österreich hatte Brennholz traditionell eine große Bedeutung. 50 % der Waldfläche sind im Besitz privater Eigentümer, die dadurch Zugang zu eigenen Holzressourcen haben. Die einfache Holzheizung war daher auch in den Boom-Zeiten der Umstellung auf Öl- und Erdgasheizungen weiter nachgefragt worden (Industriemagazin 15.02.2011).

Die kritische Auseinandersetzung mit Energiefragen, insbesondere über die Atomenergie und große Wasserkraftanlagen, die in den 1970er und 1980er Jahren in Österreich geführt wurde, motivierte eine Generation junger Leute in der Phase von Familiengründung und Hausbau, die höheren Risiken und ggf. Unzulänglichkeiten der neuen Holzheizungstechniken in Kauf zu nehmen und die neuartigen Holzkessel zu installieren (Holzforschung Austria 2009, 14).

1983 gelang es dem amerikanischen Flugzeugingenieur Jerry Whitfield, einen automatischen Pellet-Zimmerofen („Legend“) zu bauen, der ab 1984 erfolgreich am Markt angeboten wurde (Janzing 2004, 10). Derartige „moderne“ Zimmeröfen hatten zu dieser Zeit aber keine Relevanz für den deutschen Markt, wo Zentralheizungskessel bevorzugt wurden.

Die Entwicklung von mit Öl- und Gasheizkesseln konkurrenzfähigen Holzheizkesseln wurde maßgeblich durch den Pioniergeist einzelner Unternehmer (ursprünglich Kesselbauer, Schlosser) vorangetrieben. Die österreichischen Firmen *Hargassner, Fröling* oder *Guntamatic* repräsentieren diesen Unternehmenstyp.[100] Mitte der 1980er Jahre entwickelten sie zunächst effizientere Festbrennstoff-Kessel für kleine und mittlere Leistungsbereiche[101], bevor sie sich in der nachfolgenden Phase auch Pelletheizungen und Systemlösungen zuwandten. Die Stückgut-Holzheizungen bedienten in dieser Phase einen Nischenmarkt, dessen Nachfrage den Pionierunternehmen ein deutliches Wachstum bescherte.[102] In dieser Vorphase wurden die Weichen für die erfolgreiche Entwicklung von Pelletheizungen gestellt: In Deutschland gab es erste Entwicklungen zur Nutzung von losem und förderbarem Holz (Hackschnitzel, Pellets, Sägespäne) für kleine Holzheizungen.

Insbesondere brachte die Kooperation der österreichischen Kesselbauer mit dem deutschen Unternehmen Heizomat aus Bayern, das Förderschnecken bzw. Beschickungsanlagen für kleine Holzkessel entwickelt hatte, die Entwicklung automatisierter Holzheizkessel entscheidend voran (Bloos 19.03.2013). Robert Bloos hatte im Jahr 1982 das Unternehmen *Heizomat*[103] gegründet, dabei seine

---

[100] Die Unternehmensgeschichten und beispielhafte Entwicklungen sind in einer UNTERNEHMENSÜBERSICHT zusammengestellt.

[101] So entwickelte Fröling bereits 1988 einen modernen Scheitholzkessel mit Hochtemperaturverbrennung. Im selben Jahr erfolgte die Markteinführung des ersten Holzvergaserkessels mit Saugzuggebläsetechnologie durch Guntamatic.

[102] In den 1990er Jahren hielt das Unternehmenswachstum an und die Unternehmen expandierten (vgl. Kapitel 3.4.3.1).

[103] Heizomat Gerätebau-Energiesysteme GmbH, Gunzenhausen.

Erfahrungen mit Brennstoff-Fördertechnik bei industriellen Dampferzeugern (dort Kohle) auf Holz übertragen und die erste automatische Brennstoffzufuhr zunächst mit *Sägespänen* realisiert (inkl. Vorratstank für einen Tag). Die Herausforderung bestand darin, die bekannten großtechnischen Förderanlagen auf kleine, räumlich begrenzte Anwendungsbereiche herunter zu skalieren. Für kleine Holzkessel entwickelte er eine deutlich geringer dimensionierte Schnecke und stellte diese selber her. Eine zweite Herausforderung bestand darin, den nutzbaren Brennstoffvorrat über den Tagesvorrat hinaus zu vergrößern und aus einem Vorratsraum der Schnecke zuzuführen. Dieses Problem löste er mit der Gelenkarmfräse, mit der sich die Möglichkeiten der Nutzung von Vorratsräumen erweiterten (Bloos 19.03.2013). Da bei der automatischen Beschickung der Brennstoffvorrat über die Zuführung direkt mit dem Glutbett verbunden war, musste außerdem eine Rückbrandsicherung eingebaut werden. Sie verhindert, dass ein Brand in der Brennstoffstrecke bis hin zum Vorratsraum entstehen kann.

Der nächste Schritt bestand in der kesselseitigen Anpassung der Scheitholz-Heizkessel an die neuartige Fördertechnik. Eine größere Anzahl traditioneller Holzkesselhersteller gab es in den 1980ern vor allem noch in Österreich[104] und so kam durch Zusammenarbeit mit Kesselbauern[105] diese neue Fördertechnik für Hackschnitzel oder Holzpellets in den 1980er Jahren nach Österreich. Die Hersteller begannen daraufhin ihre traditionellen Holzkessel für die neuen Brennstoffe anzupassen oder neu zu entwickeln.

3.4 Phase 1990 bis 1999: Renaissance einer traditionellen Heiztechnik

3.4.1 Technologieentwicklung

3.4.1.1 Vom Scheitholzkessel zum Scheitholzvergaserkessel

Vor bzw. parallel zur Entwicklung vollautomatischer Holzheizungskessel erfuhr auch die klassische Stückholzheizung in den 1980er Jahren eine Weiterentwicklung, was ihre Eigenschaften und Wettbewerbsfähigkeit zu Beginn der 1990er Jahre wesentlich verbesserte. Bei Scheitholzheizungen kam es auf die Steuerung der Feuerungsleistung über die Luftzufuhr an. Diese sollte lange Abbrandzeiten und optimale Verbrennungsbedingungen in den drei Hauptbetriebsphasen Anfahren, stationärer Betrieb und Ausbrand ermöglichen (Hartmann et al. 2009, 491).

Ein Meilenstein für eine optimale Verbrennung mit hohem Wirkungsgrad wurde dadurch erreicht, dass das bis dahin übliche einfache und ineffiziente Durchbrandprinzip durch die Unterbrandtechnik abgelöst wurde.[106] Beim Durchbrandprinzip wird die gesamte Verbrennungsluft durch den Rost und den geschichteten Holzhaufen geführt. Insbesondere bei großen Brennstoffhaufen kommt es dadurch zu einem schlecht steuerbaren Verbrennungsablauf und zu hohen Emissionen, da Holzentgasung und Nachverbrennung der Gase gleichzeitig stattfinden. Bei der Unterbrandtechnik werden Holzentgasung und Gasverbrennung räumlich getrennt und durch Gebläse gesteuert. Noch Mitte der 1980er Jahre hatte die Unterbrandtechnik auch mit Problemen bei der Materialbeanspruchung zu kämpfen (Goy et al. 1987, 332) und erreichte noch nicht heute übliche Wirkungsgrade von zum Teil deutlich über 90 %.

---

[104] Vgl. Darstellung zur Rolle österreichischer Unternehmen in Kapitel 3.4.3.1.

[105] Zum Beispiel die Firmen Hargassner; Fröling; Guntamatic; vgl. UNTERNEHMENSÜBERSICHT.

[106] Die Entwicklung der Unterbrandtechnik war ein längerer Prozess. Es war nicht zu ermitteln, welche Hersteller sie entwickelt und marktfähig gemacht haben.

Scheitholzkessel aus den 1980er Jahren wiesen erst Wirkungsgrade von 50 % bis 70 % auf (Holzforschung Austria 2009, 11).

Wesentliche Treiber für die Weiterentwicklung manuell beschickter Scheitholzkessel hin zu Scheitholzvergaserkesseln waren die Anpassung an deutlich strengere Emissionsvorschriften und eine trotz Heizöl- und Erdgas nach wie vor vorhandene Nachfrage vor allem in ländlicheren Gebieten Österreichs und Deutschlands mit oft kostenlosem Zugang zu Scheitholz. Technologieimpulse kamen auch von den Pellet- und Hackschnitzelkesseln und deren Regelungstechnik. Gegenüber Pellet- oder Hackschnitzelkesseln sind Scheitholzvergaserkessel wegen der nicht benötigten Fördertechnik preisgünstiger und haben so eine stabile Nachfrage.[107]

3.4.1.2 Automatisierte Hackschnitzel-Kessel

Ein großer Vorteil von Hackschnitzelheizungen besteht bei entsprechender Auslegung der Fördertechnik und Verbrennungssteuerung in der großen Brennstoffflexibilität. Außer Hackschnitzeln können auch andere Holzbrennstoffe wie Pellets, Körner, zerkleinertes Halmgut, Säge- und Hobelspäne genutzt werden. Insbesondere für die Bereitstellung feiner Hackschnitzel mit gleichmäßiger Schnitzellänge zur Vermeidung von Blockaden in der Förderstrecke mussten die bekannten Holzhacker weiterentwickelt werden, damit diese konstant eine feine Schnitzelqualität produzieren konnten (vgl. Kapitel 3.4.1.4).

Ein wesentlicher Innovationsschritt zur Erzielung hoher Wirkungsgrade bei möglichst niedrigen Emissionen wurde auch bei Hackschnitzelkesseln durch die räumliche Trennung von Feststoffumsetzung/Vergasung und Gasausbrand in der Nachbrennkammer erzielt, wobei beide Zonen unabhängig durch Primär- und Sekundärluftzufuhr geregelt werden können. Sauerstoff- (Lambda-Sonden) und Temperatursensoren versorgten nun die elektronische Regelung mit Steuerungsparametern.

Die Ablösung der manuellen Entaschung (unterhalb des Rostes) durch die automatische Entaschung über Schnecken oder Räumer in einen großen Aschebehälter stellte eine wesentliche Komfortsteigerung dar. Ein Wassermantel um die Brennkammer zur effektiven Wärmeabführung, bei größeren Feuerungsleistungen ab etwa 100 kW auch zusätzlich durch Wanderroste unterstützt, ermöglichten die Nutzung von Holzbrennstoffen mit hohem Mineralienanteil, wie Halmgut oder Rinde, ohne die Entstehung fester Schlacke im Brennraum. Bei kleineren Kesseltypen wurden Schalenroste mit einem sich drehenden Knebel entwickelt, der die Asche bzw. entstehende Schlacken zermahlt, welche dann in den Aschebehälter fallen. Für die Rauchrohre, insbesondere bei liegender Ausführung, wurden automatische Reinigungsvorrichtungen, sogenannte Turbolatoren, entwickelt. Diese spiralförmigen Rauchgasschikanen ähnlich einer Förderschnecke reinigen durch eine gesteuerte Drehbewegung die Rauchrohre von darin abgesetzter Flugasche und verlängern die Verweilzeit des Rauchgases. Dies erhöhte durch mehr Wärmeabgabe den Wirkungsgrad.

Im Vergleich zu den ebenso automatisch beschickten Pellet-Kesseln weisen Hackschnitzelheizungen jedoch logistische Nachteile auf: Die geringere Schüttdichte des Hackgutes erfordert etwa das vierfache Lagervolumen.[108] Der Hackschnitzel-Kessel selbst benötigt zwei bis dreimal so viel Aufstellungsraum wie ein vergleichbar leistungsfähiger Pellet-Kessel. Der Einsatzschwerpunkt für diesen Heizungstyp sind daher eher land- oder forstwirtschaftliche Betriebe mit größerem Wärmebe-

[107] In den letzten Jahren durchschnittlich ein Drittel der über das Marktanreizprogramm geförderten Anlagen.

[108] Eine 20 kW Hackschnitzelheizung benötigt ein Silovolumen von ca. 10 bis 15 m³ pro Heizperiode.

darf und Lagerkapazitäten. Aufgrund dieser logistischen Nachteile haben sich kleine Hackschnitzelheizungen (unter 50 kW) trotz erfolgreicher Technikentwicklung und geringer Brennstoffkosten nicht gegenüber Holzpelletheizungen durchsetzen können. Ihr Anteil am gesamten Brennholzeinsatz liegt bei 0,5 %[109] im Vergleich zu rund 5 % bei Pellets (Mantau 2012, 9).

3.4.1.3 Vom Pelletofen zum Pelletkessel

Die Nutzung von Holzpellets in kleinen Holzheizungen begann in den USA Anfang der 1980er Jahre, in Europa erst in den 1990ern. Bis dahin wurden in Europa Holzpellets vor allem in Schweden und Dänemark primär in Heizkraftwerken verwendet. In Deutschland wurden Pellets für Kleinfeuerungsanlagen offiziell erst im Jahr 1996 als Brennstoff zugelassen, nachdem die Normung dieses Brennstoffs erfolgt war.

In Europa haben Zimmeröfen jedoch eine wesentlich geringere Marktbedeutung als Zentralheizungskessel. Nur wenige deutsche Unternehmen boten Pelletöfen an.[110] Stattdessen konzentrierte man sich – vor allem bei den österreichischen Heizkesselherstellern – auf die Entwicklung eines Pellet-Kessels, der einen zentralen Heizöl- oder auch Erdgaskessel bei gleichem Komfort und gleicher Zuverlässigkeit ersetzen können sollte. Dazu mussten mehrere Entwicklungsziele erreicht werden:

- Hoher energetischer Wirkungsgrad wie bei Gas- und Ölkesseln.
- Sehr gute Verbrennungsqualität mit geringen Schadstoff- und Staubemissionen.
- Zuverlässige Fördertechnik (in Verbindung mit Normung des Brennstoffs).
- Verringerung des Gerätevolumens.
- Senkung der Herstellungskosten.

Im Vergleich zu Hackschnitzelkesseln (die neben Hackschnitzeln auch Pellets nutzen können), haben reine Pellet-Kessel keine Brennstoffflexibilität. Diesen Nachteil gleichen sie aber durch deutliche Vorteile aus: Zum Beispiel haben Pellets eine drei- bis vierfach höhere Energiedichte als Hackschnitzel. Für Anwendungsbereiche mit beschränkten Platzverhältnissen (Ein- oder Zweifamilienhäuser) sind sie daher besser geeignet. Da das Gerätevolumen von Pellet-Kesseln deutlich reduziert werden konnte, kamen sie auch für Umrüstungen von Ölheizungen im Bestand in Frage (Stubenschrott 22.11.2012). Zugleich konnten auch der Materialbedarf und Kosten gesenkt werden.

3.4.1.4 Flankierende Innovationen bei der Energieholzherstellung

Die Entwicklung von Hackschnitzel- und Pellet-Kesseln ist eng verknüpft mit der Herstellung dafür geeigneter Brennstoffe. Qualitätsmerkmale von Pellets und Hackschnitzeln sind Heizwert, Schüttdichte, Wasser- und Aschegehalt sowie Homogenität. Somit haben sich die Weiterentwicklung der Kessel und die Brennstoffherstellung gegenseitig beeinflusst.

Hackschnitzel zur energetischen Restholznutzung

Wie bei Pellets ist auch bei Hackschnitzeln die Brennstoffqualität bestimmend für das Maß an Effizienz, Zuverlässigkeit und Emissionen des Heizkessels. Hackschnitzel bzw. Hackgut sind Sammelbegriffe für ein breites Hackschnitzelsortiment. Hackschnitzel werden mithilfe von Hackern oder

---

[109] Der Autor vermutet, dass der Anteil der Hackschnitzel tatsächlich höher liegt, da unter dem Posten „Sonstiges“ (4,1 %) auch Waldhackschnitzel zu finden seien.

[110] Der erste deutsche Pelletofen „air+“ wurde ab 1993 nach eigenen Angaben von der Firma *Wodke* angeboten. Wodtke GmbH http://www.wodtke.com/download/produktinfos/Chronologie_2013-12.pdf (Letzter Abruf 14.04.2014).

Häckslern aus Altholz oder Waldrestholz hergestellt. Für kleine Hackgutkessel wird feines und gleichmäßiges Hackgut benötigt. Dafür konzipierte in Deutschland Robert Bloos mit dem Unternehmen *Heizomat* 1989 einen Trommelhäcksler. Im Wald wird das anfallende Holz in der Regel durch Einsatz sogenannter Harvester[111] direkt bei der Holzernte zu Hackschnitzeln verarbeitet. Der Zerkleinerungsgrad wird davon bestimmt, ob das Holz mit schneidenden oder brechenden Werkzeugen verarbeitet wurde.

Die Qualität der Holzhackschnitzel ist maßgeblich für die Auswahl und Ausführung der Förder- und Kesseltechnik. Wird bei der Stückelung schlechtes Holz (hoher Rindenanteil, morsch, sehr nass) verwendet, ist mit Fehlfunktionen und schlechter Verbrennung bzw. geringerem Wärmeertrag und hohen Emissionen zu rechnen. Bereits 1987 wurde in Österreich deshalb die erste Norm (M 7133) für Hackschnitzel erstellt. Die Nutzung normgerechter Hackschnitzel wird vor allem bei kleinen Hackschnitzelheizungen empfohlen, da deren Fördersysteme nicht auf die Förderung größerer Mengen Feinmaterial oder Hackgut mit erheblichen Anteilen an überlangen Schnitzeln ausgelegt sind (FNR 2010, 7).

Holzpresslinge als kompakte Alternative

Anfang der 1990er Jahre mussten gepresste Holzpellets noch nach Deutschland importiert werden (Fischer 2002, 7), die in den USA und skandinavischen Ländern, bereits seit Mitte der 1980er Jahre eingesetzt wurden. Parallel zum allmählich ansteigenden Absatz der Pelletheizungen in Deutschland begannen vor allem kleine Unternehmen, die vielfach in Verbindung mit holzverarbeitenden Betrieben standen, um das Jahr 1996/1997 mit der Produktion von Holzpellets. Für die Pelletherstellung – die Pressung von Sägespänen aus der Holzverarbeitung zu Strängen von üblicherweise 6 bis 8 mm Durchmesser und bis 45 mm Länge (für industrielle Verwendung auch größer) – wurden die schon lange z. B. im Futtermittelbereich[112] eingesetzten Pelletierungstechniken auf Sägespäne adaptiert. Neben der höheren Dichte war die bessere Transportierbarkeit (Schüttfähigkeit) in automatisierten Förderanlagen ein wesentlicher Vorteil von Pellets.

Normierte Brennstoffqualitäten für Pellets ermöglichten eine optimale Einstellung der Förder- und Kesseltechnik auf den Brennstoff. Die erste Normung erfolgte 1990 in Österreich und wurde in Deutschland 1996 mit der DIN 51731 fortgesetzt. Eine große Bedeutung haben dabei die Zertifizierungssysteme der Pelletbranche mit den Labeln „DIN plus“ bzw. „EN plus“, welche die Einhaltung der Normen durch den Hersteller für den Käufer sichtbar machen.

3.4.2 Politische Impulse, Förderprogramme und Entwicklung des rechtlichen Rahmens

3.4.2.1 Motive und Maßnahmen der EU bei der Förderung der Biomasse

Mit den Programmen JOULE I und II und THERMIE I und II[113] wurden v. a. Demonstrationsprojekte der regenerativen Wärmeerzeugung in den Mitgliedsländern gefördert (Bruns et al. 2009, 126). Bei den Holzheizungen setze die EU auf die Förderung von Heizwerken bzw. Heizkraftwerke sowie KWK-Anwendungen – Holzheizungen in Einzelhaushalten standen nicht im Fokus. 1995 und 1997 veröffentlichte die EU-Kommission Weißbücher, die eine aktive Förderpolitik zum weiteren Ausbau der Märkte

[111] Diese Arbeitsmaschinen können in einem Arbeitsgang die Bäume fällen und anschließend hacken, wobei die spezifischen Kosten für die hergestellte Hackschnitzel-Menge mit größerem Stammdurchmesser deutlich sinken (Dieter & Englert 2001, 11).

[112] Anwendungsbereiche waren die Pelletierung von Stroh und Torf oder von Trockenfutter.

[113] Laufzeit JOULE I: 1989 – 1992; JOULE II: 1991 – 1994; THERMIE I: 1990 – 1994; THERMIE II: 1995 – 1998.

für die energetische Nutzung fester Biomasse anstoßen sollten (Europäische Kommission 1995, 13; 35; Europäische Kommission 1997b, 20f.). Nach dem Willen der Kommission sollte feste Biomasse weiterhin Großanlagen, wie z. B. KWK-Anlagen genutzt werden (Europäische Kommission 1996, 63). Die Förderprogramme, u. a. ALTENER II (Europäische Kommission 1997a, 35), wurden entsprechend ausgerichtet. Somit entfalteten sie weiterhin keine Wirkung für Einzelfeuerungsanlagen. Auch mit der Einrichtung eines Europäischen Fonds für EE und eines Gemeinschaftsprogramms zur Installation u. a. von 1.000 MW Energie aus Biomasse (Europäische Kommission 1997b, 10) richtete die EU-Kommission ihre Politik eher auf Großanlagen (Kraftwerke) als auf Einzelanwender aus. Die Biomasse sollte „aus land- und forstwirtschaftlichen Abfällen und Abfällen der holzverarbeitenden Industrie sowie aus Abfallströmen und neuen Energiepflanzen gewonnen werden“ (Europäische Kommission 1997b, 45).[114] Die Beschränkung auf forstwirtschaftliche Abfälle verdeutlicht, dass in dieser Phase nicht an eine Energieholzproduktion im Wald gedacht wurde. Vielmehr sollten dafür landwirtschaftliche Flächen genutzt werden: Um den Anteil der Biomasse bis 2010 auf 10 % am Primärenergiemix zu erhöhen, sollten Anbauflächen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) verfügbar gemacht werden (Europäische Kommission 1997b, 10). Diese Vorgabe ging Hand in Hand mit den nationalen Bemühungen um eine Ausweitung des Energieholzanbaus in Kurzumtriebsplantagen (KUP) auf dem Acker.

Die aus den Weißbüchern zitierten Zielsetzungen der EU-Kommission blieben zu vage, um konkrete Maßnahmen in den Mitgliedstaaten auszulösen. Einerseits lag dies an der heterogenen Struktur des Primärenergiemixes und den daraus resultierenden unterschiedlichen Energiestrategien der einzelnen Nationalstaaten. Andererseits war (und ist) auch die Entwicklung einer einheitlichen Strategie zur Förderung von erneuerbaren Energien und speziell der erneuerbaren Wärme aus Biomasse schwierig aufgrund der unterschiedlichen Interessen der Akteure und deren Durchsetzungsfähigkeit in den verschiedenen europäischen Institutionen.

3.4.2.2 Einstieg in die Klimaschutzpolitik auf Bundesebene

In den Berichten der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ (1987-1990, vgl. Kapitel 2.2.2.2) zählte auch die Wärmeerzeugung mit Holz als Beitrag zur CO_2-Minderung. Insofern passte deren Förderung in das Konzept der ab 1990 einsetzenden Klimaschutz- und CO_2-Minderungspolitik.

3.4.2.3 Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien

Die Bundesregierung beschloss am 27. Dezember 1993 die vom Bundeswirtschaftsministerium entwickelten „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ (vgl. Kapitel 2.3.3) (BMWi 1993). Die Richtlinien förderten sowohl EE-Wärmetechniken als auch einzelne EE-Stromtechniken. Holzheizungen waren ab 1995 förderfähig.

[114] Mit Abfallströmen sind an dieser Stelle „die organischen Bestandteile fester oder flüssiger Siedlungsabfälle, getrennte Haushaltsabfälle und Klärschlamm“ gemeint (Europäische Kommission 1997a, 45).

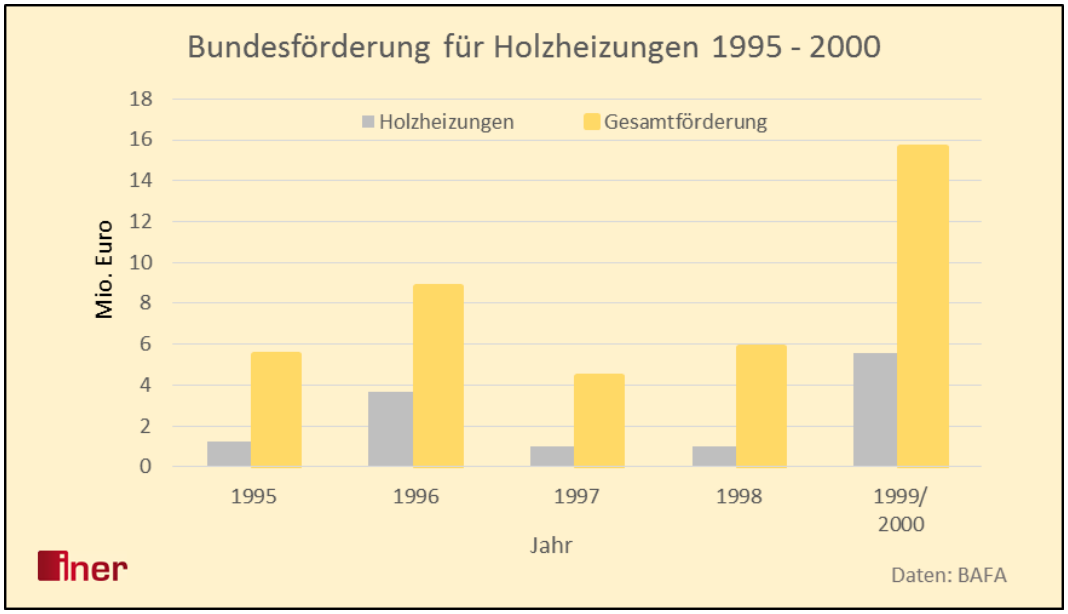


Abbildung 3-3: Bundesförderung für Holzheizungen 1995-2000

Zwischen 1995 und 2000 wurden Holzheizungen mit rund 12,5 Mio. Euro aus Bundesmitteln über diese Förderrichtlinie gefördert. Dies entspricht einem Anteil von 31 % der gesamten Fördermittel aus diesem Fördertopf (vgl. Abbildung 3-3). Der Mittelanstieg in den Jahren 1999/2000 durch die Aufstockung des zur Verfügung gestellten Fördervolumens von 10 Mio. auf bis zu 100 Mio. Euro erklärt sich mit dem Regierungswechsel 1998 und der im Koalitionsvertrag vereinbarten Ausweitung der Förderung (Marktanreizprogramm).

3.4.2.4 Förderung in den Bundesländern

Mit Beginn der 1990er Jahre wurden in einigen Bundesländern Programme zur Förderung der energetischen Biomassenutzung eingeführt bzw. weiterentwickelt. Auf Grundlage des 1990 novellierten Hessischen Energiegesetzes (HEnG) konnten beim hessischen Umweltministerium z. B. Anträge zur Bezuschussung von 30 % bzw. 4,5 % Zinsvergünstigung u. a. für Stroh- und Holzheizungen sowie Holz-Heizkraftwerke gestellt werden (Urbanek 1991, 28). Voraussetzung war ein Energiekonzept des Antragstellers. Über das HEnG wurden darüber hinaus Anwender mittlerer und großer Heizungsanlagen, z. B. in den Kommunen, gefördert. Sie erhielten Zuschüsse bis zu 50 % bzw. Zinsvergünstigungen für Forschungs-, Entwicklungs-, Pilot- und Demonstrations-Projekte (Urbanek 1991, 25). Zu welchen Anteilen mit Holz betriebene EE-Wärmeerzeugungsanlagen davon profitierten, konnte nicht geklärt werden.

In *Baden-Württemberg* gewährten die Landwirtschaftsämter im Zuge des Förderprogramms für regenerative Energien ab dem Jahr 1991 einen Zuschuss von 20 % für landwirtschaftliche Familienbetriebe, die Investitionen im Bereich der Biomasseanlagen vornahmen (Urbanek 1991, 26). Auch hier konnte nicht geklärt werden, inwieweit mit Holz betriebene EE-Wärmeerzeugungsanlagen davon profitierten.

In *Bayern* begann die bayerische Landesregierung Anfang der 1990er mit der Förderung von Hackschnitzel-Heizwerken. Sie beabsichtigte damit, die Nachfrage nach „Energieholz“ zu stärken und damit neue Wertschöpfungsmöglichkeiten für die Landwirtschaft zu schaffen (Langer 20.10.2013). Zuständig für die Förderung war das Landwirtschaftsressort. Flankiert wurde die finanzielle Förderung durch die Gründung der Energie- und Beratungsagentur C.A.R.M.E.N. e. V. (vgl. Kapitel 3.4.3.4).

3.4.2.5 Entwicklung des Rechtsrahmens

In Umsetzung der politischen Ziele[115] konzentrierte sich die Rechtsentwicklung in den 1990er Jahren zunächst auf die Verbesserung der Effizienz (vgl. Kapitel 2.2.3.1). So verschärften sich – neben der Senkung des Wärmebedarfs (vgl. WärmeSchV 1995) – mit der 1998 schließlich verabschiedeten 5. Heizungsanlagenverordnung auch die Anforderungen an die Anlageneffizienz. Dadurch wurden *wichtige Impulse* für die Effizienzsteigerung moderner Holzheizkessel gesetzt. Praktische Auswirkungen hatte die 5. Heizungsanlagenverordnung erst in der darauffolgenden, zweiten Phase.

3.4.3 Akteure und Akteurskonstellationen

Im Folgenden werden die für den Innovationsprozess von fester Biomasse relevanten Akteursgruppen und ihre Perspektiven und Interessenslagen erläutert.

3.4.3.1 Herstellerunternehmen als Pioniere der Technikentwicklung

Die Impulse für die Entwicklung „moderner", d. h. automatisch beschickbarer und effizienter Holzheizungen gingen v. a. von kleinen Familienunternehmen im holzreichen Nachbarland Österreich wie *Hargassner, Fröling* und *Guntamatic* aus. Von den Markterfolgen des ersten voll funktionsfähigen Pelletofens in den USA (Whitfield 2013) und idealistischen Motiven getrieben, hatten diese bereits Mitte der 1980er Jahre mit der Entwicklung effizienter, emissionsarmer Heizkessel für Scheitholz, aber auch für Stückgut zumeist kleiner und mittlerer Leistungsbereiche begonnen.[116] In den 1990ern verstärkten sie die Entwicklung konkurrenzfähiger Kessel-Alternativen zur Öl- und Gasverbrennung. Die Nachfrage nach Holzkesseln stieg in den 1990er Jahren stetig. Viele junge Hausbauer interessierten sich für Holzheizungen und nahmen auch Mehrkosten in Kauf. Die Unternehmen expandierten und bauten ihre Produktpalette aus. Die Kooperation mit der Firma *Heizomat* aus Bayern, die sich auf Fördertechnik für Hackgut oder Pellets spezialisiert hatte, lieferte einen entscheidenden Baustein für die Entwicklung automatisierter Holzheizkessel für Wohngebäude.

Bei *KWB* waren die ersten Pellet-Kesseltypen vom Hochschullehrer und Firmen-Mitbegründer Prof. August Raggam[117] am „Institut für Alternative Energienutzung – Biomasse" der TU Graz entwickelt worden. Die weiteren KWB-Mitbegründer wie z. B. Karl Stubenschrott hatten praktische Erfahrungen mit der Herstellung von Heizkesseln und sorgten in dem 1994 neu gegründeten Unternehmen für die produktionstechnische Umsetzung der an der Universität Graz konstruierten Pellet-Kessel. Daneben entwickelten sie Hackschnitzelkessel sowie Kombikessel, die einen flexiblen Brennstoffeinsatz von Stückgut ermöglichten.

Ein weiterer Pionier war die Firma *ÖkoFEN*, gegründet von Herbert Ortner, die sich als eines der ersten Unternehmen mit automatisierten Holzheizkesseln befasste. 1985 gegründet, begann das Unternehmen mit der Herstellung von Hackschnitzelkesseln, wandte sich dann aber bald der Entwicklung von Pellet-Kesseln für den Wohnbereich zu. Ab dem Jahr 1994 bot es vollautomatische Pelletheizanlagen für den Wohnbereich an und entwickelte diese fort. Schon 1997 präsentierte *Öko-*

---

[115] Vgl. Kapitel 2.2.3.1 zum Kabinettsbeschluss zur CO_2-Minderung von 1990. Zu den politischen Zielen gehören auch die Koalitionsvereinbarungen unter der Regierung von Bundeskanzler Helmut Kohl.

[116] So entwickelte Fröling bereits 1988 einen modernen Scheitholzkessel mit Hochtemperaturverbrennung. Im selben Jahr erfolgte die Markteinführung des ersten Holzvergaserkessels mit Saugzuggebläsetechnologie durch Guntamatic. 1991 stellte die Firma Fröling eine Hackgutheizung mit Lambdatechnologie vor. Die Firma Guntamatic produzierte 1998 schließlich die erste Niedertemperatur-Pelletheizung.

[117] Professor August Raggam gilt als Wegbereiter der Biomassenutzung in Österreich.

FEN den ersten vollautomatischen, typengeprüften Pellet-Kessel. Diese Pionierleistung bescherte dem Unternehmen eine dynamische Marktentwicklung, die von weiteren Optimierungen begleitet war.

In Deutschland begannen Heizkesselhersteller wie *HDG Bavaria* oder *Paradigma* um das Jahr 2000 mit der Entwicklung von Pellet-Kesseln. Zu diesem Zeitpunkt expandierten bereits einige österreichische Unternehmen in den deutschen Markt und bauten Vertriebssysteme und Fertigungsstätten in Deutschland auf.

Für die Unternehmen war nicht nur die Technikentwicklung von Bedeutung. Zu einer erfolgreichen Wachstumsstrategie gehörte es auch, wie die „konventionellen Handwerksbetriebe" eine kundennahe Vertriebs- und Servicestruktur aufzubauen. Da Holzheizungstechnologien nicht Gegenstand der regulären Berufsausbildung waren, waren Schulungsangebote der Unternehmen eine wichtige Begleitmaßnahme für den Markteintritt. Diese Schulungen waren seinerzeit die einzige Möglichkeit, dem Handwerk das notwendige Know-how für den erfolgreichen Einbau und die Wartung von Holzheizkesseln zu vermitteln und das Handwerk für „alternative" Technologien zu sensibilisieren.

3.4.3.2 Bundesressorts - Protagonisten für Holzfeuerungen?

In der Phase der fortgesetzten Rückbesinnung auf Bekanntes (Scheitholz) und beginnenden Nutzbarmachung neuer biogener Festbrennstoffprodukte (Hackschnitzel und Pellets) setzte unter der schwarz-gelben Regierung mit Bundeskanzler Helmut Kohl eine Institutionalisierung der energie- und klimapolitischen Zielsetzungen auf Bundes- und Länderebene ein. Die mit dem Kabinettsbeschluss vom 7. November 1990 auf die politische Agenda gekommenen CO_2-Minderungsziele unterstützten zwar grundsätzlich eine Substitution von Kohle und Öl durch Holz zu Heizzwecken, da Holz bilanziell eine geringere CO_2-Belastung zugeschrieben wurde. Dies traf jedoch auch für die anderen EE-Techniken im Wärmebereich zu, sodass die energetische Holznutzung dadurch keinen komparativen Vorteil erlangte. Von den Bundesressorts setzte sich das Bundeslandwirtschaftsministerium für die energetische Biomassenutzung ein. Sie bot die Möglichkeit, sowohl den wirtschaftlichen Interessen der Landwirtschaft als auch den Klimaschutzzielen der Bundesregierung zu entsprechen. Bioenergie wurde als ein zentraler Baustein der künftigen CO_2-armen, regenerativen Energieversorgung[118], propagiert. Holz galt zudem als „CO_2-neutraler" Brennstoff.

Die Landwirtschaft suchte in den 1990ern vor dem Hintergrund der Flächenstilllegungspolitik der EU nach neuen Möglichkeiten für die Wertschöpfung im ländlichen Raum. Die Holzproduktion auf dem Acker[119] wurde aber erst ab Ende der 1990er in den Klimaschutzkontext gestellt: Im Rahmen des Forschungsprogramms Nachwachsende Rohstoffe wurden Kurzumtriebsplantagen mit dem Ziel gefördert, damit den aufkommenden Substratebedarf für die Hackgut- und Pelletherstellung zu decken (Liebhard 2010). Der Anbau blieb in dieser Phase aber nahezu ausschließlich auf Versuchsflächen und Pilotprojekte beschränkt, denn aus Sicht der Landwirte standen dem Anbau schnellwachsender Gehölze auf dem Acker zahlreiche, v. a. wirtschaftliche Hemmnisse entgegen.

---

[118] In dieser Auffassung wurde das BML durch die Positionen des BBE bestärkt. Darüber hinaus misst auch die CDU/CSU-Fraktion 2011 in ihrer Broschüre „Neue Energien für Deutschland" der energetischen Biomassenutzung eine zentrale Rolle zu.

[119] Die ersten Anbauversuche von schnellwachsenden Baumarten auf Landwirtschaftsflächen waren auf die stoffliche Verwertung (z. B. Spanplatten) ausgerichtet. Ein erster Meilenstein war das Forschungsprojekt der *Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) Bayern* „Anbauversuche mit schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb" von 1992 (vgl. Sinner 1996).

3.4.3.3 Waldbesitzer und Forstverwaltungen: heterogene Interessen an der Energieholzproduktion

Das Interesse der verschiedenen Arten von Waldbesitzern[120] an der Brennholzbereitstellung und Vermarktung war – und ist bis heute – durchaus heterogen. Bis etwa Ende der 1990er Jahre waren die staatlichen Waldbesitzer (vertreten durch *Land- und Bundesforstverwaltungen*) aus betriebswirtschaftlichen Gründen (Kostendeckung) in erster Linie an Produktion und Vermarktung von Bau- und Industrieholz sowie an der Wertholzproduktion interessiert. In dieser Phase war es aufgrund der Holzmarktlage schwierig, überhaupt Gewinne zu realisieren. Energieholz blieb ein *Nebenprodukt*. Aus vorwiegend umwelt- und energiepolitischen Motiven zeigten einzelne Forstverwaltungen ab Mitte der 1990er dennoch Interesse an der Energieholznutzung. Als Forstverwaltung in einem waldreichen Bundesland mit traditionell starker Forstwirtschaft übernahm die bayerische Forstverwaltung insofern eine Vorreiterrolle, als die *Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)* 1994 erstmals eine Stelle für einen Energieholzberater einrichtete. Dieser übernahm landesweit eine Beratungsfunktion für alle Holzproduzenten, mit dem Ziel, für energetische Holznutzung zu werben und Möglichkeiten der Wertschöpfung[121] aufzuzeigen. Die Durchführung von Forschungsprojekten der LWF (1997-1999)[122] zu „Waldhackschnitzelbereitstellung und Logistik für Holzheizkraftwerke“ zeigte schließlich das aufkommende Interesse an der Holzerzeugung für energetische Zwecke. Die private Brennholzgewinnung und -nutzung blieb interessierten Einzelanwendern überlassen.

3.4.3.4 Institutionalisierung der Energieholzberatung

Als erstes Bundesland beschloss Bayern, eine Einrichtung zu gründen, die den Anbau von Energieholz auf landwirtschaftlichen Flächen durch Beratung und Verfügbarmachen von Know-how fördern sollte. Die Idee der Energieholzproduktion auf dem Acker stand konzeptionell in enger Verbindung mit dem Ausbau von (semi-)zentralen Holzheizwerken in den Kommunen. Diese sollten für die Nachfrage bzw. Absatzmöglichkeiten sorgen. Auf Beschluss des Bayerischen Landtags nahm 1992 das *Centrale Agrar-Rohstoff-Marketing- und Energie-Netzwerk e. V. (C.A.R.M.E.N.)* die Arbeit auf. Finanziert durch das Bayerische Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, beriet C.A.R.M.E.N. Antragsteller für Fördermittel, die von der Landesregierung für die Realisierung von Hackschnitzel-Heizwerk-Pilotprojekten bereitgestellt wurden. C.A.R.M.E.N. entwickelte sich ab Ende der 1990er zu einer wichtigen Schnittstelle zwischen Brennstofferzeugern, -aufbereitern, Kesselherstellern und Anwendern. Die Einrichtung wurde zum Vorbild für Netzwerkinitiativen und Plattformen anderer Bundesländer.

3.4.4 Umwelteffekte von Holzheizungen

Klimaschutz und die CO_2-Minderungsziele bildeten einen Legitimationshintergrund für die Förderung des Einstiegs in die Energieholznutzung durch das Bundeslandwirtschaftsministerium. Eine kommerzielle Energieholzproduktion wurde jedoch in dieser Phase nicht erreicht, insofern entstand – anders als bei den großflächig angebauten Energiepflanzen für Biokraftstoffe und Biogas – kein „Verwertungsdruck“ aus dieser Richtung, der den Anlagenzubau beflügelt hätte. Die sich verschärfende

[120] Zu unterscheiden sind verschiedene Waldbesitzarten: Staats- bzw. Landesforst, *private und körperschaftliche Waldbesitzer* sowie *Forstgenossenschaften.*

[121] Zur Wertschöpfungskette im Bereich biogener Festbrennstoffe gehören die Brennstoffproduzenten und -aufbereiter, die Anlagenhersteller und die Anlageninstallateure sowie kommerzielle Wärmeerzeuger.

[122] Die Projekte wurden vom BayMELF und der Bayernwerk AG unterstützt.

Umweltgesetzgebung zur Begrenzung der Feinstaubemissionen war indes ein Treiber für die Entwicklung optimierter Verbrennungstechniken.

3.4.4.1 Realisierung von CO_2-Minderungszielen im großtechnischen Bereich

War das Heizen mit Holz über lange Zeit vor allem auf das Interesse der Anwender an Selbstversorgung und Unabhängigkeit zurückzuführen, kam ab Beginn der 1990er Jahre ein neues Motiv hinzu, das den Holzeinsatz im Kraftwerksbereich wünschenswert erscheinen ließ: Biogenen Brennstoffen wurde ein beträchtliches CO_2-Minderungspotenzial zugeschrieben und fossile Kraftwerke boten lohnenswerte CO_2-Einsparpotenziale, die durch die Mitverbrennung von Hackschnitzeln (bzw. in gewissem Umfang Stroh) und Substitution der Kohle durch Holz realisiert werden konnten. Diese Argumente aufnehmend, begannen sich Akteure aus der Forstwirtschaft für eine verstärkte energetische Holznutzung einzusetzen. Der großtechnische Einsatz blieb in dieser Phase jedoch nicht zuletzt aufgrund von fehlender Wirtschaftlichkeit, aber auch der geringen Verfügbarkeit großer Hackschnitzelmengen weitgehend aus. Für den Einsatz der Holzheizungstechnik im Gebäudebereich entwickelten die CO_2-Minderungsziele nur geringe Schubkraft, denn dort stand nur ein vergleichsweise geringes Substitutionspotenzial zu Verfügung.

3.4.4.2 Umweltgesetzgebung zur Vermeidung von Schadstoffemissionen

Während sich die Überwachung der Luftqualität auf Grundlage des Bundesimmissionsschutzgesetzes (BImSchG)[123] in den 1970er und 1980er Jahren auf die Verminderung von Schadstoffemissionen aus Industrie und den Großkraftwerken konzentrierte, rückten Feuerungsanlagen zur Wärmeversorgung erst in dem 1990er Jahren als Schadstoffquellen in den Blick. Das Umweltbundesamt unterstützte die Vorbereitung gesetzgeberischer Maßnahmen. Hierfür war eine intensive Aufklärungsarbeit über das Ausmaß von Schadstoffbelastungen aus kleinen Holzverbrennungsanlagen (Ruß, Kohlenmonoxid, Stickoxide (NO_x), Schwefeldioxid (SO_2) sowie krebserregende Bestandteile)[124] erforderlich. Neben Schadstoffen wie NO_x und SO_2 stellte vor allem die Feinstaubbelastung eine direkte Gefährdung der menschlichen Gesundheit dar.[125] Das Ziel, die Grenzwerte zu senken und zugleich auch auf kleine und mittlere Anlagen auszudehnen, stieß auf Widerstand bei Herstellern und Nutzern. Die nationalen Bemühungen um eine Verschärfung der Feinstaubgrenzwerte kamen erst voran, als eine Feinstaub-Richtlinie auf EU-Ebene vorbereitet wurde. Aber auch diese konnte aufgrund zahlreicher Widerstände der Mitgliedsstaaten erst in der nachfolgenden Phase umgesetzt werden.[126] Dennoch zeigte der Prozess Wirkung auf die Kesselhersteller: Um ein negatives Image als „Luftverschmutzer“ zu vermeiden, trieben sie die Optimierung des Verbrennungsprozesses voran. Die Kessel konnten so die verschärften Grenzwerte einhalten. Die Umweltgesetzgebung hat in diesem Fall die technische Optimierung vorangetrieben.

---

[123] Vgl. RECHTSQUELLENVERZEICHNIS.

[124] Zum Beispiel polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs; diese gelten als krebserzeugend und tragen als hoch reaktive Substanzen zur Bildung von schädlichem Ozon in bodennahen Schichten bei) sowie Feinstaub und u. U. auch hochgiftige Dioxine.

[125] Bei Halmgutverbrennung (z. B. Stroh) kommen noch toxische Chlorverbindungen hinzu.

[126] Die erste Umsetzung der Verschärfung erfolgte mit der 22. BIMSCHV 2002 sowie mit der 1. BIMSCHV 2003.

3.4.5 Markt- und Kostenentwicklung

Scheitholzheizungen dominieren

In dieser ersten Phase war die Marktentwicklung bis etwa 1996/1997 vergleichsweise ruhig und Holzheizungen waren ein kleiner Nischenmarkt. Automatische Holzkessel gab es bislang nur für Hackschnitzel, die aber für den kleinen Leistungsbereich unterhalb 30 kW zu raumgreifend waren. Folglich dominierten noch die manuell zu beschickenden Scheitholzkessel den Markt. Die Nachfrage nach diesen Kesseln kam vor allem von traditionellen Holzheizungsbetreibern, die entweder einen neuen Kessel brauchten oder von der Einzelraumfeuerung umsteigen wollten.

Eine Förderung von Anlagen zur energetischen Biomassenutzung lag bis 1994 in der Hand des jeweiligen Bundeslandes. Insgesamt stellten die Bundesländer zwischen 1991 und 1999 rund 220 Mio. Euro Fördermittel (Haushaltsmittel) zur Verfügung (Staiß 2003). In welcher Höhe die Mittel tatsächlich in Anspruch genommen und wofür sie ausgegeben wurden (Holzheizungen, Biomasse-Heiz(kraft)werke bzw. Biogasanlagen), bleibt unklar. Über die Zahl der aus Länderprogrammen geförderten Holzkessel liegen keine belastbaren Daten vor.

Nach der ersten Novellierung der „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ wurden ab 1995 erstmals auch Holzheizkessel vom Bund gefördert, wegen der noch geringen Nachfrage allerdings nur in kleinem Umfang. Als Zuwendungsvoraussetzung mussten sie mindestens einen Kesselwirkungsgrad von 80 % aufweisen und weniger als 100 mg/m³ Staub emittieren[127]. Bis zum Auslaufen der Richtlinie zum Jahresende 1998 wurden rund 1.700 Anlagen gefördert. Auch ohne konkrete Angaben zur Art der geförderten Anlagen kann man davon ausgehen, dass es sich ganz überwiegend um Scheitholzkessel handelte, zu einem kleinen Teil Hackschnitzelkessel und in geringfügigem Umfang um Pelletheizungen. Das gesamte Fördervolumen in diesem Zeitraum lag bei umgerechnet rund 7 Mio. Euro[128], entsprechend ca. 4.200 Euro pro Anlage bzw. durchschnittlich 34 kW Leistung.[129] Gefördert wurden somit von der Tendenz her eher größere Kessel, wie sie typischerweise nicht in Ein- oder Zweifamilienhäusern üblich sind.

Im Jahr 1998 waren erst 200 Pelletheizungen bis 35 kW_{th} installiert, der Zuwachs im Jahr 1999 lag bei 800 Anlagen. Erst ab 1999 führte die neu aufgelegte Förderrichtlinie mit dem Kurzbegriff „MAP“ in Verbindung mit den marktreif gewordenen Pellet-Kesseln zu einem ersten Nachfrageboom, sodass im Jahr 2000 bereits 2.400 Pelletheizungen neu installiert wurden (vgl. auch zweite Phase, Kapitel 3.5.5; Fischer 2002, 5).

3.5 Phase ab 2000: Von der Renaissance zur Moderne

3.5.1 Technologieentwicklung

3.5.1.1 Optimierung und neue Funktionalitäten

Die wesentlichen technischen Entwicklungsschritte bei Holzheizkesseln wurden bereits in der ersten Phase bis zum Jahr 2000 gemacht. Die weitere Entwicklung stellte im Wesentlichen einen kontinuierlichen Verbesserungsprozeß im Detail dar, der zu verbesserter Zuverlässigkeit, Effizienz und

---

127 Kessel bis 500 kW. Ab 500 kW nur 50 mg/m³ Staub. Darüber hinaus gab es leistungsgestaffelte Anforderungen an den CO-Gehalt im Abgas.

128 13,7 Mio. DM; gemäß BAFA-Daten.

129 Der Fördersatz betrug rund 128 Euro (250 DM) je kW.

Abgasqualität geführt hat. Primär handelte es sich um den verstärkten Einsatz von Elektronik zur Steuerung und Überwachung sowie Optimierungen der Verbrennung. Die Kesselwirkungsgrade konnten auf bis zu 96 % erhöht werden, eine weitere Steigerung ist nun praktisch nur noch durch Brennwertbetrieb analog zu Gas- und Heizölkesseln möglich.

3.5.1.2 Brennwerttechnik zur Effizienzsteigerung

Die Brennwerttechnik mit Abkühlung des Abgases unter den Taupunkt (Kondensation des darin enthaltenen Wassers)[130] bei Pelletheizungen wurde im Jahr 2004 durch *ÖkoFEN*[131] präsentiert. Dabei wird die Abgastemperatur unter den Taupunkt des enthaltenen Wasserdampfes abgesenkt, sodass die Abgasenergie analog zu den Brennwertkesseln bei Gas- oder Ölheizungen ausgeschöpft werden konnte. *ÖkoFEN*-Kessel ab Baujahr 2006 können sogar mit der Brennwerttechnik nachgerüstet werden. Außer ÖkoFEN bietet mit *Fröling* nur ein weiterer österreichischer Anbieter die Brennwerttechnik seit 2012 auch bei Hackschnitzel- und Scheitholzkesseln an.[132]

Dass sich die Brennwerttechnik bei Holzheizungen bisher nicht bei weiteren Kesselanbietern durchsetzen konnte, liegt neben den Mehrkosten vor allem daran, dass nur wenige Holzkessel in Neubauten installiert werden, die für den Brennwertbetrieb mit niedrigen Rücklauftemperaturen entsprechend gute Voraussetzungen bieten. Die meisten Holzheizungen werden im Bestand installiert, wo diese Voraussetzungen seltener gegeben sind. Somit bieten Holzbrennwertkessel für die Hersteller zu geringe Marktabsatzpotenziale.

3.5.1.3 Unterbrandtechnik für Scheitholzkessel

Bei Scheitholzkesseln hatte sich die Unterbrandtechnik als Standard durchgesetzt, da sie einerseits einen großen Holzvorratsraum ermöglicht (Komfortaspekt) und andererseits für einen hohen Ausbrand bei niedrigen Emissionen die Entgasungs- und Hochtemperatur-Nachverbrennungszone getrennt wurde. Die höchste Entwicklungsstufe stellen die leistungs- und feuerungsgeregelten Kessel dar, wo die Gebläse und Primärluftzuführung zur Leistungsregelung steuerbar sind und die Feuerungsregelung über Temperaturfühler/Lambdasonden wechselnde Lastzustände erkennen kann. Nachdem bislang nur Pellet- und Hackschnitzelkessel mit automatischer Brennstoffzuführung ausgestattet waren, bietet seit dem Jahr 2011 die Firma *Lopper Kesselbau* (Bayern) als erstes Unternehmen kommerziell eine automatische Beschickung für Scheitholzvergaserkessel an (Lopper Kesselbau o. J.). Über Ketten werden die Scheite in eine Schleuse und von dort in den Brennraum befördert. Der Holzvorrat für Halbmeterscheite von 650 Litern reicht für mehrere Tage und verbessert den Komfort somit deutlich.

3.5.1.4 Experimente mit der Koppelung von Wärme- und Stromerzeugung (KWK)

Mit der Koppelung von Wärme- und Stromerzeugung (KWK) bei Holzheizungen beschäftigten sich in dieser zweiten Phase zwei österreichische Kesselbauer (*KWB und ÖkoFEN*) sowie die deutschen Anbieter *Sunmachine* und *Spanner Re²*. Es handelte sich immer um die Kombination eines Pellet-

---

130 Voraussetzung ist ein „kalter“ Rücklauf des Heizwassers mit 30 bis 35 Grad Celsius. Höhere Rücklauftemperaturen vermindern oder verhindern den Brennwertbetrieb. Bei vollständiger Kondensation entstehen 0,5 Liter Wasser/kg Pellets, in der Praxis weniger. Das Kondensat kann in das Abwasser eingeleitet werden.

131 Einführung und Feldtestphase zunächst nur in Österreich. Seit 2007 auch in Deutschland kommerziell angeboten (ÖkoFEN 2012).

132 Vgl. Berner 2012.

Holzkessels mit einem Stirlingmotor, der ca. 10 % der Wärme in Strom umwandeln kann. Im Jahr 2010 haben *KWB* die Entwicklung[133] und *Sunmachine* die Produktion[134] jeweils nach mehreren Jahren (geförderter) Forschung beendet, da die technischen Probleme nicht in den Griff zu bekommen waren. Lediglich ÖkoFEN sieht sich auf einem erfolgreichen Weg und hat Ende 2012 mit einem Feldtest in Österreich begonnen.[135] Erfolgreich war bislang auch das deutsche Unternehmen *Spanner Re²* [136], das seit dem Jahr 2008 mit einem ersten serienmäßig produzierten Holzgas-BHKW auf dem Markt ist. Hierbei werden Hackschnitzel in einem Festbettvergaser zu Holzgas und anschließend in einem BHKW zu Wärme und Strom verbrannt (30/45 kW_{el} bzw. 80/120 kW_{th}). Ein großer Vorteil ist die Nutzung von Holzhackschnitzeln jeglicher Art ohne spätere Staubemissionen bei der Verbrennung.

3.5.1.5 Senkung der Staubemissionen

Eine große Herausforderung besteht für Scheitholz- und Hackschnitzelkessel darin, dass sie durch ihren höheren Baumrindenanteil im Vergleich zu Pellets deutlich höhere Staubemissionen verursachen. Um die künftigen Feinstaub-Emissionsgrenzwerte erfüllen zu können und zulassungsfähig zu bleiben, mussten die Filtertechniken so adaptiert werden, dass die Staub-Grenzwerte von 20 mg/m³ eingehalten werden können. Insbesondere nachgeschaltete Sekundärfiltertechniken wie Zyklone, Gewebe- oder Elektrofilter verteuern die Heizkessel jedoch deutlich und senken die Wirtschaftlichkeit, zumal kostengünstige Abscheidetechniken noch nicht marktreif sind. Elektrofilter gelten derzeit als besonders aussichtsreich, da sie – auf dem Prüfstand – je nach Heizungstyp und eingesetztem Brennstoff durchschnittliche Abscheideraten von 50 bis 85 % ermöglichen. Ob diese Werte in der Praxis aufrechterhalten werden können, ist noch offen. Schwierig ist auch die Feinstaubmessung selbst, für die noch keine einheitliche Methode existiert. Die Mehrkosten für den Elektrofilter liegen meist im Bereich von 1.200 bis 1.500 Euro je Anlage (Mandl & Obernberger 08.03.2012). Eine weitere Möglichkeit der Staubabsenkung ist die Brennwertnutzung, bei der die Abgase unter den Taupunkt abkühlen und kondensieren (FNR 2007, 120). Sie führt zu einer verbesserten Staubabscheiderate von 20 bis 40 %.[137]

3.5.2 Politische Impulse, Förderprogramme und Entwicklung des rechtlichen Rahmens

Auch im neuen Jahrtausend standen die Steuerungsansätze der EU-Ebene weiterhin im Spannungsfeld zwischen vielfältigen und z. T. gegenläufigen Interessen der berührten Wirtschaftsbereiche (hier: Landwirtschaft, Energiewirtschaft). Die Handlungsfähigkeit der EU beschränkt sich daher auf allgemein konsensfähige Zielaussagen.

3.5.2.1 EU-Ebene: Vernachlässigung der EE-Wärme trotz EE-Richtlinie 2009

Die EU-Kommission verabschiedete im Jahr 2000 ein Grünbuch „Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit“. Diese Strategie sah – neben anderen Maßnahmen – auch den

---

133 Vgl. Berner 2011.

134 Die Sunmachine GmbH wurde 2010 insolvent und stellte die Produktion nach rund 400 ausgelieferten Anlagen ein. Die Rechte und Patente an dem System hat die Sachsen Stirling GmbH übernommen, die mit wissenschaftlicher Unterstützung durch das Fraunhofer ICT die Schwachpunkte der Anlage beheben und später erneut am Markt einführen möchte (Fraunhofer IWM 2013).

135 Vgl. ÖkoFEN 2013.

136 Seit 2004 neuer Geschäftsbereich der Otto Spanner GmbH, bis dahin vor allem Automobilzulieferer.

137 Die erzielbare Reduzierung ist abhängig vom Brennstoffwassergehalt und der erreichten Endtemperatur (= Heizwasserrücklauf-Temperatur).

Einsatz erneuerbarer Energien vor. In Bezug auf den Einsatz und Ausbau von regenerativer Wärme blieb die Strategie eher allgemein: Biomasse könne einen größeren Beitrag zur Stärkung einer nachhaltigen Versorgungssicherheit leisten und als vielseitige Ressource für Heizzwecke und zur Elektrizitätserzeugung genutzt werden. Insbesondere würde „das enorme Potenzial der land- und forstwirtschaftlichen Rückstände“ bisher noch nicht genutzt (Europäische Kommission 2000, 46). Ab 2005/2006 setzten die Vorbereitungen für die spätere Verabschiedung der „Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ (Richtlinie 2009/28/EG)[138] ein. Damit begann eine Auseinandersetzung über die erreichbaren Ziele der EE-Nutzung, v. a. in den Sektoren Strom und Verkehr. Die in der Mitteilung der Kommission vom 10. Januar 2007 „Fahrplan für erneuerbare Energien - Erneuerbare Energien im 21. Jahrhundert: größere Nachhaltigkeit in der Zukunft“ genannten Ziele – 20 % Gesamtanteil von Energie aus erneuerbaren Quellen am Endenergieverbrauch und 10 % als Ziel für Energie aus erneuerbaren Quellen im Verkehrssektor bis 2020 – wurden 2007 durch den Rat gebilligt. Mit der Verabschiedung der EE-Richtlinie 2009/28/EG wurden diese Ziele erstmals EU-weit verbindlich. Das Ziel für den EE-Wärmesektor wurde indes nicht explizit ausgewiesen. Vielmehr ist es im Endenergie-Ziel enthalten, d. h. der Beitrag des Wärmesektors wird auf die Erreichung des Gesamtziels angerechnet.

Die EE-Richtlinie 2009 geht in Bezug auf den Einsatz fester Biomasse für die Wärmeerzeugung über die bereits im Grünbuch formulierten Hinweise zur besseren Ausnutzung biogener Reststoffe für die Wärmeerzeugung nicht hinaus. Somit kann sie auch nicht als treibender Impuls für die Verwendung von biogenen Festbrennstoffen in Heizungsanlagen gewertet werden.

Ihre Vorstellungen zur verstärkten energetischen Nutzung der Biomassepotenziale formulierte die EU im ersten europäischen Biomasseaktionsplan (2006). Da die politische Steuerung der energetischen Biomassenutzung bzw. der biogenen Festbrennstoffnutzung durch die komplexen Kompetenzregelungen zwischen der nationalen und der EU-Ebene sowohl im Bereich der Land- und Forstwirtschaft als auch im Bereich der Energiewirtschaft beschränkt ist, blieb der Biomasseaktionsplan jedoch vage und setzte keine neuen Impulse für die Brennholznutzung. Er bezog sich vielmehr auf alle Sektoren – Verkehr, Strom und Wärme – und forderte die Mitgliedsstaaten auf, sich konzeptionell mit den Möglichkeiten der energetischen Biomassenutzung zu befassen. Die Mitgliedsstaaten wurden verpflichtet, nationale Biomasseaktionspläne erstellen. Diese sollen eine Verschränkung der Biomassepolitiken zwischen den Ebenen herstellen.

3.5.2.2 Finanzielle Förderung auf Bundesebene

In dieser zweiten Phase sah das MAP grundsätzlich zwei Arten der Förderung vor: Einerseits können für bestimmte Technologien in kleineren Anlagen (bspw. feste Biomasse; bis 50 kW) Zuschüsse über das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) beantragt werden. Zudem können für größere Anlagen – mit fester Biomasse (ab 100 kW) – zinsgünstige Kredite und Teilschuldenerlasse über die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) bewilligt werden. (Bundesregierung 1999) Waren handbeschickte Anlagen anfangs noch in die Förderung eingeschlossen, wurde deren Förderung ab dem MAP 2003 gestrichen. Ab 2005 wurden Anlagen, die überwiegend für die Verfeuerung von Abfallstoffen aus gewerblicher Holzverarbeitung konzipiert waren, in die Förderung aufgenommen.

[138] Vgl. RECHTSQUELLENVERZEICHNIS.

3.5.2.3 Kampagnen für Pelletheizungen

Seit 2007 findet jedes Jahr die „Woche der Sonne“[139] statt. Seit 2013 ist eine Zusammenarbeit mit dem DEPV vereinbart: Neben Solarenergie ist seitdem auch das Heizen mit Pellets Teil der Kampagne. Mit Unterstützung des DEPV startete 2008 ein Zusammenschluss verschiedener Pelletkessel-Unternehmen, Pellet-Herstellerbetriebe sowie Installationsbetriebe die Informationskampagne "Natürlich Wärme Pellets – Energie mit Zukunft". Initiator der mehrere Monate dauernden Kampagne war die Paradigma GmbH.

Nach dem Vorbild der „Solarbundesliga“[140] wurde 2010 ein bundesweiter Wettbewerb ins Leben gerufen: die „BioEnergie-Bundesliga“.[141] Der Wettbewerb wird von C.A.R.M.E.N. e. V. durchgeführt und vom Bundesumweltministerium und der Nationalen Klimaschutzinitiative unterstützt. Ziel des Wettbewerbs ist es, jedes Jahr diejenige Kommune in Deutschland ausfindig zu machen, die – in Relation zur Einwohnerzahl – die höchsten Anteile ihres Heizwärmebedarfs mit Holz decken kann (Ragwitz 2011, 165). Damit will die Kampagne die Holznutzung in kommunalen Heizkraftwerken anreizen.

3.5.2.4 Rechtsentwicklung auf Bundesebene ab 2000

Erst zum Ende der Phase wurden – teils erst nach zähem Ringen – Regelungen rechtskräftig, die sich zumindest *mittelbar* auf den Einsatz biogener Festbrennstoffe auswirkten. Hierzu gehörten die erstmalige Verabschiedung des EEWärmeG 2009 und seine Fortschreibung (vgl. Kapitel 2.3) und die Verabschiedung der novellierten 1. BImSchV 2010 (Kleinfeuerungsanlagenverordnung). Eine Novellierung des BWaldG 2010 klärte den Status von Kurzumtriebsplantagen als Landwirtschaftsfläche, eine Regelung, die die Bereitschaft für den KUP-Anbau und damit die Substratbereitstellung verbessern sollte. Diese Statusklärung galt zwar als wichtige Weichenstellung, dennoch blieb der Anbau hinter den Erwartungen zurück.

Erneuerbare Energien-Wärme-Gesetz (EEWärmeG) – ohne Effekt für Holzheizungen

Noch bevor der Gesetzentwurf auf Bundesebene Formen annahm, hatte die baden-württembergische Landesregierung unter Ministerpräsident Günther Oettinger 2007 mit dem EWärmeG Maßstäbe gesetzt. Auf Bundesebene wurden die kontroversen Diskussionen zwischen den Ressorts dadurch jedoch nicht wesentlich abgekürzt. Am 06. Juni 2008 verabschiedete die CDU/CSU-SPD Bundesregierung schließlich das EEWärmeG, das zum 01. Januar 2009 in Kraft trat. Die ordnungsrechtlichen Vorgaben des EEWärmeG zur Nutzung bestimmter EE-Wärmetechnologien wurden durch die Förderung im MAP ergänzt. Das EEWärmeG sieht auch die Möglichkeit der Nutzung von biogenen Festbrennstoffen zur Erfüllung der Nutzungspflicht vor. Die Technologie erfuhr aber keine Priorisierung gegenüber anderen EE-Wärme-Technologien. Insofern hatte das EEWärmeG keinen spezifischen Effekt auf das Innovations- bzw. Diffusionsgeschehen. Im Bereich der biogenen Festbrennstoffe konnten Investitionszuschüsse für automatisch beschickte Anlagen zur Verbrennung bis einschließlich 100 kW Nennwärmeleistung und handbeschickte Anlagen von 15 bis 50 kW Nennwärmeleistung

---

139 http://www.woche-der-sonne.de

140 In der Solarbundesliga wetteifern seit 2001 Kommunen in Deutschland mit hohen Anteilen an Solarenergie, kategorisiert nach Einwohnerzahl, um den Meistertitel. Der Wettbewerb wird von der Fachzeitschrift Solarthemen in Kooperation mit der DUH veranstaltet. Pro Quadratmeter Kollektorfläche und Watt Solarstrom je Einwohner werden Punkte und Bonuspunkte gesammelt (vgl. http://www.solarbundesliga.de, Abruf 22.02.2014).

141 Vgl. www.bioenergie-bundesliga.de, Abruf 20.12.2013.

beantragt werden. Zinsgünstige Kredite wurden von der KfW für automatisch beschickte Verbrennungsanlagen von 5 bis 100 kW vergeben (Diekmann et al. 2008, 1).

1. BImSchV: Bewältigung der Feinstaubproblematik bei Kleinfeuerungsanlagen

Die zweite Phase stand unter dem Einfluss der Verabschiedung von zwei Richtlinien auf EU-Ebene[142], die schärfere Grenzwerte v. a. für Feinstaub vorsahen. Die EU-Rahmenrichtlinie 1999/30/EG, die strengere Schadstoff- und insbesondere Feinstaubgrenzwerte vorsah, wurde 2002 durch die 22. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) in das deutsche Recht umgesetzt. 2008 folgte eine weitere Richtlinie (2008/50/EG), die die ab 2010 vorgesehenen erneuten Grenzwertverschärfungen wieder zurücknahm. Die BImSchV bezog sich zunächst vorwiegend auf Maßgaben für den Verkehrssektor. Da jedoch zunehmend deutlich wurde, zu welchen Anteilen Kleinfeuerungsanlagen mit Holzfeuerung an den Feinstaubemissionen beteiligt sind[143], wurden auch für kleine Feuerungsanlagen, die von der 22. BImSchV bisher nicht erfasst waren, Grenzwertverschärfungen für Feinstaub notwendig.

Angesichts der steigenden Zahl kleiner Feuerungsanlagen bemühte sich das Umweltressort ab 2006, die 1. BImSchV zu novellieren und damit auf die kleinen Feuerstätten (Kaminöfen) auszudehnen. Zwar war die kanzerogene Wirkung der Feinstäube in Studien des Umweltbundesamtes belegt und die Holzverbrennung als Ursache klar benannt.[144] Die Einführung von Grenzwerten traf dennoch auf erheblichen Widerstand. Erst 2010 war ein erneuter Vorstoß zur Verabschiedung einer Verordnung zur Emissionsminderung von Kleinfeuerungsanlagen schließlich erfolgreich: Die Kleinfeuerungsanlagenverordnung (1. BImSchV 2010), die zum 22. März 2010 in Kraft trat, verschärfte die Grenzwerte für Feinstaubemissionen aus Holzheizungen, Kaminöfen und anderen kleinen Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe und dehnte den Anwendungsbereich auf kleine und kleinste Anlagen ab 4 kW Netto-Wärmeleistung aus. Die verschärften Grenzwerte werden seither nach einem Stufenkonzept für neu errichtete Anlagen eingeführt.

Für Pelletkessel gilt ab 2015 dann z. B. der Grenzwert für PM10 von 20 µg/m³. Dieser Wert hat die Anlagenhersteller unter Druck gesetzt, die Emissionswerte ihrer Anlagen so weit zu verbessern, dass die Grenzwerte eingehalten werden können. Bei Einzelfeuerungen (Öfen, Kamine) sind die Möglichkeiten, den Verbrennungsprozess im Hinblick auf die Emissionsminderung zu optimieren, weitgehend ausgeschöpft (Döring 2011, 61). Die Grenzwerte können von Einzelfeuerungen meist nur eingehalten werden, wenn Filter eingebaut werden. Diese sind jedoch sehr teuer, was die Attraktivität dieser Heizart zukünftig schmälern dürfte. Im Gegensatz zu Pelletheizungen sind noch keine Hackschnitzelheizungen auf dem Markt, die die strengen Werte einhalten können. Die Chancen, dies zu erreichen, werden momentan als eher gering eingeschätzt (Leuchtweis 12.10.2013). Neue Hackschnitzelanlagen (z. B. für kleine Heizwerke mit Nahwärmenetzen) werden, sofern ergänzende Filter notwendig sind, ebenfalls entsprechend teurer.

---

142 EU-Rahmenrichtlinie 1999/30/EG und Richtlinie 2008/50/EG, vgl. RECHTSQUELLENVERZEICHNIS.

143 So wies z. B. das Umweltbundesamt wiederholt auf die Holzfeuerung als Ursache der Feinstaubemissionen und dadurch verursachte GESUNDHEITSGEFÄHRDUNGEN hin.

144 Der Handlungsbedarf wurde durch ein bundesweites Messprogramm untermauert, das zeigte, dass die Feinstaub-Grenzwerte in Deutschland vielerorts überschritten waren (UBA 06.05.2013).

Flankierung des Energieholzanbaus durch Novellierung des Bundeswaldgesetzes

Mit der Novellierung des Bundeswaldgesetzes (BWaldG 2010)[145] versuchte der Gesetzgeber, die Kommerzialisierung des Energieholzanbaus auf landwirtschaftlichen Flächen zu flankieren. So stellte das Gesetz klar, dass Kurzumtriebsplantagen bis zu einer Umtriebszeit von 20 Jahren als landwirtschaftliche Dauerkulturen und nicht als Wald gelten.[146] Als Landwirtschaftskulturen sind Kurzumtriebsplantagen beihilfefähig und zudem von der fachrechtlichen Genehmigungspflicht freigestellt. Der Fortfall genehmigungsrechtlicher Restriktionen sollte die Schwelle für einen Umstieg auf den Energieholzanbau senken. Die Rechtsanpassung verhinderte, dass als Wald ausgewiesene Flächen für den Plantagenanbau genutzt werden und beugte somit Fehlentwicklungen vor.

Trotz der beschriebenen Erleichterungen führte die Novelle des Bundeswaldgesetzes (BWaldG)[147] nicht zu dem erhofften kommerziellen Durchbruch von Kurzumtriebsplantagen als Energieholzlieferanten. Deren Einfluss auf das Innovationsgeschehen bei der Entwicklung und Diffusion von Verbrennungstechniken ist aus bundesweiter Perspektive beschränkt. Allenfalls regional (z. B. in Bayern) beeinflussten sich die Verfügbarkeit von Hackschnitzeln aus KUP-Anbau und die Diffusion von Hackschnitzelheizwerken gegenseitig positiv.

3.5.3 Akteure und Akteurskonstellationen als Treiber der Optimierung und Dynamisierung der biogenen Festbrennstoffnutzung

Mit Beginn des 3. Jahrtausends stiegen Holznachfrage und damit auch die Holzpreise allmählich an. Die Verwertung von Waldenergieholz war von einer gewissen „Goldgräberstimmung“ v. a. in Staats- und Landesforsten getragen. Die Energieholzgewinnung (einschließlich Schwach- und Restholz) wurde durch Maschineneinsatz effizienter. Die Konkurrenz zur stofflichen Holzverwertung nahm zu: Die an niedrige Holzpreise gewöhnte Papier- und Spanplattenindustrie begann sich gegen die zunehmende energetische Verwertung zur Wehr zu setzten. Schwankende Ölpreise erschwerten die wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeit der Holzbrennstoffe. In Verbindung mit begrenzten Entnahmemengen und zunehmender Verwertungskonkurrenz ließ die Preisentwicklung Ernüchterung eintreten. Eine Mobilisierung von Energieholzpotenzialen im Privatwald – über den Eigenbedarf hinaus – ist schwierig, sodass sich die Lage nicht entspannt. Vor dem Hintergrund der Ziele nachhaltiger Forstwirtschaft und dem Erhalt bzw. der Steigerung der Biodiversität führten u. a. der Sachverständigenrat für Umweltfragen und die Forstwirtschaft kontroverse Diskussionen über maximale Entnahmemengen von Rohholz.

3.5.3.1 Rolle der Forschung

In Österreich hatte die Kooperation zwischen universitärer Forschung und Herstellern den Innovationsprozess vorangetrieben. Derartige Kooperationen sind aus Deutschland nicht bekannt. Als die Biomasseforschung mit der Gründung des *Deutschen Biomasseforschungszentrums (DBFZ)* 2008 neu aufgestellt wurde, erhielten Hersteller und Anwender Unterstützung aus dem Forschungsbereich. So wurden in der Arbeitsgruppe „Thermochemische Konversion“ anwendungsbezogene Forschungsfragen zur Optimierung von Holzverbrennungsprozessen behandelt. Die Arbeitsgruppe, die sich nicht nur mit der Charakterisierung, Herstellung und Modifikation biogener Festbrennstoffe befasst, über-

---

145 Vgl. Rechtsquellenverzeichnis.

146 Damit behalten sie den Status als Landwirtschaftsfläche, was wiederum Voraussetzung dafür ist, dass die Flächen nach EG-Verordnung 1120/2009 auch weiterhin beihilfe- und förderfähig sind. Ohne die Förder- und Beihilfefähigkeit wäre ein KUP-Anbau betriebswirtschaftlich indiskutabel.

147 Vgl. Rechtsquellenverzeichnis.

nimmt mit der Erfassung der Emissionen und Wirkungsgrade von thermochemischen Konversionsanlagen sowie mit der Weiterentwicklung der notwendigen sekundären Abgasreinigungssysteme wichtige Forschungs-Serviceleistungen, die den Herstellern weitere Optimierungsmöglichkeiten aufzeigen.

Private Anwender schaffen Nachfrage – in Abhängigkeit von Ölpreisen

In der Phase ab 2000 stieg die Nachfrage nach Holzkesseln und Brennholz bzw. Pellets für den Einsatz im Bereich der Einzelfeuerung an.[148] Die privaten Anwender schufen einen stetig wachsenden Absatzmarkt, der von den Holzheizkessel- und Holzofenherstellern bedient wurde. Die Nachfrage blieb weiterhin davon abhängig, ob Brennholz leicht verfügbar war. So war und ist die Nachfrage in den holzreichen Bundesländern mit hohem Privatwaldanteil am höchsten. Ob sich private Anwender auf dem Land z. B. für Pelletheizungen entschieden, hing maßgeblich von der Öl- und Gaspreisentwicklung[149] ab. Die Zubauraten korrelierten mit dem Auf und Ab der Öl- und Gaspreise. Das Interesse an der Nutzung von Holz zur Wärmeerzeugung wurde von den energie- und klimaschutzpolitischen Zielsetzungen des Bundes und der Länder sowie den Förderinstrumenten flankiert.

3.5.3.2 Bundeslandwirtschaftsministerium und Länderministerien als Protagonisten der Energieholzpolitik

Von den Bundesressorts hatte vor allem das Bundeslandwirtschaftsministerium weiterhin ein starkes Interesse an einer Politik, die der Landwirtschaft und insbesondere auch Forstwirtschaft und den Waldbesitzern wirtschaftliche Perspektiven bot (vgl. BMELV 2004). Energieproduktion auf dem Acker (in Kurzumtriebsplantagen) und die Vermarktung von Brennholz boten eine wirtschaftliche Perspektive, die gestärkt werden sollte. Dieses Interesse fand eine starke Entsprechung in den waldreichen bzw. stark landwirtschaftlich geprägten Bundesländern (v. a. Bayern). Das Bundeslandwirtschaftsministerium trieb mit der Änderung des Bundeswaldgesetzes überdies die Klärung des formalen Status von KUP-Flächen voran. Nach § 2 Abs. 2 Nr. 1 BWaldG 2010 sind Kurzumtriebsplantagen explizit *keine* Waldflächen im Sinne des Gesetzes. Sie gelten weiterhin als Landwirtschaftsflächen; eine Definition, die dem Interesse der Landwirtschaft entgegenkam. Die Beihilfefähigkeit der Flächen bleibt erhalten, was die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen verbesserte und die Planungssicherheit für den KUP-Anbau erhöhte. Zugleich gewährleistet der Status als Landwirtschaftsfläche ausreichend Flexibilität für eine Umkehr der Anbauentscheidung. Mit der Definition aus Nicht-Waldfläche wurde zugleich abgewendet, dass Kurzumtriebsplantagen auf Waldflächen und in Konkurrenz zu naturnahen Anbauformen treten. Die Novellierung führte zwar zu einem leichten, aber nicht signifikant steigenden KUP-Anbau.

3.5.3.3 Öffentliche und private Waldbesitzer sehen wirtschaftliche Perspektiven

Nach der Jahrtausendwende begannen die Holzpreise wieder zu steigen. Für Waldbesitzer und Forstwirtschaft bestand nach langer Zeit wieder Aussicht auf eine kostendeckende, wenn nicht sogar gewinnbringende Betriebsführung. Der Preisanstieg wurde durch die Energieholznachfrage weiter angefacht, was bei den öffentlichen und privaten *Waldbesitzern* eine gewisse „Goldgräberstimmung“ auslöste.[150] Die betriebswirtschaftliche Bedeutung der Energieholznutzung stieg und wurde zuneh-

---

[148] In Bayern, dem Bundesland mit dem im Bundesvergleich höchsten Anteil biogener Festbrennstoffe an der Wärmeerzeugung, heizen nach einer Umfrage der LWF (2010) ca. 35 % der Haushalte ausschließlich oder teilweise mit Holz (http://www.energieholz-portal.de/417-0-Energetische-Verwertung-des-Holzes-in-Privathaushalten.html).

[149] Vgl. Ausführungen zur Ölpreisentwicklung und zu Gaspreisentwicklung.

[150] Vgl. Hahn & Wolf 2007.

mend konkurrenzfähig zur stofflichen Verwertung. Die Gewinnerwartungen im Energieholzsektor erfüllten sich für die Forstwirtschaft im weiteren Verlauf allerdings nicht im vollen Umfang. Die Euphorie flachte angesichts der Preisentwicklungen im Öl- und Gasmarkt wieder ab. Holz wurde im Vergleich zu Öl und Gas teurer, denn die *nachfragebedingten* Preissteigerungen im Holzsektor hielten an, während Öl- und Gaspreise temporär sanken. Aus Sicht der Anwender war ein Umsteigen auf Holzbrennstofftechnologien damit wieder weniger attraktiv. Dennoch ist die Forstwirtschaft weiterhin an der Nutzung von Primärholz als Brennstoff interessiert und fördert die Vermarktung. Die sich ab 2008 abzeichnenden Potenzialgrenzen der Holzverfügbarkeit im Wald laufen diesem Interesse zuwider. Die Holzwirtschaft fordert, die begrenzten jährlichen Entnahmemengen primär der stofflichen Verwertung zuzuführen. Aus den Reihen der Forstwirtschaft wurden bisher keine Vorstöße unternommen, die Entnahmemengen für die wenig effiziente Brennholz-Eigenversorgung zur Heizungsergänzung in Einzelfeuerungen zu begrenzen.

3.5.3.4 Landwirte: Energieholzproduktion bietet kein wirtschaftliches Standbein

Der Energieholzanbau kam trotz vermehrter Anstrengungen bis heute über das Pilot- und Demonstrationsstadium nicht hinaus. Die *Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. (FNR)* macht die geringe Konkurrenzfähigkeit des landwirtschaftlichen Energieholzanbaus dafür verantwortlich. Kurzumtriebsplantagen blieben daher Gegenstand öffentlicher Förderung. Um nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion zu treten, wurden die Anbauversuche auch auf devastierte Flächen (vormalige Tagebaue) und innerstädtische Brachen ausgeweitet. Zwischen 2009 und 2012 förderte das Bundeswirtschaftsministerium u. a. das „KUP-Netzwerk“, das maßgebliche Marktakteure des Agrarholzanbaus zusammenbringen sollte.[151]

Außerhalb geförderter Projekte stiegen bis Mitte der 2000er Jahre nur wenige Landwirte auf den Energieholzanbau um.[152] Abkehr von der tradierten Bewirtschaftungsweise, die Aufgabe der jährlichen Flexibilität bei der Wahl der Anbauprodukte und die aufzubringenden Investitionskosten[153] stellen offenbar ein beträchtliches Hemmnis dar.[154] Ein weiterer kritischer Punkt ist, dass die Rückführung in eine Ackernutzung mit jährlich wechselnden Kulturen aufwendig ist. Der Landwirt befürchtet vor allem, dass Ertragseinbußen aufgrund unvollständiger Beräumung ausschlagfähiger Wurzelreste im Boden entstehen. Der Anreiz, eine KUP-Anbauentscheidung zu treffen, müsste unter den gegebenen Bedingungen sehr stark sein und mit berücksichtigen, dass der Landwirt für den Anbauzeitraum der Dauerkultur keine Vergütungsgarantien erhält.

Mit der Verabschiedung des BWaldG 2010 konnte die Hürde für die Umstellung auf Energieholzanbau gesenkt werden. Die Klärung des rechtlichen Status als Landwirtschaftsfläche und die Sicherung der Beihilfefähigkeit räumte diesbezügliche Unsicherheiten aus. Der Flächenanteil von Agrarholz stieg von 2.000 ha (2010) auf ca. 4.000 ha in 2013 an. Der Zuwachs ist nennenswert, brachte aber bis heute

---

151 Neben dem ttz Bremerhaven sind der Bundesverband Bioenergie e.V. (BBE), die Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft (DLG) und das Kuratorium für Waldarbeit und Forsttechnik (KWF) an der Initiative beteiligt (vgl. BMWi 2011). Das KUP-Netzwerk gilt als Erfolgsbeispiel des Zentralen Innovationsprogramms Mittelstand (ZIM).

152 2006 umfasste die Anbaufläche für Agrarholz ca. 1.200 ha. Schätzungsweise 80 bis 90 % davon waren Pilot- oder Demonstrationsflächen.

153 Investitionskosten entstehen für Anlage, Bewirtschaftung und ggf. Rückbau (Beseitigung der Stubben). Ist der Landwirt nicht im Besitz eines eigenen Maschinenparks für Pflege und Ernte, muss er auf Dienstleister zurückgreifen, was den eigenen Wertschöpfungsanteil schmälert.

154 Weitergehende Ausführungen vgl. Hemmnisse für die Anlage von KUP aus Sicht des Landwirtschaftsbetriebes.

keinen Durchbruch. Eine Ursache hierfür ist, dass andere Energiepflanzen (z. B. Mais für die Biogasgewinnung) für die Landwirte meist lukrativer sind.

3.5.3.5 Institutionalisierung der Pelletbranche

Mit den Holzpellets ist seit etwa 15 Jahren ein neuer Brennstoff am Markt. Die *Pellethersteller* institutionalisierten sich zusehends: 2004 wurde der *Deutsche Energieholz- und Pellet Verband (DEPV*) gegründet. Der Verband spielte eine wichtige Rolle für die Normung (Standardisierung und Zertifizierung) von Pellets auf nationaler und europäischer Ebene.[155] Treiber der Zertifizierung waren zum einen die schließlich in der 1. BImSchV 2010 verabschiedeten Immissionsgrenzwerte für Feinstaub. Zum anderen lag es im Interesse der Pelletbranche, mit einem einheitlichen Zertifizierungssystem wie EN*plus* den europäischen Pellethandel zu erleichtern. Dies ist insbesondere für Großanlagen bzw. Pellethersteller von Bedeutung. 2008 hat der DEPV die Öffentlichkeitsarbeit durch Gründung der Tochtergesellschaft Deutsches Pelletinstitut (DEPI) verstärkt.

3.5.3.6 Wertschöpfungsallianzen als Treiber

In Einzelfällen bildeten sich zwischen einigen holzverarbeitenden Unternehmen (u. a. kleinen und mittleren Sägewerken) und Pelletherstellern regionale Wertschöpfungsallianzen. In der weit überwiegenden Zahl der Fälle trat die Energieholzbranche jedoch in wachsende Konkurrenz zur stofflichen/industriellen Holzverwertung um den Rohstoff, da die regionale Holzerzeugung nicht mit der wachsenden Nachfrage Schritt halten konnte. Diese Konkurrenz wollten die Vertreter der stofflichen Holzverwerter – der *Deutsche Forstwirtschaftsrat e. V. (DFWR)* und der *Deutsche Holzwirtschaftsrat e. V. (DHWR)* – zu ihren Gunsten gelöst sehen. Bereits 2004 hatten sie zusammen mit dem Bundeslandwirtschaftsministerium eine "Charta für Holz" (BMELV 2004) verabschiedet und für eine Steigerung der stofflichen Holznutzung und ihre Priorisierung gegenüber der energetischen Verwertung als Brennstoff geworben. Die stofflichen Holzverwerter manifestierten damit ihren Marktanspruch und verdeutlichten zugleich Potenzialobergrenzen für die Energieholznutzung.

3.5.3.7 Feinstaubproblematik stützt fossile Energieträger und ihre Protagonisten

Die Brennholznutzung hatte in der Öffentlichkeit als nachwachsender Rohstoff und aufgrund der CO_2-Neutralität ein überwiegend positives Image. Die kritische Diskussion um die krebserregende Feinstaubbelastung verunsicherte die Anwender (vgl. Hahn 2010, 13). Die Feinstaubproblematik gab den Öl- und Gasversorgern die Gelegenheit, die deutlich schadstoffärmere Technik von Öl- und Gaskesseln zu bewerben. Vor allem die Gaskesselbranche stellte die relative Schadstoffarmut als wichtigen Umweltvorteil gegenüber Holzheizungen dar, hinter den das Klimaschutzargument zurücktrete. Modernisierungswilligen Anwendern fiel die Entscheidung für Holzheizungen vor diesem Hintergrund schwer, zumal die Folgen der Grenzwertsetzung durch die geplante 1. BImSchV-Novelle für sie nur schwer absehbar waren. Die Holzheizkesselhersteller und -anbieter waren unter Zugzwang: Um ihre „Nische" zu verteidigen, mussten sie verstärkte Anstrengungen unternehmen, den Schadstoffausstoß zu mindern.

[155] Unter anderem arbeitet der DEPV daran mit, das Zertifizierungssystem EN*plus* im Rahmen des 2011 gestarteten EU-Projektes „PellCert" (European **Pell**et Quality **Cert**ification) weiterzuentwickeln.

3.5.3.8 Natur- und umweltverträgliche Waldnutzung

Die gesteigerte Energieholznachfrage führt vor dem Hintergrund einer ebenfalls ansteigenden Nachfrage nach Industrieholz zu einer Intensivierung der forstlichen Bewirtschaftung. Die Folgen der Intensivierung der Waldnutzung, insbesondere der Rest- und Schwachholzentnahme im Wald, sehen einige Vertreter der Landesforstverwaltungen selbst inzwischen kritisch (vgl. Englisch 2007; Meiwes et al. 2008). Aus ihrer Sicht sind v. a. die Folgen des Nährstoffentzugs durch Schwach- und Restholzentnahme problematisch, denn die damit verbundene Nährstoffverarmung droht, zukünftige Waldbaupotenziale zu gefährden.[156] Es sei also geboten, die Schwach- und Restholzentnahme auf von Nährstoffverarmung bedrohten Standorten auszuschließen bzw. zu begrenzen. Naturschutzverbände und der Sachverständigenrat für Umweltfragen (SRU) sehen durch unverändert hohe Holznachfrage die Ökosystemfunktionen des Waldes gefährdet. Insbesondere ist durch den hohen Nutzungsdruck ein Erreichen der Biodiversitätsziele im Wald gefährdet. Zudem seien die Schutz- und Erholungsfunktionen des Waldes stärker zu beachten. Natur- und Umweltschutzverbände fordern, die Waldbewirtschaftung nicht nur nachhaltig, sondern explizit naturverträglicher zu gestalten. Im Interesse des Biodiversitätsschutzes müsse mehr Rücksicht auf den Erhalt und die Störungsfreiheit von Waldlebensräumen genommen werden. Eine Beachtung dieser Ziele führe dazu, die Entnahmemengen insgesamt zu begrenzen und auf eine fortschreitende Erschließung des Waldes mit Forstwegen für große Holzerntemaschinen zu verzichten.

Die offiziellen Vertreter der Forstwirtschaft setzen sich jedoch gegen eine Begrenzung der jährlichen Entnahmemengen zur Wehr und fordern im Gegensatz dazu eine Erhöhung. Nach ihrer Auffassung seien die Potenziale einer nachhaltigen und mit den Waldbewirtschaftungszielen zu vereinbarenden Entnahme noch nicht ausgeschöpft. In dieser Frage bestehen erhebliche Konflikte zwischen den Umweltschutzverbänden und der konventionellen Forstwirtschaft.[157]

3.5.3.9 Stoffliche und energetische Holznutzung – Konkurrenz um begrenzte Potenziale

Etwa ab 2008 beklagten stoffliche und energetische Holzverwerter die steigende Nutzungskonkurrenz um die im Rahmen einer nachhaltigen Waldbewirtschaftung verfügbaren Potenziale. Die knappen verfügbaren Holzentnahmemengen führten zu Preissteigerungen, die den Protest der Holzindustrie hervorriefen. Da die verfügbaren Entnahmemengen nicht unbegrenzt steigerbar sind, setzte eine intensive Diskussion um die zukünftige Verteilung der Holzressourcen ein. Die Holzindustrie unterstrich den Vorrang der industriellen Holznutzung und propagierte die „Kaskadennutzung“, da Primärholz zu wertvoll sei, um es zu verbrennen. Sie ermögliche längere CO_2-Festlegungszeiträume (günstigere CO_2-Bilanz) und könne dazu beitragen, den Primärholzverbrauch zu senken. Die Holzindustrie wendet sich vor allem gegen die hohen Anteile der Holzverbrennung zur Zufeuerung in Einzelfeuerungsanlagen. Diese sei nicht effizient.

---

[156] Die Folgen sind u. U. erst in der folgenden Generation festzustellen. Anders als auf dem Acker kann die Nährstoffverarmung nicht durch Düngung ausgeglichen werden.

[157] Vgl. u. a. die Auseinandersetzungen über die Aussagen des SRU-Gutachtens (2012) zur Umweltgerechten Waldwirtschaft und der Reaktion der Forstwissenschaftler (Erler 2012) darauf.

3.5.4 Umwelteffekte von Holzheizungen

3.5.4.1 CO_2-Minderung durch Holzverbrennung als Beitrag zum Klimaschutz

Werden v. a. Kohle und Erdöl durch die Nutzung biogener Festbrennstoffe in Heizungsanlagen substituiert, können Treibhausgase vermindert werden. Betrachtet man nur den CO_2-Ausstoß bezogen auf die Wärmeleistung (kW) steht Holz ungünstiger als Öl und Kohle und vor allem als Erdgas da. Für die Beurteilung der Nachhaltigkeit und Klimafreundlichkeit sind aber nicht nur die Emissionswerte, sondern auch die bei Förderung, Aufbereitung und Transport entstehenden CO_2-Emissionen zu berücksichtigen. Werden diese „Vorketten“ einbezogen, zeigen alle Holzbrennstoffe einen um den Faktor 10 geringeren Ausstoß von CO_2-Äquivalenten als Erdgas (KEA 2014).

Der Einsatz von Holz ist klimaschutz- und energiepolitisch auch vor dem Hintergrund zu rechtfertigen, dass der wachsende Holzbestand durch die CO_2-Festlegung eine Senkenfunktion[158] übernimmt. Die Festlegung ist umso höher, je länger der Holzbestand netto wächst. Dieser positive Effekt wird durch kurze Umtriebszeiten und einen hohen CO_2-Ausstoß bei Ernte und Verarbeitung geschmälert. Kann der Bedarf nicht regional gedeckt werden, sondern muss durch Importe über lange Strecken gedeckt werden, wird der Beitrag der Senkenfunktion irrelevant und die den Holzbrennstoffen zugeordneten Emissionsfaktoren müssten sich erhöhen.

Unter dem Klimaschutzaspekt propagieren die Vertreter der Holzindustrie eine Kaskadennutzung.[159] Diese sei gegenüber der Primärholznutzung zu bevorzugen, da sie die Nutzungskette verlängert und das CO_2 länger in den Holzprodukten gespeichert bleibt, bevor es durch Verbrennung wieder freigesetzt wird (Schadauer 2012). Der Effekt einer Kaskadennutzung greift aber allenfalls langfristig – nach Ablauf der mehrere Jahrzehnte umfassenden Holznutzungsdauer – und ist keine kurz- oder mittelfristig wirkende klimaschützende Strategie.

3.5.4.2 Ringen um die Bewältigung der Schademissionen

Mit strenger werdenden Emissionsvorschriften erhöhten sich die Anforderungen an die Minimierung bzw. technische Begrenzung unerwünschter Emissionen (Feinstaub, Schadgase, Aschen). Die Holzkesselhersteller waren gezwungen, die Emissionsmengen ihrer Anlagen durch technische Optimierung des Verbrennungsprozesses weiter zu verringern (vgl. Kapitel 3.4.1.3). Insbesondere die Verringerung der Feinstaubemissionen war Voraussetzung für den Markteintritt moderner Holzheizkessel. Von den Holzheizungsanlagen (Öfen, Kessel) weisen die einfach konstruierten Kamin- oder Kachelöfen die höchsten Emissionswerte auf. Ihre Zunahme auf mittlerweile 15 Mio. trägt ganz wesentlich zur erhöhten Feinstaubbelastung bei. In der Gesamtbilanz wurde die im Bereich der Holzheizkessel erreichte Verringerung der Emissionen durch eine Zunahme der Zahl der Holzfeuerungsanlagen im Zeitraum 2002 bis 2009 zunichtegemacht. Statt zu sinken, stieg der Ausstoß aus Feuerungsanlagen von 22.700 auf 25.000 Tonnen Feinstaub (PM_{10}). Die Beliebtheit der „Baumarktöfen“ hat also nicht nur den Brennholzbedarf (Scheitholz) signifikant gesteigert, sondern auch bei den Feinstaubemissionen zu einem Rebound-Effekt geführt. Die stufenweise Umsetzung der 1. BImSchV 2010, die eine Ausdehnung schärferer Grenzwertanforderungen auf die Vielzahl der kleinen Einzel-Holzfeuerungsanlagen

---

[158] Waldholzbestände stellen während der Wachstumsphase eine CO_2-Senke dar, denn jeder Kubikmeter Holz beinhaltet rund 900 kg festgelegtes CO_2. Zur Festlegung von CO_2 in Holzprodukten vgl. auch Dieter (2005).

[159] Der Begriff bezeichnet die Mehrfachnutzung eines Rohstoffs über mehrere Stufen. Ziel ist die Einsparung von Rohstoffen und eine besonders nachhaltige und effektive Nutzung, in dem ein Rohstoff oder daraus hergestellte Produkte so lange wie möglich im Wirtschaftssystem genutzt werden. Das Konzept der kaskadischen Nutzung räumt der Holzindustrie implizit einen Vorrang vor der direkten energetischen Nutzung ein.

vorsieht, soll dazu beitragen, die Feinstaubemissionen langfristig zu halbieren. Die Anwender müssen bei Überschreiten der Abgaswerte ggf. Filter nachrüsten, was mit zusätzlichen Kosten verbunden ist.

Unter den Holzheizkesseln haben Pelletheizungen die vergleichsweise besten Werte.[160] Der Anteil der Pellets an der Gesamtmenge verbrauchten Holzes ist jedoch gering: Von den im Jahr 2010 verbrauchten 34 Mio. Festmetern Holz waren nur rund 5 % Pellets, demgegenüber war rund 70 % Scheitholz aus Wald und Garten (Mantau 2012, 9). Auch eine Erhöhung des Pellet- oder Holzbrikettanteils könnte zur Entlastung bei der Feinstaubproblematik beitragen.

3.5.4.3 Effekte der verstärkten Holznachfrage auf Waldökosysteme

Die Holznachfrage hat seit 2006 insgesamt deutlich zugenommen. Nach überwiegender Expertenmeinung wird die Energieholznachfrage auch zukünftig weitestgehend durch Waldholz (und nicht durch Energieholz vom Acker) gedeckt werden (Öko-Institut et al. 2012, 14). Heute werden gut 30 % des entnommenen Waldholzes energetisch genutzt.[161] Der Preisanstieg für energetisch genutztes Holz hat die Konkurrenz zur stofflichen Nutzung verstärkt. Die Holzindustrie befürchtet eine Verknappung und Preissteigerungen für Holzprodukte, die die Wirtschaftlichkeit gefährden könnten.

Der inländische Gesamtverbrauch (stofflich und energetisch) ist heute bereits höher als die Holzbereitstellung aus Waldnutzung. Es wird erwartet, dass sich die Nachfrage eher noch verstärken wird. Dadurch steigt der Druck auf Waldbesitzer und Forstverwaltungen, die Holzentnahmemengen zu erhöhen.

Kontroversen um vertretbare Entnahmemengen

Das Erreichen der CO_2-Neutralität oder sogar Minderung bei der Brennholznutzung hängt in starkem Maße davon ab, ob die Waldbewirtschaftung nachhaltig und – wie oben bereits erwähnt – mit langen Umtriebszyklen betrieben wird.[162]

Jährlich werden zwischen 75 und 85 Mio. Kubikmeter Holz geerntet. Der Holzentnahme steht ein jährlicher Zuwachs von etwa 120 Mio. Kubikmetern gegenüber (AGR 27.01.2013), sodass die Bilanz rein rechnerisch positiv ist. Die Frage, welche Entnahmemengen vertretbar sind, ohne dass die Einhaltung der Nachhaltigkeitsprinzipien und die Erreichung der Biodiversitätsziele im Wald gefährdet sind, wird dennoch kontrovers diskutiert. Mit der Waldstrategie 2020 der Bundesregierung und den darin festgesetzten Entnahmemengen wird der Biodiversitätsschutz nach Auffassung der Naturschutzverbände konterkariert. Die Holzentnahme könne nicht gesteigert werden, ohne dass die Nachhaltigkeitsprinzipien und Prinzipien der guten forstwirtschaftlichen Praxis verletzt würden.[163] Die Forstverwaltungen argumentieren, dass sich in der Vergangenheit aufgrund mangelnder Nachfrage „Überstände“ entwickelt hätten, die jetzt durch erhöhte Einschlagquoten abgebaut werden könnten.[164] Holzvorrat und Entnahmemengen sind ungleich auf die verschiedenen Waldeigentumsarten

---

[160] Bei vergleichbarer thermischer Leistung ist der Ausstoß gegenüber Verbrennung von Scheitholz um den Faktor zwei bis acht niedriger (UBA 2006).

[161] 2006 lag der Anteil des energetisch genutzten Holzes aus Waldnutzung noch bei knapp einem Viertel.

[162] Waldbesitzer und z. T. auch Landesforsten setzten sich dennoch für eine Erhöhung der Einschlagmengen ein – die Obergrenzen seien lange noch nicht erreicht. In der Waldstrategie des Bundes von 2011 wurden 80 Mio. Erntefestmeter (und 100 Mio. Vorratsfestmeter) festgelegt.

[163] Die jährlichen Entnahmemengen werden von den Forstverwaltungen durch Mengenvorgaben gesteuert. Sie sollen den jährlichen Zuwachs nicht übersteigen.

[164] So war in der Bundeswaldinventur 2006 gegenüber 1987 ein Zuwachs des Holzvorrats um durchschnittlich 17 % ermittelt worden.

verteilt.[165] Nicht ausgeschöpfte Potenziale sehen die Forstverwaltungen v. a. im Privatwald, dessen Potenziale allerdings nur schwer mobilisierbar seien.[166]

Es ist jedoch wahrscheinlich, dass die amtliche Einschlagsstatistik den tatsächlichen Holzeinschlag in der Bundesrepublik Deutschland deutlich unterschätzt. Nach Dieter & Englert (2005) werden nur ca. 70 % der Holzeinschläge erfasst, da der Einschlag aus dem Bereich Selbstwerbung v. a. im Privat- und Körperschaftswald in allen Ländern nicht oder nur ungenau erfasst wird. Liegt der Einschlag – wie von Dieter & Englert vermutet – in diesen Bereichen um 30 % höher als in der offiziellen Statistik, droht die Holzentnahme den Zuwachs zu übersteigen, wodurch die CO_2-Bilanz der Brennholznutzung ins Negative kippen würde. Die laufende Bundeswaldinventur, deren Ergebnisse 2015 veröffentlicht werden, soll bezüglich der Entnahmemengen Klarheit bringen.

Während in Deutschland vergleichsweise strenge Regeln für eine nachhaltige Waldbewirtschaftung gelten, steigen die Einschlagmengen in anderen, v. a. den südosteuropäischen Staaten. Die steigende Brennholznachfrage droht zunehmend aus europäischen Ländern gedeckt zu werden, in denen der Einschlag nicht so streng beschränkt oder aber Beschränkungen nicht so streng kontrolliert werden.

Verlust von für den Biodiversitätsschutz wertvollen Strukturen

Die Nachfragesteigerung hat den Nutzungsdruck auf die hiesigen Waldökosysteme verstärkt. Nutzungsdruck und Verstöße gegen bestehende Schutzvorschriften dezimieren den Bestand an naturschutzfachlich wertvollen Strukturen, wie z. B. Alt- und Höhlenbäumen. Mit der Beseitigung von Rest- und insbesondere Totholzanteilen[167] im Wirtschaftswald gehen wertvolle Lebensräume für seltene und gefährdete Arten verloren. Neben dem Lebensraumverlust für diese spezialisierten Arten bedroht die Intensivierung der forstlichen Bewirtschaftung[168] störungsempfindliche Arten wie z. B. das Auerhuhn. Je höher der Nutzungsdruck und die Gewinnaussichten, desto schwerer lassen sich Schutzmaßnahmen wie verlängerte Umtriebszeiten, Bewirtschaftungseinschränkungen oder gar eine Nutzungsaufgabe im Wald zur Schonung wertvoller Strukturen („Naturwaldreservat“) durchsetzen.

Nährstoffentzug und Humuszehrung

In den letzten Jahren wurde zunehmend auch Schwach- und Restholz[169] entnommen, um es energetisch zu nutzen. Zuvor war es meist im Wald verblieben, da es keine kostendeckenden Marktpreise

---

165 Die jährliche Vorratsentnahme (Nutzung zuzüglich im Wald verbliebenem ausgeschiedenem Vorrat) lag 2006 im Mittel über alle Baumarten bei 13,1 Vfm/ha/Jahr. Nach der Bundeswaldinventur erreicht der ausscheidende Vorrat im Landesdurchschnitt 95 % des Zuwachses. Während die Vorratsentnahme im Staatswald und im Großprivatwald deutlich *über* dem Zuwachs lag, war das Verhältnis im Körperschaftswald nahezu ausgeglichen. Im kleinen und mittleren Privatwald erreichte die Vorratsentnahme lediglich gut zwei Drittel des Zuwachses. (Quelle: http://www.waldwissen.net/technik/inventur/fva_ergebnisse_bundeswaldinventur/index_DE).

166 Kritiker geben zu bedenken, dass die Vorratsentnahme im kleinen und mittleren Privatwald unterschätzt wird, da die Datenlage über Entnahmen unzureichend sei. Vielmehr sei zu vermuten, dass auch dort die Entnahmemengen hoch und das Verhältnis von Zuwachs und Vorratsentnahme nahezu ausgeglichen sei (Luick 06.11.2013).

167 Unterschieden werden durch Liegenlassen der ungenutzten Teile der Bäume entstandenes, liegendes und stehendes Totholz (abgestorbene Bäume). Der Wert von Totholz für den Biodiversitätsschutz ist hoch: Nach Schaber-Schoor (2009, 14) sind 33 % der in deutschen Wäldern lebenden Arten auf Totholzstrukturen angewiesen. Darunter sind auch einige besonders geschützte Arten. Die Naturschutzverwaltungen einiger Bundesländer haben daher „Totholzprogramme“ initiiert, die den Verbleib von Totholz im Bestand fördern. Damit gelingt es aber nur partiell, den Lebensraumverlust auszugleichen.

168 Ursachen sind verkürzte Bearbeitungs-/Durchforstungszyklen sowie die Anlage von Infrastrukturen (Forstwegen) zur Erschließung der Bestände.

169 Hierbei handelt es sich um Kronen- und Schwachholz (meist mit höheren Rindenanteilen und teilweise mit Nadeln) sowie Durchforstungsholz aus Jungbeständen (üblicherweise Vollbaumnutzung, also inklusive Nadeln).

erzielte (Meiwes et al. 2008, 599). Für den Boden und die Standortproduktivität entstehen nachteilige Effekte, wenn mit den vollmechanisierten Erntemaschinen („Harvester“) alle Baumteile, auch die nährstoffreichen wie Rinde, Kronen und Nadeln, mit entnommen werden. Dadurch erfolgt ein – im Verhältnis zur Biomasse – überproportionaler Nährstoffentzug. Zudem wird die Humusbildung vermindert. Verminderte Humusbildung kann wiederum eine Versauerung zur Folge haben, die Schadstoffauswaschungen in das Grundwasser begünstigt.

Unter dem Aspekt des Ressourcenschutzes und der nachhaltigen Waldbewirtschaftung begrenzen Nährstoffentzug und Humuszehrung die Energieholzgewinnung. Besonders nährstoffarme Flächen bzw. Bestände sind für die Energieholzgewinnung nicht geeignet. Auf nährstoff- und humusarmen Standorten sollte nicht nur die Häufigkeit der Vollholznutzung, sondern auch die Schwach- und Restholzentnahme beschränkt oder sogar untersagt werden.[170]

Nach Meiwes et al. (2008, 602) sollte die Energieholznutzung im Wald von einem Monitoring[171] begleitet werden, das die Effekte für die Nährstoffbilanz der Waldflächen erfasst. Nur dann wären die Voraussetzungen gegeben, die Bewirtschaftung im Sinne der Nachhaltigkeit zu justieren und Schäden durch Nährstoffentzug und Humuszehrung abzuwenden.

3.5.4.4 Energieholzanbau auf dem Acker – Entlastung für die Waldökosysteme?

Mit Einsetzen des Bioenergiebooms wurden die Anstrengungen verstärkt, die Energieholzbereitstellung durch den Anbau auf dem Acker im Kurzumtrieb voranzubringen. Dazu wurden Pilot- und Demonstrationsvorhaben fortgeführt und neue Forschungskooperationen und Netzwerke (KUP-Netzwerke) aufgebaut. Bis 2012 blieb die Flächenentwicklung jedoch hinter den Erwartungen zurück. Nach Daebeler (2012) gab es bis 2012 ca. 4.668 ha Kurzumtriebsplantagen in Deutschland.[172] Etwa drei Viertel davon entstand im Rahmen von Pilot- und Demonstrationsvorhaben, nur ein geringer Teil wird kommerziell bewirtschaftet. KUP bleiben also vorerst nur ein „Spielbein“ der Energieholzversorgung mit begrenzter Entlastungswirkung für die Waldökosysteme. Nach der Dresdener Erklärung 2012 (Bemmann et al. 2012) würden Größenordnungen von 50.000 bis 100.000 ha zum Aufbau eines eigenen Energiepfades und eines Marktes mit festen Preisen benötigt (Weinreich et al. 20.02.2012). Derartige Flächenanteile bis 2020 zu erreichen, würde jährliche Steigerungsraten von mindestens 7.000 ha/Jahr voraussetzen. Angesichts der bisherigen maximalen Steigerungsrate von 1.000 ha/Jahr (2010 bis 2012) erscheinen solche Zuwächse wenig realistisch. Derart hohe Flächenanteile müssten auch unter dem Aspekt der Umwelteffekte von KUP auf das Landschaftsbild, den Wasserhaushalt und die Biodiversität der offenen Agrarlandschaften kritisch überprüft werden.

Während die Anbau- und Erntemethoden in den Forschungsvorhaben optimiert wurden, bleibt die fehlende Wirtschaftlichkeit ein zentrales Hemmnis für den KUP-Anbau. Aus Sicht der Landwirte ist der Anbau annueller Kulturen, v. a. Energiemais, gegenwärtig lukrativer. Angesichts der allgemein stark schwankenden Preise scheuen sie die mit KUP verbundene langfristige Festlegung auf eine Dauerkultur.

---

[170] Zum Beispiel sollte die Holznutzung auf Holz größer 7 cm Durchmesser beschränkt werden, damit genügend organisches Material im Bestand verbleibt (Öko-Institut et al. 2012, 14).

[171] Entwicklung von Standortinformationssystemen für ein Nährstoffmonitoring (Eintrags-Austrags-Bilanzen).

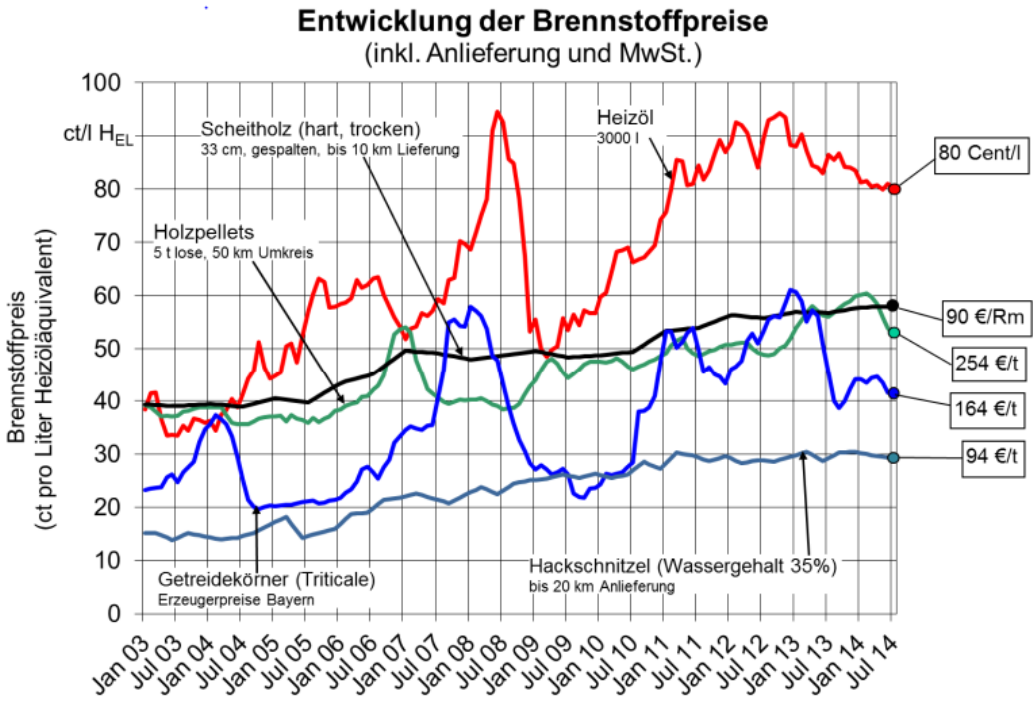
[172] Nach Neubert et al. (22.02.2013) sind es rd. 4.500 ha.

3.5.5 Markt- und Kostenentwicklung

Die Marktentwicklung bei Holzheizungen gewann in der zweiten Phase ab dem Jahr 2000 deutlich an Dynamik. Treiber dafür waren neben dem erreichten hohen Komfort- und Leistungsniveau sowie den Kaufanreizen durch das Marktanreizprogramm vor allem die ab dem Jahr 2004 im Vergleich zu Heizöl deutlich niedrigeren Brennstoffkosten für Pellets und Scheitholz. Hackschnitzel waren schon in den Jahren zuvor signifikant preiswerter.

3.5.5.1 Holzpreise günstiger als fossile Brennstoffe

Die Entwicklung der Brennstoffpreise für Pellets, Hackschnitzel und Scheitholz im Vergleich zu Heizöl ab dem Jahr 2001 zeigt Abbildung 3-4. Es wird deutlich, dass der auf den Energiegehalt des Brennstoffs (Heizöläquivalent)[173] bezogene Preisverlauf für Pellets und Scheitholz eng beieinander liegt und bis Mitte 2004 auf Niveau des Heizölpreises lag. Erst danach kam es zu einem deutlichen Auseinandergehen der Preise, sodass der auf den Energiegehalt bezogene Brennstoffpreis von Heizöl Mitte 2008 mehr als doppelt so hoch wie der von Pellets oder Scheitholz war. Der Preisverlauf zeigt bei Heizöl kurzzeitig jedoch große Ausschläge, sodass der Preisabstand Anfang 2009 kurzzeitig gegen Null ging, sich dann schnell wieder vergrößerte und seit Mitte 2012 wieder annähert. Ganz anders verläuft die Kurve bei Hackschnitzeln, deren Kosten dauerhaft weit unter denen des Heizöls lagen, obwohl es auch dort seit 2003 zu einer Verdoppelung des Preises kam.



Quelle: TFZ Bayern (Technologie- und Förderzentrum) 2014

Abbildung 3-4: Preisentwicklung Heizöl und biogene Brennstoffe (2001 bis 7-2014)

[173] 2,3 kg Holz (20 % Restfeuchte) entsprechen 1 l Heizöl (ca. 10 kWh). Holzheizungen stehen primär in Konkurrenz zu Ölheizungen, da in beiden Fällen Lagerraum für den Brennstoff benötigt wird. Der Vergleich mit Erdgasheizungen ist in vielen Fällen nicht sinnvoll, da diese wegen des geringeren Raumbedarfs bevorzugt auch in dichter besiedelten Gebieten zu Einsatz kommen, wo der Zugang zu Holz erschwert ist.

Generell ist bei der nominalen[174] Preisentwicklung aller Brennstoffe ein Trend nach oben zu erkennen, d. h. auf Dauer führen Substitutionsbewegungen zu einer Preisannäherung. Der Preisanstieg beim Brennstoff Holz reflektiert zudem, dass in Deutschland im gleichen Zeitraum Holznachfrage allgemein, insbesondere die nach Scheitholz und Pellets, erheblich zugenommen hat. Der energiebezogene Preis und auch der Preisanstieg von Pellets und Scheitholz sind weitgehend identisch, da auch Vollholz in wachsendem Umfang neben Sägenebenprodukten für die Pelletherstellung verwendet wurde. Bei Hackschnitzeln wird in der Regel Schwach- und Restholz eingesetzt, für das es nur geringe Einsatzkonkurrenzen gibt, die einen deutlich höheren Preis bewirken würden. Künftige Kostensenkungen beim Brennstoff Holz sind wenig wahrscheinlich, da die Holznachfrage noch ansteigt und die Nutzung bestimmter Holzressourcen wegen des höheren Beschaffungsaufwandes auch erst bei höheren Holzpreisen realisiert werden konnte.

3.5.5.2 Pelletkessel setzen sich durch

Trotz der Unsicherheiten oder auch Nachteile beim Kostenvergleich hat sich seit dem Jahr 2000 der Anteil von Holzheizkesseln im Bestand von unter 1 % auf rund 6 % erhöht (BMU 2012a, 58). Einen verstärkenden Anteil daran hatte auch das MAP des Bundes, mit dem seit seiner Neuauflage im Jahr 1999 bis 2013 fast 330.000 Holzheizungen[175] mit Investitionszuschüssen gefördert wurden. Davon waren rund zwei Drittel Heizkessel mit automatischer Brennstoffzuführung, davon wiederum zu zwei Dritteln Pellet-Kessel und -öfen.

Pelletheizungen setzten sich so im Holzheizungsmarkt gegenüber Scheitholz und Hackschnitzelkesseln durch, was sich in rund 211.000 geförderten Kesseln und Öfen seit dem Jahr 2001 zeigt. Insgesamt stieg der Bestand an Pelletheizungen von gerade 1.400 im Jahr 2000 auf rund 320.000 Anlagen im Jahr 2013 (vgl. Abbildung 3-5). Zuerst setzte die Nachfrage nach Pelletkesseln in den südlichen Bundesländern Bayern und Baden-Württemberg ein, denn hier spielten Holzheizungen traditionell noch eine deutlich größere Rolle als in den anderen Teilen Deutschlands. Dort sind rund 60 % der Holzheizkessel und -öfen installiert. Aber auch in Nordrhein-Westfalen konnte sich bis 2001 dank intensiver Landesförderungen ein kleiner Nischenmarkt für Pellet-Kessel im Bereich der Neubauten entwickeln (Fischer 2002, 2). Besonders gering war bisher die Nachfrage nach Holzzentralheizungen in den ostdeutschen Bundesländern, was darauf zurückzuführen ist, dass dort in den 1990er Jahren fast alle Heizungen modernisiert und in der Regel auf Erdgas umgestellt worden sind. Zudem ist die Kaufkraft dort noch geringer als im Westen und Süden Deutschlands.

Der Anteil der Holzzentralheizungen an den jährlich neu installierten Heizkesseln lag in den vergangenen Jahren relativ stabil im Bereich von 3 % (BDH 2012), wobei der Einsatzschwerpunkt bei Ein- und Zweifamilienhäusern im ländlichen und landwirtschaftlichen Bereich liegt (BMU 2012a, 65).

---

[174] Nicht auf ein bestimmtes Betrachtungsjahr über die allgemeine Inflation diskontierte reale Preise.

[175] BAFA-Daten nach http://www.biomasseatlas.de

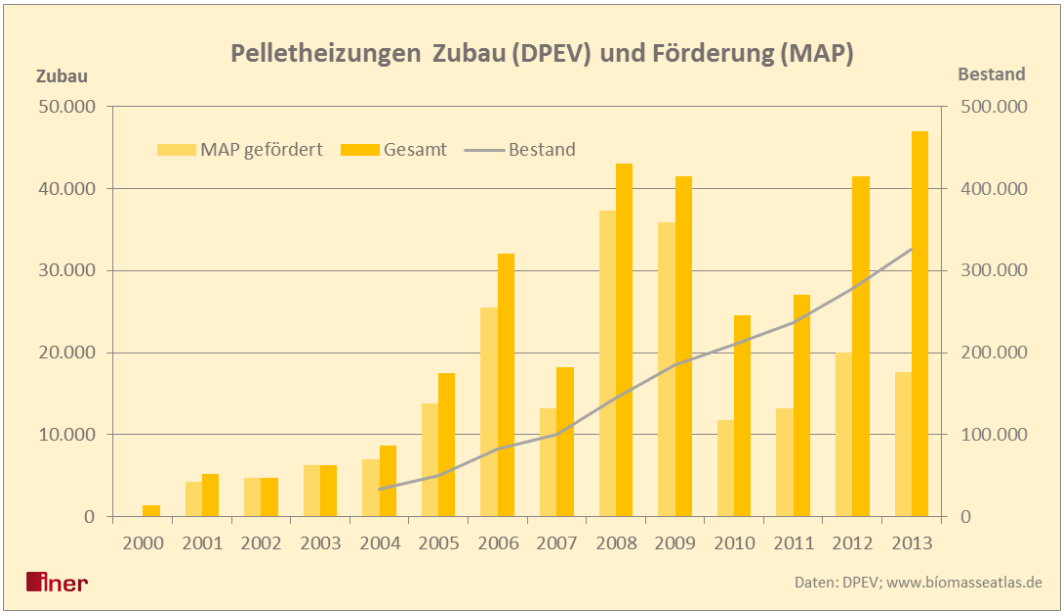


Abbildung 3-5: Marktentwicklung Pelletheizungen ab 2000

3.5.5.3 Nachfragewachstum trotz hoher Investitionskosten

Das MAP hat mit einer durchschnittlichen Förderquote von 12 %[176] der Investitionskosten zum Marktwachstum bei Holzheizungen beigetragen, wenn auch durch die wechselnde Finanzausstattung und Förderrichtlinien keine Kontinuität gegeben war. Die Fördergesamtsumme für Holzheizungen betrug zwischen 1994 und 2012 rund 590 Mio. Euro und das damit geförderte Investitionsvolumen rund 4,9 Mrd. Euro. Ob und in welchem Umfang diese Investitionen in Holzheizungen geringer ausgefallen wären, wenn es die Zuschüsse aus dem MAP nicht gegeben hätte, ist letztlich nicht zu beantworten. Als Fördervoraussetzung mussten Scheitholzkessel ab der ersten MAP-Richtlinie mindestens 80 % erreichen, automatische beschichte Kessel mindestens 85 % Kesselwirkungsgrad. Diese Anforderungen wurden im Laufe der Zeit erhöht und liegen seit 2008 bei mindestens 89 %. Die Grenzwerte für Staub wurden schrittweise gesenkt und an die gesetzlichen Vorgaben angepasst.

Eine Umfrage im Rahmen der jährlichen Evaluationen des MAP zeigte, dass von 850 befragten Investoren des Jahres 2009 bis zu 80 % auch ohne Zuschüsse bereit waren zu investieren und insofern erhebliche Mitnahmeeffekte unterstellt werden müssen (Langniß 2010, 98). Daher wird das Marktanreizprogramm von vielen Investoren auch eher als gerne genommenes „Zubrot“ denn als Investitionshilfe angesehen, da die Zuschüsse nicht den (Umsatz)-Steueranteil von 19 % auf den Netto-Kaufpreis abdecken. Als wesentlicher Markttreiber gilt daher neben den hohen Preisen für Heizöl vor allem das EEWärmeG (Pecka 2013, 9). Mitnahmeeffekte beruhen auf dem geringen Förderanteil von durchschnittlich 13 % (ca. 2.000 Euro), der gegenüber einer durchschnittlichen Investitionssumme von rund 15.000 Euro für einen Pellet-/Hackgutkessel keine bedeutende Änderung der Wirtschaftlichkeit bewirkt. Noch weniger gilt dies für Scheitholzvergaserkessel mit durchschnittlich nur 10 % bzw. 1.300 Euro Förderung bei durchschnittlich 13.000 Euro Investitionskosten. Beim Brennholzkauf zu Marktpreisen schneiden Hackschnitzelkessel mit spezifischen Wärmekosten zwischen 10 bis 12 Cent/kWh etwas günstiger ab als Pelletkessel mit 12 bis 16 Cent/kWh. Scheitholzkessel liegen

[176] Auswertung der Primärdaten des BAFA. Die durchschnittliche jährliche Förderquote für Pellet-/Hackgutheizungen schwankte jedoch über die Jahren zwischen 6 und 18 %.

dazwischen (AEE 2014, 19). Können Scheitholz oder Hackschnitzel zu sehr geringen Selbstkosten beschafft werden, erreichen sie einen deutlichen Kostenvorteil.

Der Nachfrageanstieg ab dem Jahr 2004 bis zum bisherigen Förder- und Nachfragehöhepunkt im Jahr 2009 dürfte folglich nicht durch die Förderung allein, sondern maßgeblich auch durch das wachsende Delta von Heizöl- zu Holzpreis (Abbildung 3-4) befördert worden sein. Zusätzlich wurde dies über den signifikanten Rückgang der spezifischen Kosten je Kilowatt bei Pelletheizungen von rund einem Drittel seit 2006 begünstigt. Auch bei Hackschnitzelheizungen waren die Kosten rückläufig und liegen nun mit Pelletheizungen auf vergleichbarem Niveau. Die spezifische Kostenentwicklung bei Scheitholzkesseln ist unter Berücksichtigung der allgemeinen Teuerungsrate leicht rückläufig gewesen.

Rund 83 % der bis Ende 2013 geförderten Anlagen haben eine Heizleistung von maximal 30 kW und 95 % der geförderten Anlagen haben bis zu 50 kW. Somit liegt der Installationsschwerpunkt eindeutig bei Ein- und Mehrfamilienhäusern mit nur wenigen Wohneinheiten. Von diesen Anlagen wiederum sind 64 % Pelletheizungen und 33 % Scheitholzheizungen. Hackschnitzelheizungen sind in diesem kleinen Leistungsbereich nahezu unbedeutend.

Neben den Einzelheizungen im kleinen Leistungsbereich bis 100 kW wurden über das MAP auch größere Biomasse-Anlagen mit thermischen Leistungen im Megawatt-Bereich gefördert. Das MAP hat über den sog. KfW-Teil zwischen 2005 und 2012 insgesamt 3.375 große Holzheizanlagen gefördert, überwiegend Heizwerke und nur in wenigen Fällen auch mit Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Koppelung. Diese Anlagen wurden durch zinsvergünstigte Darlehen gefördert, die über die bundeseigene KfW Förderbank vergeben werden.

3.5.5.4 Wertschöpfung bei Holzheizungen

Im Interesse einer hohen deutschen Wertschöpfung muss bei Holzheizungen leider festgestellt werden, dass österreichische Herstellern 60 bis 70 % Marktanteil aufweisen (Langniß 2010, 117), jedoch teilweise auch in Deutschland Produktionsstätten unterhalten (z. B. *KWB, ÖkoFEN*). Die Marktförderung von Holzheizungen führte somit im Bereich der Kesselherstellung nur eingeschränkt zur Erhöhung der deutschen Wertschöpfung. Doch hat das Nachfragewachstum (nicht nur in Deutschland) zu einer signifikanten Kostensenkung bei Holzheizkesseln geführt. Bei der Bereitstellung des Brennstoffs (Pellets, Scheitholz und Hackschnitzel) ist ein sehr hoher Anteil deutscher Wertschöpfung festzustellen, da hierbei eine hohe regionale Versorgung vorherrscht und auch die deutschen Produktionskapazitäten für Pellets deutlich über dem Bedarf liegen.

3.5.6 Ausblick

Nur mit geringen Staubemissionen

Eine zentrale Herausforderung für den Einsatz von Holzheizungen besteht weiterhin in der Überwindung von Investitionsbarrieren, vor allem in den ab 2015 gültigen niedrigen Staubgrenzwerten von nur noch 20 mg/m³ Abgas. Nur Anlagen, die diese einhalten können, sind zulassungsfähig. Bislang erreichen im betrachteten kleinen Leistungsbereich nur Pelletkessel diese Anforderungen, da Pellets sehr Asche arm sind. Insbesondere Hackschnitzel- und Scheitholzkessel benötigen dafür wirksame und kostengünstige Filter.

Die Spielräume zur Verbesserung der Konkurrenzfähigkeit gegenüber anderen EE-Wärmetechniken durch Effizienzsteigerung und Kostensenkung sind weitgehend ausgeschöpft: Die mittlerweile auf dem Prüfstand erreichte Effizienz lässt sich bei Heizkesseln für Holzbrennstoffe anlagenseitig kaum noch steigern. Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit gilt es vielmehr, die Lücke zwischen den Prüf-

stands-Kesselwirkungsgraden und den Wirkungsgraden unter *realen* Einsatzbedingungen zu schließen. Ziel ist es, durch eine optimale Auslegung der Anlage und die Einbindung ins Heizsystem Jahresnutzungsgrade von über 85 % zu erreichen (RHC-Platform 2012, 35 ff.).

Auch die Potenziale zur Kostensenkung sind begrenzt: Die Anlagenkosten könnten durch automatisierte Fertigungsprozess gesenkt werden. Der wirtschaftliche Einsatz von Tiefziehwerkzeugen[177] bei der Blechverarbeitung oder der Einsatz von Schweißrobotern zur Kesselherstellung, wie er bei der Fertigung von Gas- und Heizöl-Kesseln bereits üblich ist, setzt hohe Produktionsmengen – ab 20.000 Stück pro Kesseltyp voraus. Diese Produktionszahlen werden in den einzelnen Unternehmen derzeit jedoch (noch) nicht erreicht. Nach Stubenschrott (22.11.2012, mdl.). könnten diese Produktionstechniken frühestens in fünf bis zehn Jahren eingeführt werden – unter der Voraussetzung, dass das Marktwachstum 10 bis 15 % pro Jahr beträgt.

Der Einsatz von Holzbrennstoffen wird daher weiterhin auf eine gewisse Förderung angewiesen sein, um konkurrenzfähig mit Gas- oder Ölheizungen zu sein. Die Konkurrenzfähigkeit könnte allerdings auch erreicht werden, wenn der Betrieb von Gas- und Ölheizungen besteuert würde.

Hohe Kosten und die vergleichsweise engen Rahmenbedingungen, unter denen ein wirtschaftlicher Betrieb möglich ist, stellen auch eine Investitionsbarriere für den Einsatz größerer Heizungsanlagen zur biogenen Wärmeversorgung in Mehrfamilienhäusern, Kirchen, Kindergärten, Seniorenheimen und Konkurrenzfähigkeit Gewerbebetrieben dar. Die Investitionsbarrieren könnten mithilfe von Contracting-Modellen weiter gesenkt werden.

[177] Form, um in einer Blechpresse Stahlbleche zu biegen bzw. ziehen.

4 Innovationsbedingungen der Wärmeerzeugung mit Solarthermie

4.1 Einführung

Sonnenenergie zur Gebäudebeheizung kann entweder passiv durch die gezielte Verglasung eines Gebäudes (z. B. bei Passivhäusern, Gewächshäusern oder Wintergärten) erfolgen oder aktiv unter Zuhilfenahme von Umwandlungstechnik, sogenannter Absorber oder Kollektoren. Bereits Anfang des 20. Jahrhunderts hatten Erfinder in mehreren Ländern verschiedenste „Apparate“ zur Nutzung der Solarenergie entwickelt (Khammas 2012). Dass aus diesen Anfängen keine kontinuierliche technische Entwicklung gefolgt ist, hat mit dem zur gleichen Zeit begonnenen Siegeszug fossiler Energieträger zu tun.

Dennoch wird die Sonnenenergie seit einigen Jahrzehnten gezielt zur Erwärmung von Brauchwasser genutzt, wobei dies zunächst vor allem in Ländern mit hoher Solarstrahlung der Fall war. Dafür werden einfach und kostengünstig aufgebaute, Schwerkraft nutzende Thermosiphonanlagen[178] bereits seit den 1960er Jahren verwendet (Zypern, Israel; vgl. Turrent 1987, 48). Wegen des einfachen Aufbaus auf dem Dach können sie nur in frostfreien Gegenden mit ganzjährig hoher Sonneneinstrahlung eingesetzt werden.

In den geografisch nördlicher gelegenen Gegenden sind in Europa und Amerika heute in den meisten Häusern Zentralheizungen mit getrennten Heiz- und Brauchwasserkreisläufen üblich. Die im Kollektor solcher Kombianlagen gewonnene Wärmeenergie muss von der Regelungstechnik so in einen oder beide Kreisläufe eingebunden werden, dass ein möglichst großer Solarbeitrag im Jahr erzielt wird.

Für die solare Wärmegewinnung wurden verschiedene Flach- und Röhrenkollektoren[179] entwickelt, die beim Einsatz in nördlichen Breitengraden zudem eine gute Isolation und Frostschutzsicherungen aufweisen müssen, um die Wärmeverluste in der kalten Jahreszeit zu minimieren und bei Stillstand nicht durch Frost zerstört zu werden. Solche Solaranlagen sind deutlich komplexer und dementsprechend teurer, was ihre Verbreitung im Vergleich zu den einfachen Thermosiphonanlagen erschwert. Hinzu kommt, dass in nördlichen Breitengraden der ganz überwiegende Teil der Sonneneinstrahlung gerade im Sommerhalbjahr auftrifft, wo jedoch nur ein geringer Bedarf für Warmwasser und kein Heizwärmebedarf besteht. Im Vergleich zum durchschnittlichen Heizwärmebedarf ist der Wärmebedarf für Warmwasser eher gering (ca. 10 bis 15 % des Gesamtwärmebedarfs). Grundsätzlich kann Solarwärme im Sommer auch zur Kühlung genutzt werden, wenn dafür eine spezielle Kälteanlagentechnik zum Einsatz kommt (vgl. auch Kapitel 7). Diese Art der Solarwärmenutzung kommt aber nur in sehr wenigen Fällen zur Anwendung.

Trotz der rund 17 Mio. m² installierter Kollektorfläche (2013) liegt der Anteil der Solarwärme am gesamten Wärmeenergiebedarf erst bei 0,5 % und damit innerhalb der EE-Wärmetechnologien an letzter Stelle weit hinter den Holzbrennstoffen, die im Jahr 2013 einen Anteil von 6,4 % hatten (BMU 2014, 13).

---

178 Bei diesen einfach aufgebauten Anlagen befindet sich unmittelbar oberhalb des Kollektors ein Wassertank. Durch Dichteunterschiede zwischen erwärmtem und kaltem Wasser findet eine natürliche Umwälzung des Wassers vom Kollektor zum Wasserspeicher statt, sodass keine elektrische Umwälzpumpe benötigt wird.

179 Neben den Absorbern / Kollektoren mit Flüssigkeiten als Wärmeträger ist auch Luft möglich. Bei Luftkollektoren gibt es mehrere Bauformen, wo Luft über, unter oder durch den Absorber strömt. Da die Wärmekapazität von Luft im Vergleich zu Wasser nur ein Viertel beträgt, müssen große Luftmengen gewälzt werden, was größere Kanalquerschnitte und mehr Hilfsenergie erfordert (BINE Informationsdienst 1987, 32). In der Praxis spielen Luftkollektoren nur eine geringe Rolle.

Der Bundesverband Solarwirtschaft erwartet in seinem „Fahrplan Solarwärme“ bis zum Jahr 2030 einen Anstieg der solarthermischen Wärmebereitstellung auf 8 % (36 TWh) am bis dahin gleichzeitig zurückgehenden Wärmebedarf. (BSW 2012, 11)

4.2 Phasen des Innovationsprozesses

Das Innovationsgeschehen lässt sich in folgende Phasen untergliedern:

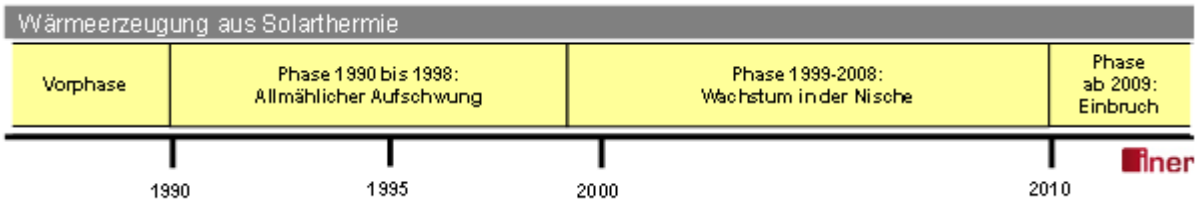


Abbildung 4-1: Innovationsphasen der solarthermischen Wärmeerzeugung

Die Phase bis 1990 wird als Vorphase betrachtet. Sie umfasst die Anfänge der solarthermischen Nutzung (Technik und Marktentwicklung), die in den 1970er Jahren überwiegend von der Umweltbewegung und idealistischen Entwicklern getragen war. Unterstützt von vereinzelten Förderungen in den Bundesländern fanden in den 1970er und 1980er Jahren die wesentlichen technischen Entwicklungen statt. Anfangs von großer Euphorie begleitet, waren dem Einsatz der Solarthermie jedoch nur geringe Markterfolge beschieden.[180]

Ab 1990 bekam die Entwicklung durch ein Bündel verschiedener Faktoren einen neuen Nachfrageschub. Der Beginn der Phase ist durch den erstarkenden Klimaschutzgedanken gekennzeichnet, der dem Einsatz bereits entwickelter EE-Technologien zugutekam. Die Talsohle schien durchschritten und etablierte Heizungshersteller nahmen in Erwartung steigender Nachfrage Solarkollektoren in ihr Angebot auf. Die Technik konsolidierte sich durch inkrementelle Entwicklungsfortschritte – Zuverlässigkeit und Energieausbeute stabilisierten sich. Ab 1994 fand die politische Ausrichtung auch Eingang in das (förder-)politische Handeln des Bundes: Die 1994 erste „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ unterstützte den Diffusionsprozess, ohne jedoch die Marktentwicklung maßgeblich zu beeinflussen.

Der allmähliche Aufschwung ab 1999 war wiederum Ausdruck des Zusammentreffens mehrerer Ereignisse und Einflussfaktoren: Zum einen sorgte der Regierungswechsel zu Rot-Grün (1998) für einen Schub: Ab 1999 wurde die erste, 1998 ausgelaufene EE-Förderrichtlinie finanziell deutlich besser ausgestattet und unter dem zusätzlichen Namen „Marktanreizprogramm“ (MAP) fortgeführt. Zum anderen förderten die von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt durchgeführten Kampagne „Solar – Na klar“ oder „Solarwärme Plus“ den Absatz und gaben der Branche neue Impulse. Insgesamt war die Phase durch ein unstetes Marktwachstum auf niedrigem Niveau gekennzeichnet. In der Phase ab 2009 dominierte die solare Stromerzeugung durch großzügige Vergütungssätze das Geschehen in der Solarwirtschaft. Durch die Konkurrenz um Investitionsmittel (Photovoltaik) und den Einbruch der Ölpreise 2009 kam es ab 2010 zu einem massiven Nachfrageeinbruch. Weder die Verabschiedung des EEWärmeG noch die anschließende Aufstockung des MAP konnten eine Trendwende herbeiführen. Darüber hinaus führte eine kurzzeitige Haushaltssperre des MAP im Frühjahr 2010 zu

[180] Übereinstimmende Charakterisierung der Phasen mit Langniß & Ziesing (2005); Stryi-Hipp (2005); allerdings beziehen diese ihre Aussagen vereinfachend auf ganze Dekaden (1970er; 1980er; 1990er etc.).

einer zusätzlichen Verunsicherung, die den Absatzrückgang noch verstärkte. Aktuell stellen vor allem die erstarkten Wärmepumpen (vgl. Kapitel 5) eine Konkurrenz für solarthermische Systeme dar und schmälern deren Marktaussichten.

4.3 Entwicklungen in der Vorphase bis 1990

Weichenstellende Innovationen für den Solarthermiesektor fanden bereits in den 1970er und 1980er Jahren statt. In diesem hier als Vorphase bezeichneten Zeitraum (außerhalb des im Forschungsprojekt in den Blick genommenen Betrachtungszeitraums) erfolgten wesentliche Pionierleistungen, auf welche die Entwicklung zu Beginn der 1990er Jahre aufsetzen konnte.

4.3.1 Kollektoren als technologische Neuheit

Kernelemente einer solarthermischen Anlage sind neben dem Kollektor oder Absorber[181] der Wasserspeicher, die Solarumwälzpumpe und die Steuerungstechnik.[182] Bei den Kollektoren gibt es mehrere Bauformen, von denen in der Praxis hierzulande aber nur zwei bedeutsam sind: Flach- und Vakuumröhrenkollektoren. Darüber hinaus gibt es noch Einfachabsorber und Luftkollektoren. Der wesentliche Unterschied zwischen den verschiedenen Bauformen besteht vor allem in der Effizienz, d. h. dem Anteil der Wärme, der nach Abzug der Wärmeverluste genutzt werden kann. Flach- und Vakuumröhrenkollektoren besitzen eine Wärmedämmung, um die Wärmeverluste möglichst gering zu halten.[183]

Vor allem die Vorphase in Deutschland war bei Solarkollektoren von einer intensiven technischen Weiterentwicklung der Kollektoren gekennzeichnet, die nach der ersten Ölkrise 1973 einsetzte und bis Ende der 1980er Jahre reichte.

Die Solarthermie startete zunächst mit dem Flachkollektor, der vom Prinzip relativ einfach aufgebaut ist. Er besteht aus einer rechteckigen Rahmenkonstruktion, in der sich eine metallische Absorberplatte mit Rohren für das Wärmeträgermedium befindet, die mit einer transparenten Abdeckung verschlossen ist. Für die Absorberplatte wurden verschiedene Metalle wie Stahl, Kupfer oder Aluminium verwendet. Die Absorberrohre werden mit der Metallplatte verlötet oder verschweißt bzw. es werden in einem Rollprozess zwei Aluminiumbleche mit dazwischen liegenden Kupferrohren verpresst (sog. Sunstrip-Absorber)[184]. Insbesondere die Sunstrip-Absorberstreifen waren im Vergleich sehr preisgünstig in der Herstellung. Bei Kompaktkollektoren waren aber zu viele Lötverbindungen erforderlich, die potenzielle Leckstellen darstellten, sodass deren Verwendung heute nur noch bei Großflächenkollektoren üblich ist (Wagner 20.12.2012).[185]

Die Absorber wurden nach dem Verbinden der Platte und den Rohren anfangs zunächst mit schwarzem Lack bestrichen, um die Reflexionsrate zu verringern und höhere Temperaturen zu erzielen. Ab Anfang der 1980er Jahre wurden galvanisch (sehr energieaufwendig) selektive Beschichtungen zur

---

[181] Alternativ wird für Kollektoren auch der Begriff Solarabsorber (Aufnehmer) verwendet. In der Praxis werden jedoch nur Einfachabsorber als Absorber bezeichnet, die technisch aufwendigeren Absorber als Kollektor.

[182] Weitere Komponenten sind Sicherheitseinrichtungen, wie Druckminderungsvorrichtung, Ausdehnungsgefäß, Sicherheitsventil, Speicheranode und Entlüfter zum Schutz des Kollektors vor Korrosion.

[183] Daneben gibt es für südliche Breitengrade mit hoher direkter Sonneneinstrahlung weitere Kollektorbauformen, wie Parabolspiegel- oder Fresnel-Kollektoren. Die Innovationsentwicklung dieser in Deutschland nicht genutzten Kollektortypen wird nicht betrachtet.

[184] Entwickelt vom schwedischen Unternehmen TeknoTerm Ende der 1970er Jahre. Das Produkt wird bis heute von der Firma S-Solar AB angeboten (S-Solar 2009).

[185] Die Selbstbau-Kollektoren von Wagner & Co verwendeten Sunstrip-Absorber.

Verminderung der Wärmeabstrahlung[186] aufgebracht, wobei es sich um giftiges Schwarzchrom oder Schwarznickel handelte (vgl. auch Kapitel 4.4.4), das aufwendige und kostenintensive Maßnahmen zur Reinigung der Abwässer und für den Arbeitsschutz erforderte.

Die Lichtdurchlässigkeit von Glasabdeckungen über dem Plattenabsorber konnte ab Mitte der 1980er Jahre durch spezielle eisenarme Solarglassorten mit Antireflexionssichten weiter erhöht werden. Daneben wurden auch Kunststoffabdeckungen aus Acryl (PMMA), Polycarbonat (PC) oder Polyester (PET) eingesetzt, wobei es wegen der hohen Temperatur- und UV-Belastungen materialabhängig immer wieder Probleme mit der Langzeithaltbarkeit (Eintrübung, Rissbildung) gab. Schon in den 1980er Jahren wurde erwartet, dass längerfristig Voll-Kunststoff-Kollektoren den Metall-Kollektor verdrängen würden (Turrent 1987, 84). Bis heute ist dies jedoch wegen hoher Materialanforderungen hinsichtlich Temperatur, Druck und Wärmeleitfähigkeit nicht gelungen. Im Falle eines technischen Durchbruchs wird jedoch mit Kostensenkungspotenzialen von bis zu 50 % gerechnet (Reiter et al. 2011, 3).

Von Messerschmidt-Bölkow-Blohm wurde Ende der 1970er Jahre auch ein Vakuum-Flachkollektor entwickelt, der sich aber am Markt nicht durchsetzen konnte. Als eine der wenigen Firmen bietet *Reinhard Solartechnik* seit 1982 bis heute Vakuum-Flachkollektoren an.[187] Bei diesen kann das Vakuum vom Betreiber überwacht und bei Bedarf selbst erzeugt werden.

Heute bestehen Flachkollektoren nach wie vor überwiegend aus den drei Materialien Aluminium, Kupfer und Glas, die rund 87 % der Masse ausmachen (BSW 2012, 44). Insbesondere die im Vergleich teuren Rohstoffe Kupfer und Aluminium sind es, welche die Produktionskosten eines Flachkollektors wesentlich bestimmen und empfindlich für Rohstoffpreisschwankungen machen.

Neben den am Markt dominierenden Flachkollektoren stellen die Vakuumröhrenkollektoren die zweite bedeutsame Technologieschiene zur Niedertemperaturwärmegewinnung dar. Im Unterschied zum Flachkollektor wird die Sonneneinstrahlung hierbei – nach dem Prinzip der Thermoskanne – in einer evakuierten Glasröhre zu Wärme umgewandelt und über das Wärmeträgermedium abtransportiert. Bei den ersten ab 1982 am Markt angebotenen Vakuumröhrenkollektoren gab es häufig Undichtigkeiten. Das Absorberrohr wurde in die zunächst noch einwandigen Glasröhren eingeschoben. Dann musste das Rohr an der offenen Seite verschlossen werden, um ein Vakuum zu ermöglichen (Vollvakuumröhre). An dieser Klebestelle traten wegen der unterschiedlichen Materialien häufig Spannungsrisse auf, die zu Undichtigkeiten bzw. Verlust des Vakuums führten. Zudem strömte das Wärmeträgermedium direkt durch die innere Röhre, was wegen der hohen Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt ebenfalls zu Materialspannungen führte.

Um den technischen Entwicklungsstand und die Leistungsfähigkeit von Kollektoren beurteilen zu können, sind Einzel- und Vergleichstests unter standardisierten Rahmenbedingungen notwendig. Dafür waren zunächst entsprechende Prüfbedingungen zu definieren. In Deutschland wurden diese bereits Ende der 1970er Jahre im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie vom TÜV Bayern entwickelt. Auch auf europäischer Ebene begann die Kommission der Europäischen Gemeinschaften 1975 mit einem weitreichenden Prüfprogramm der Solartechnologie (Turrent 1987, 9).

In den Jahren 1982/83 führte der TÜV Bayern im Auftrag der Stiftung Warentest einen ersten Vergleichstest von solarthermischen Anlagen durch (1984). Dieser in der Ausgabe 01/1984 veröffentliche

[186] Schwarze Farbe strahlt rund 50 % der aufgenommenen Wärme wieder ab.

[187] Baugleiche Kollektoren werden unter anderem Namen von anderen Anbietern angeboten, z. B. Thermosolar.

Test offenbarte eine Reihe von Verbesserungspotenzialen bei den Kollektoren (BINE Informationsdienst 1987, 7; 17) und bei den Testmethoden. 1985/86 folgte im Auftrag des Bundesforschungsministeriums ein erneuter Test von 18 Anlagen durch den TÜV Bayern (BINE Informationsdienst 1987, 6).

Im Test 1982/83 erreichten die untersuchten Anlagen im Durchschnitt einen effektiv nutzbaren Solarenergieertrag von 106 kWh/m²a. Schon drei Jahre später hatte sich der im Test ermittelte durchschnittliche Ertrag auf 210 kWh/m²a verdoppelt (Spitzenwert bis 304 kWh/m²a), was die erheblichen technischen Fortschritte bei Kollektoren zeigt (BINE Informationsdienst 1987, 26).

Seit Anfang der 1990er Jahre liegen die nutzbaren Solarenergieerträge der meisten Flachkollektoren im Bereich zwischen 400 bis 500 kWh/m²a, wobei es Kollektoren (meist Vakuumröhren) mit Spitzenwerten bis über 600 kWh/m²a gibt (Stiftung Warentest 2009, 62). Die technologische Entwicklung der Kollektoren und Einbindung in die Warmwasserbereitung war bis Mitte der 1990er Jahre weitgehend abgeschlossen. Kombianlagen zur Heizungsunterstützung hatten Ende der 1980er Jahre dagegen noch Versuchscharakter und zudem mit Regelungsproblemen zu kämpfen (Jochem 1988, 157).

4.3.2 Politische Impulse, Förderung und Entwicklung des rechtlichen Rahmens

4.3.2.1 Die Anfänge der Forschungsförderung auf EU-Ebene

Die Sonnenenergie wurde im Rahmen des Forschungsprogramms der Gemeinsamen Forschungsstelle (GFS) erstmals 1973 erwähnt, jedoch lag der Fokus auf der Modernisierung und Verbesserung der nuklearen und fossilen Energieträger für die Stromversorgung. Aufgrund der Ölpreiskrise von 1974 verstärkte die Europäische Gemeinschaft (EG) dann ihre Bemühungen um eine Koordination der Energieforschung. Ende der 1970er beschloss die EG im Rahmen der Verordnung 1302/78/EWG vom 12. Juni 1978 die Förderung von erneuerbaren und alternativen Energien, insbesondere durch die praktische Anwendung und Erprobung verschiedenster Techniken. Bis in die 1980er Jahre flossen jedoch nur geringe Anteile der Forschungsmittel in diesen Bereich. Dabei setzten erste Entwürfe eines EG-weiten Forschungsprogramms einen Fokus auf Kollektoren zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme und thermische auf Sonnenkraftwerke (Mener 2001, 424). In dieser Vorphase wurde daraufhin das Forschungsförderprogramm JOULE (1987-1990) aufgelegt, im Zuge dessen auch Fördermittel für Solarthermieprojekte beantragt werden konnten.

4.3.2.2 Forschungsförderung auf nationaler Ebene zur Technikentwicklung

Im „1. Rahmenprogramm Energieforschung“ (1974-1977) berücksichtigte das BMF unter dem damaligen Forschungsminister Horst Ehmke erstmals die Erarbeitung von „experimentell gesicherten Daten für die Einsatzmöglichkeiten von Sonnen-, Wind- und geothermischer Energie“ (Hahne 2005, 131). Bei der Überarbeitung des Rahmenprogramms erklärte sein Nachfolger, Forschungsminister Hans Matthöfer, dass vor allem die Förderung der Solartechnik ausgebaut werden solle. Im Rahmen des Energieforschungsprogramms flossen insgesamt 27 Mio. DM (14 Mio. Euro) in die Forschung und Entwicklung von Solaranlagen. Im nachfolgenden „Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980“ wurden von der Gesamtfördersumme von 6,5 Mrd. DM (3,3 Mrd. Euro) Fördermittel in Höhe von 127 Mio. DM (65 Mio. Euro) für Solarenergie bereitgestellt (Mener 2001, 424f.; BMFT 1977, 165f.).[188]

[188] Dabei ist jedoch auf Basis der verfügbaren Unterlagen nicht zu klären, zu welchen Anteilen jeweils Solarthermie und Photovoltaik gefördert wurden – der Begriff Solarenergie umfasst beides.

Durch die Forschungsförderung sollten möglichst schnelle Erfolge bei der Entwicklung von Techniken für sonnenreiche Gebiete Deutschlands erreicht werden. Zudem sollte das BMF Kontakte zu sonnenreichen Ländern aufbauen, um die Technologie unter sehr guten Voraussetzungen zu entwickeln und zu testen (Mener 2001, 425). Die Förderung von Demonstrationsprojekten durch das BMF schaffte einen ersten kleinen Absatzmarkt für Solarkollektoren. Die Förderung setzte auf Großprojekte.[189]

4.3.2.3 Förderung von Nachfrage auf nationaler Ebene

Neben den politischen Impulsen zur Forschungsförderung wurden in diesem Frühstadium Vergünstigungen des BMWi für private Investoren gewährt – jedoch nicht für Wohnhäuser. Aufgrund öffentlichen Drucks sicherte das Ministerium 1976 ausdrücklich zu, dass Solarkollektoren unter den § 4a des Investitionszulagengesetzes (InvZulG) von 1975 fielen.[190] Dadurch erhielten Industrieunternehmen und Gewerbebetriebe 7,5 % Investitionszulage für energiesparende Investitionen (Mener 2001, 443). Eine weitere Möglichkeit der Zuwendung waren Sonderabschreibungen auf Investitionen, die dem Schutz der Umwelt dienen, nach § 7d Einkommensteuergesetz (EStG) (Deutscher Bundestag 1980c, 7).

Schließlich kam es 1978 – angeregt durch das Energieeinsparprogramm Baden-Württembergs[191] – zur Verabschiedung des „Gesetzes zur Förderung der Modernisierung von Wohnungen und von Maßnahmen zur Einsparung von Heizenergie (ModEnG)“. Das Gesetz sah ein Spektrum finanzieller Fördermöglichkeiten für solarthermische Anlagen und Wärmepumpen vor: Die Käufer konnten entweder einen Zuschuss von bis zu 25 % der Investitionskosten bekommen, verbilligte Kredite beantragen oder jährlich 10 % der Kosten für Investition und Erhaltung der Anlagen über eine Dauer von 10 Jahren steuerlich geltend machen. Die Mittel konnten alternativ auch für Wärmedämmung oder Verbesserung der konventionellen Heizungsanlage verwendet werden. Das Gesetz sah überdies vor, dass die Fördersumme jeweils zur Hälfte von Bund und Ländern zu tragen war (Mener 2001, 444f.).

Die Zubauentwicklung der Solarthermie Ende der 1970er Jahre kann dem genannten Förderrahmen jedoch kaum zugeschrieben werden, denn mehr als 90 % der im „4,35 Mrd. DM Energiesparprogramm“ von 1978 bereitgestellten Gesamtsumme wurden zwischen 1978 und 1982 in Wärmedämmung und nicht in erneuerbare Wärmeerzeugung investiert.[192]

Am 23. März 1977 verabschiedete die Bundesregierung das „Programm für Zukunftsinvestitionen“ (ZIP; 1977-1980), das mit Mitteln des Bundes, der Länder und Gemeinden finanziert wurde. In den drei Jahren Laufzeit wurde der Einbau von „solartechnischen Anlagen, insbesondere zur Warmwas-

---

189 Die Förderung großmaßstäblicher Umsetzung neuer Technologien wurde auch in anderen Technologiebereichen praktiziert: vgl. Bruns et al. (2009) zur Förderstrategie bei Windenergieanlagen (GROWIAN). In Wiehl wurde beispielsweise 1977 in einem Projekt ein Solarkollektor zur Beheizung eines Schwimmbades und einer Mehrzweckhalle errichtet. Die 1.565 m² umfassende Anlage entsprach einem Drittel der in der BRD 1976 insgesamt installierten Kollektorfläche (Mener 2001, 440).

190 Daneben konnten Heizkraftwerke, Müllheizwerke und -Heizkraftwerke, Laufwasserkraftwerke, Fernwärmenetze, Wärmerückgewinnungsanlagen, Solar- und Windkraftanlagen sowie Wärmepumpenanlagen vom Gesetz profitieren.

191 „Das Programm in Baden-Württemberg wirkte dabei als Vorbild. Es wurde unter anderem innerhalb des BMFT als Argument in Anspruch genommen, eigene Fördermaßnahmen zu verabschieden.“ Daraus entwickelte sich später das „Gesetz zur Förderung der Modernisierung von Wohnungen und von Maßnahmen zur Einsparung von Heizenergie“ (Mener 2001, 443f.).

192 Nur ein Fünftel der Befragten einer Erhebung des BMF von 1979 hatte überhaupt Fördermittel in Anspruch genommen; die Abschreibungsmöglichkeiten nutzten 5 % der Befragten (Mener 2001, 445f.).

serbereitung“ in bundeseigene Gebäude im In- und Ausland in Höhe von 31. Mio. DM finanziert (Deutscher Bundestag 1980a, 3).

Erst nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl im Frühjahr 1986 und dem damit einhergehenden ökologischen Umdenken in Deutschland kam es zu einem starken Absatzschub bei Solarkollektoren. Die Lücke in der Solarthermieförderung nach dem Auslaufen des § 82a Einkommenssteuer-Durchführungsverordnung (EStDV) im Jahre 1991, nach dem auch Solarthermieanlagen steuerlich abgeschrieben werden konnten, wurde – mit Beginn der 1990er – sukzessive durch Programme der Bundesländer geschlossen[193], flankiert durch einzelne Kommunen und Energieversorger. Allerdings überstieg die Nachfrage nach Zuwendungen das Budget der meisten Förderprogramme. Dies gilt auch für die 1994 vom BMWi eingeführten „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ (Stryi-Hipp 2005, 174).

4.3.2.4 Anlagenförderung auf Länderebene

Auch auf Länderebene wurden Instrumente zur Modernisierung mit dem Ziel der Wärmedämmung und der Einsparung bzw. Substitution fossiler Energieträger eingeführt, wie sie im Folgenden ohne Anspruch auf Vollständigkeit aufgeführt werden.

Pionier auf diesem Gebiet war *Baden-Württemberg* (Stryi-Hipp 2005, 173). Bereits nach der ersten Ölpreiskrise übte die SPD 1975 Druck auf die CDU-Regierung unter Hans Filbinger aus, Solarkollektoren stärker zu fördern. Mit dem Ziel der Einsparung von fossilen Energieträgern und einer energetischen Selbstversorgung führte die Landesregierung 1977 das „Energiesparprogramm“ ein. Darin wurden Investitionen für Solarkollektoren und Wärmepumpen mit bis zu 30 % bezuschusst. Das Programm wurde so gut aufgenommen, dass die Fördersumme für Solarthermie nach den ersten Wochen von 0,8 auf 2 Mio. Euro (1,5 auf 4 Mio. DM) aufgestockt wurde. 1977/78 wurden 1.700 Solaranlagen mit 2,5 Mio. Euro (5 Mio. DM) gefördert. Bereits 1980 waren mehr als die Hälfte der in Baden-Württemberg installierten Kollektoren aus diesem Fördertopf finanziert (Mener 2001, 442).

In den 1980er Jahren wurde in *Hessen* begonnen, über Alternativen zu den fossilen Energieträgern im Wärmebereich nachzudenken. Schließlich wurde 1985 das „Gesetz über die Förderung rationeller und umweltfreundlicher Energienutzung in Hessen (Hessisches Energiegesetz)“[194] verabschiedet. Auf Grundlage von § 3 Abs. 2 „Maßnahmen zur Nutzung von erneuerbaren Energieträgern zur Raumheizung und Warmwasserbereitung“ dieses Gesetzes erließ die Landesregierung Förderrichtlinien.[195] Sie beinhalteten Investitionszuschüsse und Bürgschaften für Solarthermieanlagen (Energiespargesetz, 102; 2310ff.).

4.3.3 Initiativen, Selbstbaugruppen und Anwender als Pioniere

Die Entwicklung und Anwendung von solaren Wärmetechnologien wurde zu Beginn in hohem Maße durch das Engagement von Bastlern vorangetrieben. Die „Solaraktivisten der ersten Jahre“ (Hirschl 2008, 179) speisten sich aus der Anti-AKW-Bewegung und der Umweltbewegung. Ihr Engagement entsprang aus ihrer Widerstandshaltung gegen das politische Establishment und das etablierte Ener-

[193] Hintergrund waren auch hier die politischen Weichenstellungen zum Klimaschutz auf Grundlage des Abschlussberichts der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ (vgl. Kapitel 2.2.2.2).

[194] Vgl. RECHTSQUELLENVERZEICHNIS

[195] Das Gesetz wurde im Laufe der Jahre mehrmals novelliert und es wurden entsprechende Förderrichtlinien erlassen.

gieversorgungssystem.[196] Aber auch bei den Anwendern, vorwiegend Eigenheimbesitzern, stieg das Interesse an alternativen Lösungen: Das Ölembargo der arabischen Länder im Herbst 1973 und die darauf folgende Vervielfachung des Ölpreises verdeutlichte die starke Import- und Preisabhängigkeit. Der Wunsch nach mehr Unabhängigkeit und das Interesse an preiswerten Alternativen sorgten dafür, dass sich der Kreis der Interessenten rasch um experimentierfreudige Hausbesitzer vergrößerte, die hofften, zumindest die Kosten für die Warmwasserbereitstellung durch Solarkollektoren verringern zu können. Ab Mitte der 1970er Jahre begann sich aus den Einzelaktivitäten privater Anwender und technikaffiner Bastler, z. T. unterstützt von lokalen alternativen „Energie- und Umweltzentren", eine Solarszene zu etablieren. Selbst die 1975 gegründete Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie (DGS) zeigte sich über das Interesse an Solarenergie und den Bedarf nach fachlicher Beratung und Erfahrungsaustausch überrascht.[197]

Im Forschungsbereich war die thermische Solarenergienutzung zunächst ein Nischenthema. Anfang der 1970er Jahre nahmen sich einzelne engagierte Wissenschaftler des Themas an. Zum Beispiel übernahm Prof. Erich Hahne mit dem *Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW)* der Universität Stuttgart ab Anfang der 1970er Jahre eine führende Rolle auf dem Gebiet der Solarenergieforschung. Auch das Fraunhofer-Institut griff angesichts der fortgesetzten Nachfrage nach Solarforschung das Thema auf. 1980 bildete sich die Arbeitsgruppe für Solare Energiesysteme ASE, die ein Jahr später durch Prof. Adolf Goetzberger in *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE* umbenannt wurde.[198] Ein drittes Standbein der Solarthermieforschung mit stärker anwendungsbezogenem Schwerpunkt bildete das Institut für *Thermodynamik und Wärmetechnik des DLR* in Stuttgart.

4.3.3.1 Selbstbaugruppen und erste Unternehmensgründungen

Ende der 1970er Jahre formierte sich aus den vielfältigen Einzelaktivitäten auch in Deutschland eine Selbstbau-*Bewegung*.[199] Eine zunehmende Zahl an Selbstbaugruppen, bot die Möglichkeit zu experimentieren, und bei relativ geringen Kosten erste Erfahrungen zu sammeln. Aus den Selbstbaugruppen heraus fanden auch Unternehmensgründungen statt (siehe unten). Insofern bildeten die Selbstbaugruppen den Ausgangspunkt für die Professionalisierung der Anlagenherstellung und Installation. Ein Vorreiter der frühen Selbstbaubewegung in Deutschland war die „*Marburger Energiegruppe*". Sie gab ein erstes Branchenverzeichnis „Dauerhafte Energiequellen" und später Selbstbauanleitungen „Wie baue ich meine Solaranlage" heraus. 1978 errichtete die Gruppe die erste kleine solarthermische Demonstrationsanlage. Im gleichen Jahr folgte noch eine zweite Anlage auf einem Kinderheim. Durch den Erfolg mit der zweiten Anlage und des geschäftlichen Buchvertriebes entstand 1979 aus der

---

196 Ähnliche Motivationen finden sich auch bei den Pionieren der Windenergie- und der Biogasherstellung (Bruns et al. 2009, 474).

197 So kamen zur ersten Tagung der DGS „Heizen mit Sonne I" im Februar 1976 in Göttingen der erwarteten 500 Teilnehmer über 1.000 Teilnehmer. Der Platz in der Stadthalle reichte nicht aus. In der ersten Jahreshauptversammlung am 22.05.1976 zählte man bereits über 1.000 Mitglieder, Ende 1976 waren es über 2000. Die zweite Tagung „Heizen mit Sonne II" im März 1997 in München war auf 2.000 Besucher ausgelegt (Sonnenenergie Heft 6/97, S. 14).

198 Zusammen mit Volker Wittwer rief er 1991 die Veranstaltungsreihe „Symposium Thermische Solarenergie" ins Leben, die seither jährlich stattfindet und eine zentrale Plattform für den Wissens- und Erfahrungsaustausch bildet.

Prof. Wittwer ist seit 2001 Dozent an der Technischen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, wo er seit 2006 eine außerplanmäßige Professur innehat. 2006 erhielt Prof. Wittwer den »Solar Heating and Cooling Award« der International Energy Agency (IEA).

199 In Österreich hatten Selbstbaubewegungen schon früher Fuß gefasst. Ihr Beispiel beeinflusste v. a. die Solarszene in Süddeutschland.

Energiegruppe heraus *Wagner & Co*. Das Unternehmen bot ab 1980 Selbstbausätze für die Eigenmontage an, die nach sehr gutem Abschneiden[200] bei einem Vergleichstest 1986 (vgl. Kapitel 4.4.1) die Grundlage für den weiteren Firmenerfolg legten. Der Vertrieb erfolgte über sogenannte Energieläden und andere Energiegruppen, später auch über Handwerksbetriebe.[201] In Bayern wurden über Solar-Einkaufsgemeinschaften und Selbstbaugruppen zeitweise mehr Anlagen als über das Fachhandwerk vertrieben (Hilz 02.12.2012). Mit dem Phönix-Projekt (vgl. Kapitel 4.5.3.4) wurde das Selbstbaukonzept in abgewandelter Form später erneut aufgegriffen.

Weitere charakteristische Beispiele für Motive und Gründungsverläufe aus dieser Zeit sind die *SET Solar Energie Technik* in Altlußheim (1976, heute in Schmalzgrube/Erzgebirge), *Solar Diamant* in Wettringen (1978, heute *BOSCH Solarthermie*) oder die *Solvis Energiesysteme* in Braunschweig (1988).

Die Entwicklung und Anwendung von solaren Wärmetechnologien gehen also auch in hohem Maße auf das Engagement neuer Unternehmer zurück. Letztere schafften es, „die idealistischen Ideen zu professionalisieren und marktfähige Strukturen aufzubauen“ (Bruns et al. 2009, 474). Daneben gab es in dieser frühen Phase einzelne etablierte Elektronikhersteller, die ihr Geschäftsfeld um solare Wärmetechnologien erweiterten, weil sie darin Marktchancen sahen. Hierzu gehörte z. B. *Stiebel Eltron*, ein Unternehmen, dass sich bis dahin vorwiegend mit elektrischer Warmwasserbereitung (Boiler, Durchlauferhitzer) befasst hatte.

4.3.3.2 Gründung von Interessensverbänden und Arbeitsgruppen

Den Beginn der Institutionalisierung markierte die Gründung der *Deutschen Gesellschaft für Sonnenenergie e. V. (DGS)* im Oktober 1975 in München. Der Verein gab ein Mitteilungsblatt[202] heraus, organisierte Tagungen, stellte den Kontakt unter den Mitgliedern her und lobte Preise aus. Darüber hinaus beantworteten die Experten unentgeltlich zahlreiche Anfragen potenzieller Anwender (v. a. Eigenheimbesitzer). Dieses Engagement bescherte dem Verein bereits im Mai 1976 – ein halbes Jahr nach der Gründung – rund 1.000 Mitglieder. Dass ein großes öffentliches Interesse bestand, zeigten auch die hohen Besucherzahlen der DGS-Tagungen in den folgenden zwei Jahren.[203] Darüber hinaus erreichte die DGS mit Fernsehinterviews und Presseerklärungen ein großes mediales Echo. Allerdings hatte der Verein 1978 erhebliche Schulden angehäuft (Jannsen 2005, 16 f.). Nur mithilfe von Spenden und Bürgschaften – abermals ein Zeichen des starken Engagements – und durch den persönlichen Einsatz der neuen Vorstandsmitglieder konnte sich der Verein Anfang der 1980er Jahre konsolidieren und die Arbeit fortsetzen.

Ebenfalls 1975 gründete sich die *Arbeitsgruppe für Solare Energiesysteme e. V. (ASE)*, der große Firmen mit bekanntem Namen (AEG, BBC, Dornier Phillips, RWE) angehörten. Aus der ASE e. V. ging später der BSE (Bundesverband Solar Energie) hervor. Die Firmen wollten die Forschung und Entwick-

---

200 Sunstrip-Selbstbau-Kollektor: Günstigster Anlagenpreis pro m² Kollektorfläche, geringer Fremdstrombedarf und hoher Umsetzungsgrad der Anlage in Nutzwärme führten im Vergleich zu spezifisch niedrigen Wärmegestehungskosten und kürzester Amortisationszeit (BINE Informationsdienst 1987).

201 Nach Angaben von Wagner & Co (mündl. und http://www.wagner-solar.com/ueber-uns/firmengeschichte.html, letzter Zugriff 17.06.2014).

202 Das Mitteilungsblatt „Sonnenenergie“ hatte 6 Ausgaben/Jahr und übernahm eine wichtige Informations- und Vernetzungsfunktion.

203 An der ersten Sonnenenergietagung „Heizen mit Sonne“ am 23. und 24. Februar 1976 in Göttingen nahmen nach Angaben des Veranstalters ca. 1.200 Besucher teil. Die Tagung lieferte eine erste umfassende und deutschlandweite Bestandsaufnahme über Stand und Aussichten der Solartechnik (Urbanek 1976).

lung im Bereich der Solarthermie unternehmensseitig vorantreiben und warben dafür Forschungsmittel des Bundesforschungsministerium ein (Hahne 2005, 133f.). Sie konkurrierten hinsichtlich der Etablierung eines Forschungsfeldes auch mit der Fraunhofer-Gesellschaft, bei der das Thema Solarthermie und wo 1980 ebenfalls mit einer Arbeitsgruppe Solare Energiesysteme aufgegriffen worden war (siehe unten).

1979 gründete sich darüber hinaus der *Verband mittelständischer Solarindustrie e. V. (VSI)*. Dieser Verband trat aber nicht wesentlich als Impulsgeber für die Solarthermie hervor. Vielmehr leistete er später[204] Lobbyarbeit vor allem für die Photovoltaikindustrie.

4.3.3.3 Solarthermie im Wechselbad der frühen Forschungsförderung

Bundesforschungsminister Hans Matthöfer (SPD) zeigte sich 1976 aufgeschlossen gegenüber den Potenzialen der Solarthermie. So äußerte er vor Vertretern des DGS, dass er es für möglich hielte, 50 % des Wärmebedarfs eines Hauses mit wirtschaftlich vertretbarem Aufwand durch Sonnenenergie zu decken (Urbanek 1976). Die Hoffnungen auf eine stärkere Förderung der Technologieentwicklung wurden wegen der angespannten Finanzlage jedoch nicht erfüllt.

In den 1980er Jahren setzte der nachfolgende Bundesforschungsminister Dr. Heinz Riesenhuber (CDU) andere Prioritäten: Da im Jahr 1986 87 % des Primärenergiebedarfs durch fossile Energieträger gedeckt würden, könnten schon geringe Effizienzsteigerungen bei der Erzeugung fossiler Energieträger in einem größeren Umfang zur Verbesserung der Energieversorgung betragen, als insgesamt von Solarenergie oder Windenergie erwartet werden könne. Das Bundesforschungsministerium unterstützte daher die Erforschung neuer Technologien für fossile Energieträger mit 232 Mio. DM (119 Mio. Euro) (Riesenhuber 1987).

4.3.3.4 Die Forschungsinstitute

Anfang der 1970er war die Solarforschung in Deutschland praktisch noch nicht existent. Das Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart besetzte das Feld der thermischen Solarforschung und nahm damit eine Vorreiterrolle ein. Unter Dr.-Ing. Erich Hahne, der das Institut 1973-2000 leitete, gelang es dem Institut, ab 1975 erstmals Forschungsmittel des Bundesforschungsministerium für diese Fragestellungen einzuwerben (Hahne 2005, 133).

In Freiburg arbeitete Prof. Adolf Goetzberger Ende der 1970er Jahre auf die Gründung eines eigenen Instituts für Solarforschung im Rahmen der Fraunhofer-Gesellschaft hin. Bis zur Institutsgründung mussten aber einige finanzielle und formelle Hemmnisse überwunden werden. Da das Bundesforschungsministerium erst noch davon überzeugt werden musste, dass das Forschungsgebiet ausreichend "Potenzial" besaß und die Forschung anwendungsreife Technologien entwickeln könnte, für die auch ein Markt gefunden werden würde, verlief die Verankerung in zwei Stufen: 1980 wurde zunächst eine *Arbeitsgruppe* für Solare Energiesysteme – ASE gegründet. Nachdem die o. a. Bedenken ausgeräumt werden konnten, wurde die Arbeitsgruppe 1981 in *Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE)* umbenannt. Prof. Adolf Goetzberger leitete das ISE bis 1993. Sein Nachfolger wurde Prof. Joachim Luther.

[204] Der Verband benannte sich 1986 in *Deutscher Fachverband Solarenergie e.V. (DFS)* um (vgl. Abbildung 4-4).

4.3.4 Markt- und Kostenentwicklung: geringe Nachfrage bei hohen Kosten

Im Rückblick war diese Phase ohne nachhaltige kommerzielle Relevanz, in der sich aber die Spreu vom Weizen trennte, die Wirkungsgrade deutlich gesteigert, „Kinderkrankheiten“ abgestellt und teilweise abstruse Konstruktionen wieder verworfen wurden (Hahne 2005, 142). In dieser Phase waren es Förderprogramme einzelner Bundesländer, Energieversorger und/oder Steuererleichterungen (für Private) bzw. Investitionszulagen (Gewerbe) des Bundes, welche die Verbreitung der Solarthermie förderten (vgl. Kapitel 4.4.2). Die Schwimmbadabsorber[205] trugen in der Vorphase einen erheblichen Teil zur Nachfrage bei, wurden jedoch vom Bund nie gefördert, da sie in der Regel wirtschaftlich waren.

Der Markt entwickelte sich ab Mitte der 1970er Jahre zunächst langsam, denn die neue Technologie steckte noch in den Kinderschuhen und war so vor allem für mutige und solvente Pionieranwender interessant. Installationsdaten sind ab 1975 verfügbar. Danach wurden im Jahr 1975 rund 8.000 m² Kollektorfläche installiert. In den Folgejahren stieg die jährlich installierte Fläche bis zu einem ersten Höhepunkt 1982 deutlich an (vgl. Abbildung 4-2). Wie auch bei den Wärmepumpen kam es danach zu einem ersten Entwicklungsknick, da einerseits die Ölpreise nach der 2. Ölkrise 1979 wieder deutlich gefallen waren und andererseits der Ruf der noch jungen Technik durch Funktions- und Qualitätsmängel wie Undichtigkeiten, Korrosion oder vergilbte Kunststoffabdeckungen beschädigt wurde. Zudem verstärkte sich die Konkurrenz mit Wärmepumpen, deren Einsatz von der Stromwirtschaft beworben und durch Anreize gefördert wurde (vgl. Kapitel 5.3.3). Der Nachfragerückgang bewirkte eine Marktbereinigung: Von 150 Großanbietern von Solarkollektoren blieben nur ca. zehn mittelständische Unternehmen übrig (Stryi-Hipp 2005, 174). Die Nachfrage blieb daraufhin für einige Jahre auf geringem Niveau.

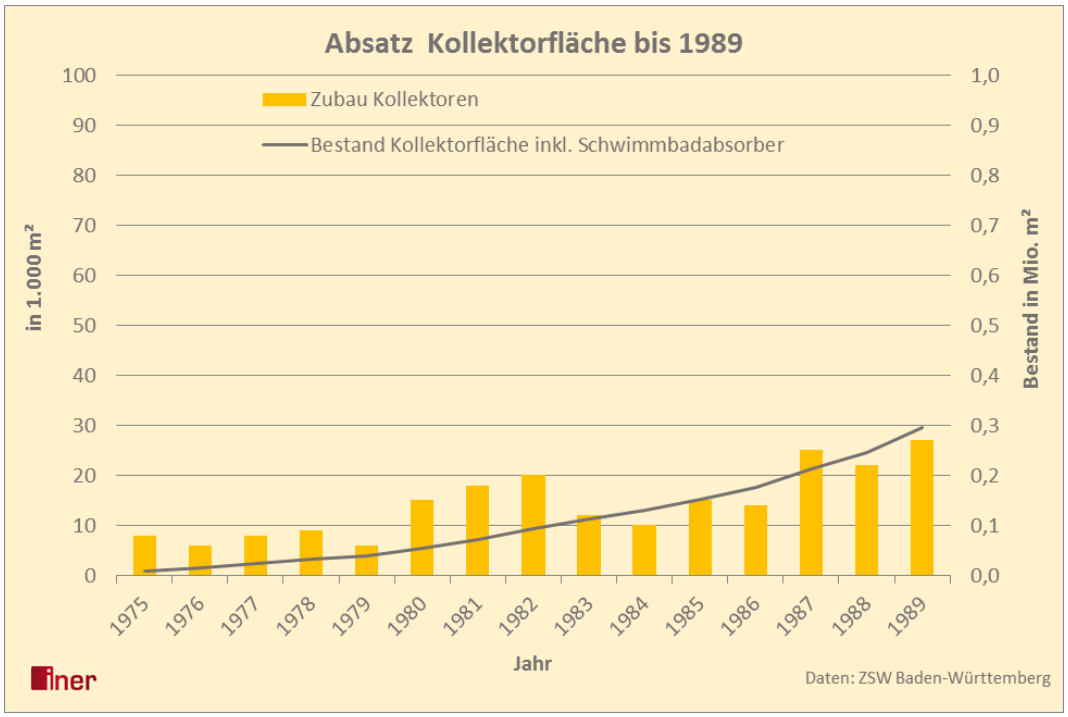


Abbildung 4-2: Marktentwicklung Solarthermie Vorphase 1975 bis 1989

[205] Einfach aufgebaute Anlage aus einem simplen, direkt durchströmten schwarzen Foliensolarkollektor, der das Badewasser im Umwälzbetrieb erwärmt.

4.4 Phase 1990 bis 1998: Allmählicher Aufschwung

Die anfängliche Euphorie in den 1970ern war Mitte der 1980er einer Ernüchterung gewichen: Die nach dem fulminanten Interesse der umweltbewegten Anwender erwartete kommerzielle Nachfrage blieb aus. Der Eintritt in den Markt verlief auf niedrigerem Niveau als erhofft. Ende der 1980er Jahre sorgte ein schwacher positiver Zubautrend wieder für eine optimistischere Stimmung, auf die der weitere Innovationsprozess in den 1990ern aufsetzen konnte.

4.4.1 Technologieentwicklung

4.4.1.1 Flachkollektoren auf dem Weg zur Reife

Bei Flachkollektoren erfolgte bis etwa zur Mitte der 1990er Jahre eine Umstellung von Vollflächen-Plattenabsorber auf Absorberfinnen, d. h. einzelne Blechstreifen mit einem aufgelöteten Kupferrohr statt einteiliger Metallplatten mit aufgelöteten Kupferrohrschlangen. Aufgrund gesunkener Preise wurde wieder verstärkt auf Kupfer statt Aluminium gesetzt, was wegen der besseren Wärmeleitung auch eine Leistungssteigerung mit sich brachte. Da der Verarbeitungsaufwand der Absorberfinnen höher war, war damit ein zunehmende Professionalisierung und Automatisierung verbunden (z. B. Laser- und Ultraschallschweißen). Nach 1995 fand jedoch eine Rückbesinnung auf die schon zuvor verwendeten Vollflächen-Plattenabsorber statt, da nunmehr die Rohre automatisiert mit dem Blech verbunden werden konnten (Remmers 2000, 96). Wegen deutlich gestiegener Kupferpreise wurde dabei wieder verstärkt auf Aluminium gesetzt. Bei der Modulgröße bildete sich eine Standardgröße von 2 bis 2,5 m² heraus.

Ab Mitte bis Ende der 1990er Jahre wurden die galvanischen Beschichtungen durch weniger energieaufwendige aufgedampfte und ungiftige Beschichtungen aus Titan-Nitrid-Oxid (ab 1995) bzw. Interpane Sunselect (ab 1998) ersetzt (Remmers 2000, 96), die u. a. im Rahmen des schweizerischen Forschungsprojekts „Absorber 2000“[206] (Frei & Frey o.J., 1) sowie an der Universität München (BINE Informationsdienst 1999, 2) entwickelt wurden. Diese Beschichtungen verbesserten gegenüber der anfänglichen einfachen Schwärzung oder Schwarzlack die Umwandlung der kurzwelligen Sonnenstrahlung in langwellige Wärmestrahlung und reduzierten gleichzeitig das Abstrahlverhalten.

Optimiert wurden zudem die Isolierungen unter dem Plattenabsorber bzw. an den Außenkanten des Kollektors, um die Wärmeverluste zu verringern. Durch das Einbringen von speziellen UV-Absorbern[207] bei der Kunststoffverarbeitung konnte die Lebensdauer von Kunststoffabdeckungen bis zu 20 Jahre (BASF 22.06.2010) gesteigert werden. Verfahrenstechnische Verbesserungen wurden auch bei der Abdichtung von Rahmen und Abdeckscheibe (Verklebung oder Verpressung statt Klemmung) und bei den verwendeten Isolierstoffen vorgenommen.

4.4.1.2 Vakuumröhrenkollektoren als effizientere Alternative

Eine Weiterentwicklung des Vakuumröhrenkollektors fand Anfang der 1990er Jahre mit dem sogenannten „Sydney“-Kollektor statt (microsol Solarsysteme 09.01.2012). Dort wird das Vakuum in einer nun doppelwandigen Glasröhre erzeugt (Thermoskannenprinzip bzw. Teilvakuumröhre). Das Wärmemedium strömt nicht mehr direkt durch den evakuierten Teil der Glasröhre, sondern durch einen in die vakuumfreie innere Röhre eingeschobenen Absorber. Dieser Absorber besteht aus einem Alumi-

[206] Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft 1993 an die Universität Basel (Institut für Physik).

[207] Zum Beispiel Triazine, Benztriazole, Benzophenone, Cyanoacrylate.

nium- oder Kupferblech, welches die Wärme aufnimmt und an ein aufgeschweißtes Rohr weiterleitet. Als U-Rohr wird dies entweder ständig vom Wärmeträgermedium durchströmt oder die Wärme wird über ein Wärmerohr (engl. Heatpipe) aus der Glasröhre herausgeführt und erst dann an das umlaufende Wärmeträgermedium abgegeben. Unterhalb der Glasröhre ist ein Reflektor aus Aluminium (CPC-Spiegel)[208] montiert, der die einfallende Strahlung auf den Absorber in der Glasröhre fokussiert und so die diffuse Strahlung besser ausnutzt. Die Effizienz dieser Teilvakuumröhre ist etwas niedriger als bei der Vollvakuumröhre, was jedoch in der Praxis keine große Rolle spielt. Voll- und Teilvakuumröhren werden nebeneinander angeboten, wobei die Teilvakuumröhre – vor allem aus chinesischer Fertigung – den Markt dominiert. Unterschiede gibt es auch bei der Konstruktion der Absorber und dem verwendetem Wärmeträgermedium (Wasser oder Glykol).

4.4.1.3 Zentrales Element Wärmepufferspeicher

Ein zwingendes und bedeutungsvolles technisches Element bei Solaranlagen sind Wärmespeicher, um Dargebots- und Nachfrageschwankungen auszugleichen. Deren Weiterentwicklung konnte die Entwicklung der Solarthermie befördern, da eine hohe Anlageneffizienz wesentlich vom Zusammenspiel mit dem Wasserspeicher (Beladungsstrategie, Wärmeverluste) abhängt. Als Speichermedium wird bislang nahezu in allen Fällen kostengünstiges Wasser genutzt. Die Wassermenge bzw. Größe des Speichers bemisst sich an der Kollektorfläche und am Warmwasser- bzw. Heizwasserbedarf. Darüber hinaus wird seit vielen Jahren an alternativen Speichertechniken (Latentwärme-, Erdwärme- oder Vakuumspeicher) und Langzeitspeichern geforscht, die eine höhere Speicherdichte und/oder geringere Wärmeverluste aufweisen. Wegen hoher Kosten und technischen Herausforderungen konnten sich diese Alternativen über wenige Pilotprojekte hinaus bislang nicht in der Breite durchsetzen.

Bei der Beladestrategie von Wasserspeichern waren insbesondere Probleme mit der thermischen Schichtung des Wassers durch experimentelle Versuche zu lösen. Letztlich musste das gesamte Zusammenspiel von Kollektoren, Wasserspeichern und Heizkessel besser verstanden und Experimente für die Anwendungspraxis kontinuierlich optimiert werden. Ein besonders kritischer Punkt bei allen Wärmespeichern sind die Wärmeverluste, denen mit immer besserer Dämmung und konsequenter Ausschaltung von Wärmebrücken (Anschlüsse) begegnet wurde. Trotzdem kühlt ein beladener Wasserspeicher im Gebäude üblicherweise in wenigen Tagen aus.

4.4.2 Politische Impulse, Förderung und Entwicklung des rechtlichen Rahmens

4.4.2.1 Forschungsförderung auf EU-Ebene

Die vor 1990 entwickelten Ansätze gingen in den Forschungsförderprogrammen JOULE II (1990-1994) ALTENER (1998-2002), THERMIE (1990-1994), JOULE-THERMIE (1994-1998) und SAVE (1993-2004) auf. In diesen Programmen konnten neben anderen nicht-nuklearen Energieprojekten[209] *auch* Solarthermie-Projekte gefördert werden. Diese standen jedoch nicht im Fokus. Das Programm THERMIE legte den Schwerpunkt auf Technologieverbreitung durch Demonstrationsvorhaben und unterstützte einzelne Aktivitäten auf nationaler Ebene. Obwohl auch in Deutschland Demonstrationsprojekte aus dem THERMIE-Programm gefördert wurden, entwickelte die EU-Förderung keine treibende Kraft für die Verbreitung erneuerbarer Wärmetechnologien. Ihre Fördersumme war in Relation zum umfassenden Förderspektrum relativ gering (Marks 2001, 94f.).

---

[208] Compound Parabolic Concentrator.

[209] Dazu gehörten fossile Energieträger ebenso wie Wind, Solar, Biomasse und Geothermie.

4.4.2.2 Förderung von Forschung und Entwicklung auf Bundesebene

Zur Forschungsförderung wurde 1993 bis 2003 das Programm Solarthermie 2000 vom BMF aufgelegt, ging zwischen 1998 und 2002 ans BMWi über und war dann beim Bundesumweltministerium angesiedelt. Ziel war es, die Entwicklung der Technik solarthermischer Großanlagen und die Einrichtung von Demonstrationsanlagen zu fördern. Ferner sollte unter Einbeziehung von Ergebnissen aus allen drei Programmschwerpunkten die Transformation von der reinen Nutzung in Einzelgebäuden hin zu lokalen Wärmenetzen vorangetrieben werden (Marks 2001, 102). Diese Schwerpunkte waren:

- Langzeitverhalten thermischer Solaranlagen
- Große solarthermische Anlagen auf öffentlichen Gebäuden
- Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher (Mangold & Peuser 2003, 2).

Ab dem Jahr 1994 wurden vom Bund Solarthermieanlagen über die Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien direkt durch einen Zuschuss gefördert. Eine alternative Abschreibung über 10 Jahre mit individuellem Grenzsteuersatz wie noch beim „Gesetz zur Förderung der Modernisierung von Wohnungen und von Maßnahmen zur Einsparung von Heizenergie (ModEnG)“ von 1978 war nicht mehr möglich.

Parallel war die Förderung der Bundesländer aber vom Umfang her wesentlich bedeutsamer, da diese zwischen 1991 und 1998 rund 352 Mio. DM (180 Mio. Euro) Fördermittel für Solarthermie zur Verfügung stellten (Staiß 2003), deutlich mehr als die rund 23,5 Mio. DM (12 Mio. Euro), die vom Bund über die Förderrichtlinie zwischen 1994 und 1998 ausgegeben wurden.

4.4.2.3 Zuschüsse für Heizungsanlagen in Gebäuden auf Landesebene

In Baden-Württemberg wurde im Jahr 1991 ein Programm zur Förderung von Solarthermieanlagen aufgesetzt. Im Rahmen des Programms konnten Verbraucher für eine Solarthermieanlage 1.500 DM an Zuschüssen beantragen. Das Programm, das bis ca. 1999 lief, war laut Auskunft des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg ein Erfolg (Lorinser 17.03.2014).

In *Berlin* verabschiedete die rot-grüne Landesregierung am 02. Oktober 1990 ein Energiespargesetz (BEnSpG) (siehe auch Kapitel 4.5.3.3). In der novellierten Fassung von 1994 wurde der Senat ermächtigt, eine Solaranlagenverordnung zu erlassen. Mit der Verordnung[210] sollte eine Regelung des Berliner Energiespargesetzes umgesetzt werden, wonach in „Neubauten (...) 60 % des zu erwartenden Jahreswarmwasserbedarfs über thermische Solaranlagen zu decken sind“ (§ 24 Abs. 4 BEnSpG). Eine solche Vorgabe über eine Verordnung umsetzen zu wollen, stellte ein Novum dar und erregte bundesweit Aufmerksamkeit. Die Solaranlagenverordnung wurde 1995 zwar vom Abgeordnetenhaus verabschiedet, aber von Bausenator Jürgen Klemann auf massiven Druck der Bau- und Immobilienwirtschaft letztlich nicht unterschrieben[211], sodass sie nicht in Kraft treten konnte. Damit scheiterte zunächst die Hoffnung, eine rechtsverbindliche solare Baupflicht im Wohnungsbau verankern zu können. Ersatzweise stimmte die Bau- und Immobilienwirtschaft 1997 einer Selbstverpflichtung „Freiwillige Vereinbarung zur CO_2-Minderung und zur Verbreitung von Solaranlagen“ zu, blieb deren

[210] Der Entwurf der Berliner Solaranlagenverordnung geht auf Prof. Rogall zurück. In den 1990er Jahren entwickelte er die Berliner Solaranlagenverordnung, die seinerzeit einen Meilenstein für die gesetzliche Einführung einer solaren Baupflicht im Wohnungsbau darstellte.

[211] Bausenator Kleemann verweigerte die Unterschrift mit der Begründung, dass durch die Verordnung Preissteigerungen beim Bauen um 1 bis 2 % zu befürchten seien (Jannsen 2005, 78; Solarserver 2006). Vgl. auch BauNetz 12.12.1996 sowie Poetter 17.10.1995.

Umsetzung aber schuldig.[212] Das Scheitern des Vorreiter-Projekts „Berliner Solaranlagenverordnung“ entmutigte vergleichbare Initiativen und führte bundesweit zu einem erheblichen Rückschlag.

4.4.3 Akteure der solarthermischen Wärmeerzeugung

4.4.3.1 Die Rolle des Handwerks

Das Handwerk ist die zentrale Schnittstelle zwischen Hersteller und Anwender. In den 1990er Jahren gab es nur eine begrenzte Zahl von Handwerksbetrieben, die auf die Installation und Integration von Solarthermieanlagen[213] spezialisiert waren. Da die Installation von Sonnenkollektoren nicht Bestandteil der regulären Fachausbildung war, hing es in starkem Maße vom Engagement einzelner Betriebe ab, sich das notwendige Fachwissen (häufig berufsbegleitend) anzueignen. Solarfirmen boten entsprechende Fortbildungen an, die zugleich der „Kundenbindung“ dienten. Verbände (z. B. ASEW) oder einzelne Energieberatungen in den Ländern boten aber auch herstellerunabhängige Fortbildungen an. Eine Qualitätssicherung der Aus- und Fortbildung war nicht etabliert. Ergebnisse der Forschung, die sich mit Ertragskontrollverfahren befasste, drangen nur langsam in die Praxis durch. In der Praxis war es nicht selten, dass die Handwerksbetriebe die Dimensionierung der Anlagen falsch einschätzten und/oder die Anlagensteuerung nicht optimal an das Verbrauchsverhalten der Haushalte anpassen konnten. In diesen Fällen kam es zu negativen Rückmeldungen, da die Anlagen bei mangelhafter Einbindung in den Heizkreislauf nur wenig oder gar nicht zur Öl- oder Gassubstitution bzw. zur Energieeinsparung beitrugen. Eine kritische Evaluierung der Installationspraxis lag aber weder im Interesse der Hersteller noch des Handwerks und unterblieb daher.

4.4.3.2 Impulse nationaler Verbände und Interessensgruppen

Das Phönix-Projekt – eine Initiative des Bundes der Energieverbraucher

Solarthermieanlagen waren zu Beginn der 1990er noch sehr teuer, insofern war es ein zentrales Ziel der Anwender, Kostensenkungen herbeizuführen. 1994 rief der Bund der Energieverbraucher e. V. (BDE) das „PHÖNIX“[214] Solarprojekt ins Leben (BDE 2002). Ziel war es, durch hohe Stückzahlen, Eigeninstallation und Umgehung des Zwischenhandels die Kosten für Solarthermieanlagen zu senken.[215] Die Herstellung der drei zur Auswahl stehenden Kollektortypen wurde ausgeschrieben, um die Produktionskosten zu senken. Durch den kostengünstigen Direktbezug konnten die Preise um ein Drittel gegenüber anderen kommerziellen Anbietern gesenkt werden. Nach Angaben des BDE wurde der Zuwachs beim Bau von Solaranlagen auf über 20 % gesteigert und der Solarmarkt deutlich belebt. Das Projekt lief bis zum Jahr 2002. Der BDE betrachtet das Phönix-Projekt mit „fast 20.000 solarthermischen Anlagen“ als Erfolg. Zeitweise sei es der größte Anbieter mit einem Marktanteil von rund 20 % gewesen.[216] Das Phönix-Projekt professionalisierte sich Ende der 1990er Jahre als Phönix-AG und

---

[212] Vgl. Jannsen (2005, 78); die Selbstverpflichtung lief 2002 aus.

[213] Die Konzeption und Montage von Solarthermieanlagen erfordert Kenntnisse in den Bereichen Technikgrundlagen, Anlagenplanung und Ertragsprognose, Baurecht, Normen und Regeln der Technik, Bausysteme, hydraulische Installation, Inbetriebnahme und Einbindung in hydraulische Systeme, Wärmemengenzähler sowie Kosten und Wirtschaftlichkeitsprognosen.

[214] Weiterführung der Aktivitäten ab 1999 durch die Phönix Sonnenwärme AG (Berlin). Markenrechte am Namen Phönix wurden 2001 auch der Phönix Sonnenstrom AG übertragen (Phoenix Solar 10.12.2013; PHÖNIX SonnenWärme AG online).

[215] Die Anlagen wurden durch Ausschreibung unter allen Solaranlagenanbietern direkt bezogen. Bis zu 500 ehrenamtliche Phönix-Fachberater unterstützten die Interessenten anschließend bei Planung und Umsetzung.

[216] Bund der Energieverbraucher 08.08.2002; Bund der Energieverbraucher 22.03.2012.

wurde zu einem kommerziellen Anbieter, da die semiprofessionellen Strukturen für die erreichten und noch anvisierten Dimensionen nicht mehr ausreichten.

Den Versuch, mit dem Phönix-Projekt einen Marktdurchbruch zu erreichen, beurteilten die Solarverbände kritisch.[217] Das Projekt hat nach Auffassung der Verbände die professionellen Anbieter massiv im Marktaufbau gestört. Negative Rückmeldungen über die Anlagen, zumeist verursacht durch fehlerhafte Auslegung und Installation, wirkten sich nachteilig auf das Image aus. Anzuerkennen sei aber, dass das Projekt den Druck auf die Branche erhöhte, leicht zu installierende Paketlösungen anzubieten. Dadurch trug es dazu bei, Kostensenkungspotenziale schneller zu erschließen (Stryi-Hipp 2005, 176).

Überkommunale Aktivitäten der ASEW in Rahmen der Forschung

Im Rahmen des EU-Förderprogramms THERMIE entwickelte die ASEW[218] 1993 ein Garantiemodell, das Unsicherheiten über die Leistungsfähigkeit der Technologie abbauen und Investitionsrisiken der Anlagenbetreiber senken sollte (Marks 2001, 146). Das von der ASEW initiierte Projekt "GRS – Garantierte Resultate aus Solaranlagen" brachte einen Durchbruch: In den beteiligten Einzelprojekten wurde die Machbarkeit – bedarfsgerechte Auslegung und zielkonforme Energielieferung – nachgewiesen. Dies stärkte das Vertrauen in die Technik. Dieses Projekt blieb jedoch das einzige Projekt der ASEW im Bereich Solarthermie.

Übergreifender Forschungsverbund

Auf Anregung des Bundespräsidenten Richard von Weizsäcker wurde 1990 der *ForschungsVerbund Sonnenenergie (FVS)* gegründet. Er sollte bestehende Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten im Bereich solarer Energienutzung bündeln und ihnen eine langfristige Perspektive geben. 1997 fand eine Jahrestagung des Forschungsverbunds zum Thema „Solare Gebäudetechniken" statt. Sie adressierte zukunftsweisende gebäudeintegrierte Formen der solaren Wärmeerzeugung. Das Forschungsinteresse richtete sich damit auf Fragestellungen, die über den Kollektor als Wärmeerzeugungsanlage hinausgingen. Ergänzend wurden Formen der passiven Nutzung von Solarwärme und eine entsprechende Gebäudegestaltung thematisiert, die innovative Gebäudetechnologien erforderten (u. a. verbesserte Licht- bzw. Wärmedurchlässigkeit von Fenstern, Dämmmaterialien, Fassaden etc.). Parallel befasste sich die Forschung zunehmend mit der solaren Stromerzeugung. Für die Solarthermie gingen vom Forschungsverbund keine spezifischen Impulse aus.

Verlagerung des Forschungsinteresses

Innerhalb der mit Solarforschung befassten Institute und Universitäten verlagerte sich das Forschungsinteresse auf die solare Stromerzeugung – mithin auf PV und die Hochtemperatur-Solarthermie. Die Forschungsförderung für Niedertemperatur-Solarthermie fiel im Vergleich zur PV-Förderung deutlich geringer aus. Diese Schere sollte sich im weiteren Verlauf zunehmend öffnen. Die bessere finanzielle Ausstattung der Hochtemperatur-Solarthermie und PV-Forschung versprach größere Profilierungsmöglichkeiten für die Institute, sodass das Fraunhofer ISE und auch das DLR die

---

[217] Solarhändler und Hersteller sahen sich durch Preisdumping, Ausschaltung des Handels und ehrenamtliche, unbezahlte Tätigkeit in ihrer Existenz bedroht: Phönix mache die Preise kaputt und zerstöre das, was in jahrelanger Arbeit aufgebaut worden ist, so die kritische Reaktion der Solarverbände.

[218] Arbeitsgemeinschaft kommunaler Versorgungsunternehmen zur Förderung rationeller, sparsamer und umweltschonender Energieverwendung und rationeller Wasserverwendung. Heute: Arbeitsgemeinschaft für sparsame Energie- und Wasserverwendung im Verband kommunaler Unternehmen (VKU). Hier erfüllt die ASEW Informations- und Beratungsaufgaben für kommunale Unternehmen.

Niedrigtemperatur-Solarthermie-Forschung ab Mitte der 1990er nur noch als einen Nebenzweig der Solarforschung weiterbetrieben. In der Zeit entwickelte das 1993 gegründete *Forschungs- und Testzentrum für Solaranlagen (TZS)* am Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart verstärkten Anwendungsbezug. Als größtes Prüfzentrum für thermische Solartechnik in Deutschland trug es unter der Leitung von Prof. Hahne zum Innovationsfortschritt durch die Entwicklung der heute gültigen Normen und Prüfverfahren bei und ebnete den Weg für die Diffusion und das Marktwachstum der Solarthermie-Anlagen ab Ende der 1990er Jahre.[219]

Parallel zu den genannten Forschungseinrichtungen im süddeutschen Raum[220] verfolgte auch das 1987 gegründete Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH)[221] die Solarthermie-Forschung weiter. Das ISFH spezialisierte sich auf anwendungsbezogene Forschungsthemen wie Ertragskontrollverfahren für solarthermische Anlagen sowie die Entwicklung von solarthermisch unterstützten Wärmepumpensystemen mit Erdreichkopplung.

Organisationen für Beratung und Wissenstransfer in den 1990ern

Der Wissenstransfer fand weiterhin durch Informationsveranstaltungen, Tagungen auf Messen oder durch „Lehrfahrten“ statt. Er wurde weiterhin zunächst durch die Solarverbände geleistet, zunehmend übernahmen aber auch professionalisierte Fortbildungseinrichtungen aus dem EE-Bereich diese Aufgabe.

4.4.4 Regulierung unerwünschter Umwelteffekte als Triebkraft

Die Solarthermie hatte zunächst ein „sauberes“ Image, allein die Beschichtungen waren unter Umweltaspekten problematisch. Aufgrund der verbesserten Strahlungsaufnahme lösten ab Mitte der 1970er Jahre galvanische Beschichtungen (Schwarzchrom oder alternativ: Schwarznickelbeschichtungen) die bis dato verwendete schwarze Farbe ab. Galvanische Beschichtungen bewährten sich aufgrund ihrer Robustheit und erwiesen sich auch unter extremen klimatischen Bedingungen als korrosionsbeständig (Köbbemann-Rengers 2007, 42). Jedoch war die Verwendung von sechswertigem Chrom (Chrom VI) bzw. Nickel in Galvanikprozessen aufgrund der Umweltschädlichkeit höchst problematisch. Von Cr(VI)-Verbindungen[222] ging eine so starke Gesundheitsgefährdung aus, dass sowohl aufwendige und kostenintensive[223] Maßnahmen zum Gesundheitsschutz der Arbeiter als auch aufwendige Vorkehrungen zur Reinigung der schwermetallhaltigen Abwässer notwendig wurden. Diese Kosten, aber auch das Interesse an einem „sauberen“ Image der Solarenergie und ein sich abzeichnendes Verbot der Verwendung von Chrom VI bewogen die Hersteller zur Entwicklung neuer Verfahren. So wurden ab Mitte der 1990er Jahre neue Beschichtungsmaterialien (z. B. Titanoxinitrid-Beschichtungen) und neue Verfahren zu deren Aufbringung[224] entwickelt. Im Vergleich zu Schwarz-

---

[219] Zur Selbstdarstellung des IWR vgl. http://www.itw.uni-stuttgart.de/; zur Erläuterung der Prüfverfahren vgl. http://www.baunetzwissen.de/standardartikel/Solar_Institut-fuer-Thermodynamik-und-Waermetechnik-ITW-_166215.html (letzter Zugriff 18.08.2014).

[220] Universität Stuttgart, Fraunhofer ISE.

[221] Das ISFH ist ein An-Institut der Leibniz Universität Hannover und ist eine gemeinnützige GmbH. Das Land Niedersachsen ist alleiniger Gesellschafter.

[222] Cr(VI)-Verbindungen sind mutagen und schädigen die DNA. Sie gelangen über die Atemwege in den Körper und schädigen das Lungengewebe. Menschen, die chronisch solchen Verbindungen ausgesetzt sind, haben ein erhöhtes Risiko für Lungenkrebs.

[223] Die Kosten für Gesundheitsschutz und Abwasseraufbereitung können bis zu 50 % der Herstellerkosten ausmachen.

[224] Mithilfe eines Kathoden-Zerstäubungsverfahrens, dem sogenannten Sputtern, wird der Absorber im Vakuum mit einer metallisch-keramischen Schicht (z. B. auf Kupfer aufgebrachte Titanoxinitrid-Beschichtungen sowie keramische Beschichtungen) überzogen (vgl. Solarserver 2010).

chrombeschichtungen waren die neuen Materialien und Verfahren signifikant weniger belastend für Luft und Abwasser. Flankiert von den Aktivitäten der EU zur Vorbereitung einer Richtlinie[225], die den Einsatz gefährlicher Stoffe europaweit einschränken sollte, brauchte es jedoch noch einige Zeit, um die bis dahin marktbeherrschenden, umweltschädlichen Vorläufer abzulösen. Zu einer Breitenanwendung kam es erst in der folgenden Phase.

4.4.5 Markt- und Kostenentwicklung

4.4.5.1 Solaranlagen mit geringer Wirtschaftlichkeit

Insbesondere die Solarthermie hat trotz überwiegend positivem Image mit systembedingten wirtschaftlichen Nachteilen zu kämpfen, die in der saisonal bedingten großen Schwankungsbreite der Einstrahlung in Deutschland liegen. Der größte Teil der nutzbaren Sonneneinstrahlung tritt im Sommerhalbjahr auf, wenn der Wärmebedarf relativ gering ist und sich auf den Warmwasserbedarf (Brauchwasser) beschränkt. Dessen Anteil am Gesamtwärmebedarf liegt in den für Solaranlagen typischen Ein- und Zweifamilienhäusern nur bei 10-20 %. Eine solarthermische Anlage kann in Bestandsgebäuden etwa die Hälfte des jährlichen Warmwasserbedarfs bereitstellen. Bei besser gedämmten Neubauten (ab 2009) liegt dieser Anteil mit 60-70 % etwas höher, weil der Warmwasserbedarf einen höheren Anteil am Gesamtwärmebedarf ausmacht (BSW 2012, 59).

Hohe Anfangsinvestitionen und vergleichsweise geringe jährliche Brennstoffeinsparungen bei Erdgas oder Heizöl stellen eine Einstiegshürde für potenzielle Investoren dar, zumal immer ein Backup-System für die Wärmeerzeugung benötigt wird. Die spezifischen Wärmegestehungskosten lagen, insbesondere bei schlecht geplanten oder ausgeführten Anlagen und/oder schlechtem Preis-Leistungs-Verhältnis, deutlich über den Wärmekosten einer Gas- oder Ölheizung. Die Gründe für die oft schlechte Wirtschaftlichkeit sind vielschichtig, oft wurde jedoch schon bei der Anlagenplanung keine echte Kostenvergleichsrechnung angestellt und im Betrieb die tatsächlichen Wärmeerträge mangels Wärmezähler auch nicht erfasst bzw. kontrolliert.

4.4.5.2 Langsames Marktwachstum bei Solarthermie

Bereits gegen Ende der 1980er Jahre kam es wieder zu einem leichten und ab 1991 zu einem deutlicheren Marktwachstum, nachdem zum einen Solarkollektoren in Vergleichstests nunmehr eine gute Effizienz und Haltbarkeit bescheinigt wurde (vgl. Kapitel 4.4.1) und zum anderen Fördermaßnahmen einzelner Bundesländer und des Bundes die Nachfrage stimulierten. Die Bundesförderung ab 1994 hatte dabei zunächst nur eine untergeordnete Bedeutung, da bis 1998 umgerechnet insgesamt nur rund 12 Mio. Euro für Solarthermieförderung ausgegeben wurde. Ab 1995 war als Fördervoraussetzung beim Bund auch ein Kollektormindestertrag von 350 kWh/m² und Jahr erforderlich, sowie eine solarer Deckungsanteil von mindestens 40 % (bezogen auf Standort Würzburg).

Immer mehr sogenannte Selbstbaugruppen kamen hinzu, die die Kosten für den Kollektor und die Montage durch Eigenarbeit erheblich reduzieren konnten (vgl. auch Kapitel 4.4.3). Die verkaufte Kollektorfläche verzehnfachte sich im Zeitraum von 1991 bis 1998 von 35.000 m² im Jahr auf 350.000 m². Die insgesamt installierte Kollektorfläche stieg im gleichen Zeitraum von 300.000 m² auf rund 2,2 Mio. m².

[225] RL Vorschläge WEEE (2000/0158) über „Elektro- und Elektronikaltgeräte“ sowie ROHS 2000/0159 zur „Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in elektrischen und elektronischen Geräten“.

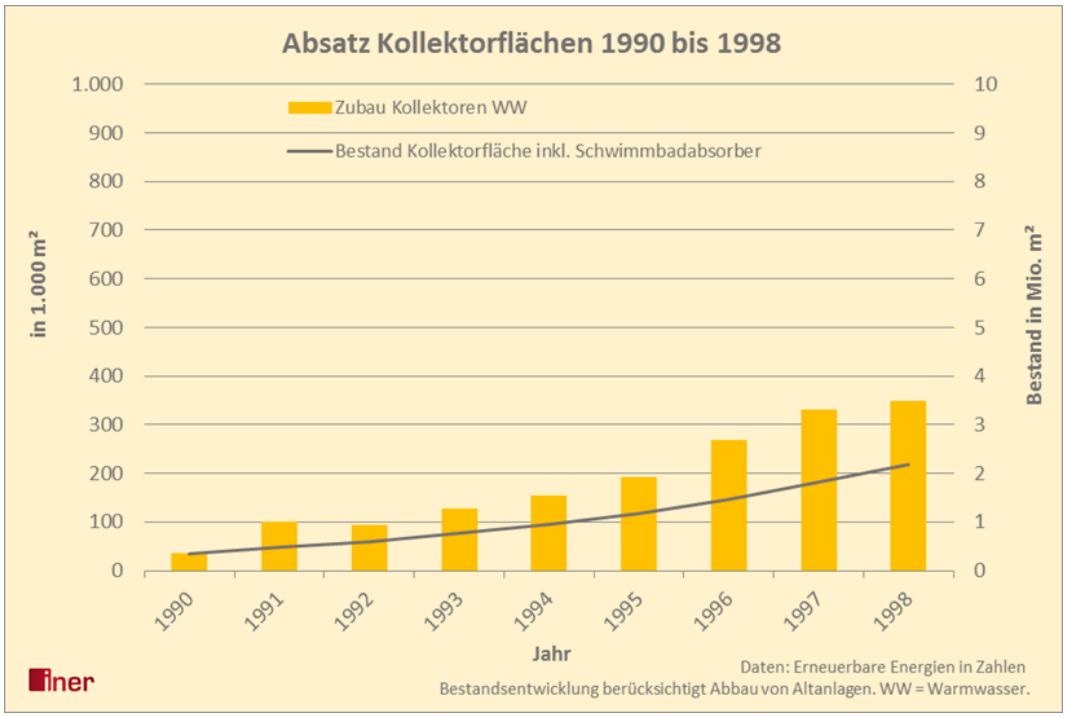


Abbildung 4-3: Marktentwicklung Solarthermie Phase 1990 bis 1998

Die spezifischen Kosten der Solarthermieanlage sanken in dieser Phase ca. um ein Viertel von durchschnittlich 2.100 $Euro_{2005}$/kW thermische Leistung auf 1.500 $Euro_{2005}$/kW. Bezogen auf einen Quadratmeter Kollektorfläche sanken die spezifischen Kosten von durchschnittlich 1.500 auf 1.000 Euro.

4.5 Phase 1999 bis 2008: Wachstum in der Nische

4.5.1 Technologieentwicklung

4.5.1.1 Flachkollektoren auf hohem technologischen Niveau

Die wesentlichen technologischen Entwicklungsfortschritte bei Flachkollektoren wurden bis Mitte der 1990er Jahre erzielt. Seitdem fanden vor allem Detailverbesserungen statt, sodass die Effizienzpotenziale bei Flachkollektoren als weitgehend ausgeschöpft betrachtet werden und eine deutliche Verbesserung der Wirkungsgrade nicht mehr erwartet wird (BSW 2012, 46). Die Qualität vieler Anlagen hatte ein gutes bis sehr gutes Niveau erreicht, das in weiteren Vergleichstests der Stiftung Warentest in den Jahren 1995, 1998 und 2002 nachgewiesen wurde. Seit Ende 2000 werden thermische Solaranlagen europaweit einheitlich nach der EN 12975 getestet und sind somit in den Ergebnissen vergleichbar.

Eine trotz weniger Anbieter noch in der Weiterentwicklung befindliche Variante der Flachkollektoren sind sogenannte photovoltaisch-thermische (PVT-)Hybridkollektoren, bei denen die Stromerzeugung und Wärmegewinnung kombiniert wird. Die auf den ersten Blick charmante Lösung (Steigerung der Flächenleistung, Kühlung der PV-Zellen durch Wärmeabfuhr) stellt sich jedoch bei näherer Betrachtung als technisch herausfordernd dar, zumal sich beide Nutzungen gegenseitig stören können. Um den Stromertrag zu steigern, müssen die Photovoltaikmodule in der Mittagszeit intensiv mit der Solarflüssigkeit gekühlt werden. Ist jedoch der Wärmespeicher dann bereits voll, fällt die Kühlung aus und die PV-Leistung sinkt deutlich in Abhängigkeit von der Modultemperatur (bei 130° Celsius nur noch etwa 50 %). Wirtschaftlich können PVT-Kollektoren derzeit noch nicht konkurrieren, zudem

müssen die Gesamtabstimmung noch verbessert und materialseitige Probleme gelöst werden (BINE Informationsdienst 2012, 4).

4.5.1.2 Leistungssteigerung bei Vakuumröhrenkollektoren

Eine Weiterentwicklung in der Solarthermienutzung war die Verwendung eines in die Vakuumröhre eingeschobenen Wärmerohres (Heatpipe). Die Mehrheit der Vakuumröhrenkollektoren nutzt heute das Heatpipe-Prinzip statt der direkten Durchströmung mit Solarflüssigkeit in einem U-Rohr.

Die zuerst eingeführten direkt durchströmten Vakuumröhren verwendeten – wie bei Flachkollektoren grundsätzlich notwendig – als Wärmeträgerflüssigkeit eine Wasser-Glykol-Mischung, damit der Frostschutz gewährleistet war. Je höher der Glykolanteil, umso höher liegen der Siedepunkt und der Frostschutz des Wärmeträgermediums. Leider sinkt dadurch die Wärmeübertragungskapazität und Wärmeleitfähigkeit deutlich. Zudem steigt durch die höhere Viskosität der Pumpenergieaufwand deutlich an. Bei zu hohen Temperaturen (200°C und mehr bei Anlagenstillstand möglich) kann sich das Glykol zersetzen (cracken). Für eine hohe Wärmeübertragungskapazität wird die Solarflüssigkeit daher so eingestellt, dass in der jeweiligen Region ein ausreichender und nicht zu hoher Frostschutz gewährleistet ist.

Im Gegensatz zu Flachkollektoren kann bei Vakuumröhrenkollektoren mit direkt durchströmten Absorbern oder Heatpipes auf Glykol als Frostschutz verzichtet und ausschließlich Heizwasser als Wärmeträgermedium genutzt werden. Für den Frostschutz wird stattdessen bei Bedarf wärmeres Wasser durch die Absorber gepumpt, wofür nach Angaben eines Herstellers aufgrund der Vakuumisolierung nur 0,5 bis 3,5 % des Kollektor-Jahresenergieertrages (25 bis 60 kWh/a bei typischen EFH-Anlagen) notwendig sind (Paradigma Deutschland GmbH).[226] Im Vergleich zu den Wärmeverlusten üblicher Wasserspeicher im Bereich von über 600 kWh/a wird dieser Aufwand als nahezu unbedeutend angesehen. Diese Form des Frostschutzes wurde 2003 unter dem Label „Aqua-System“ zuerst von der Firma *Paradigma* eingeführt und seitdem von weiteren Anbietern übernommen. Wesentliche Vorteile sind die direkte Einbindung in den Heizkreislauf, deutlich höhere Effizienz der Anlage und (bei richtiger Auslegung) Unempfindlichkeit gegen Übertemperaturen.

4.5.1.3 Große Solarwärmeanlagen mit saisonaler Speicherung

Neben den bei Einzelanlagen eingesetzten Kurzzeit-Wasserspeichern wurden zwischen 1995 und 2008 im Rahmen der Forschungsprogramme Solarthermie-2000 / Solarthermie2000plus (vgl. auch Kapitel 4.5.2) insgesamt 11 Projekte mit saisonalen Wärmespeichern in zentralen, solar unterstützten Wärmeversorgungen für größere Wohngebiete realisiert.[227] Dabei wurden verschiedene Speichertypen/-kombinationen umgesetzt: Wassertank (4), Erdbecken (4), Erdsonden (3) und Aquifer (1). Diese Pilotprojekte zeigten, dass die saisonale Wärmespeicherung im großen Maßstab anwendbar ist und funktioniert. Dennoch sind diese Speichertechnologien noch im Entwicklungsstadium und eine Standardbildung ist noch nicht zu erkennen (Mangold 2006, 4). Auch ohne saisonale Speicherung stellen große Solarwärmeanlagen (>100 m²) schon eine aussichtsreiche Möglichkeit dar, zumindest Trinkwasser wirtschaftlich zu erwärmen.

---

[226] Bei Flachkollektoren sind die Wärmeverluste deutlich größer, sodass sich diese Technik nicht energetisch sinnvoll nutzen lässt.

[227] Vgl. WWW.SAISONALSPEICHER.DE (Abruf 02.12.2013).

4.5.2 Politische Impulse und Entwicklung des rechtlichen Rahmens

Wie bei den biogenen Festbrennstoffen blieben die politischen Impulse der EU zur Steigerung der solarthermischen Wärmeerzeugung vage. Zwar wird vermehrt auf den Ausbau der erneuerbaren Wärme hingewiesen, konkrete Ziele oder gar gesetzliche Vorgaben gab es hinsichtlich der Solarthermie nicht.[228]

4.5.2.1 Solarthermie in der Forschungsförderung

Das „4. Programm für Energieforschung und Energietechnologien“ setzte im Bereich der erneuerbaren Energien den Fokus auf Photovoltaik. Die Förderung der „großen“ Solarthermie kam – noch vor der Windkraft – an zweiter Stelle. Zwischen den Jahren 1996 und 2005 umfasste der Gesamtforschungsetat für erneuerbare Energien 536,8 Mio. Euro. Davon entfielen auf die Niedertemperatur-Solarthermie 41 Mio. Euro (17,4 % der Fördersumme). Der Hauptforschungsbereich insgesamt lag aber mit einem Fördertopf von rund 1 Mrd. Euro im Bereich der Kernenergie. Werden die Inflationsrate und wiederkehrende Kürzungspläne mit einberechnet, stagnierten die Forschungsmittel in dieser Zeit – trotz einer leichten Aufstockung (Marks 2001, 100).

Förderanreize für den Einbau von Solarkollektoren

Durch die Bereitstellung von 200 Mio. DM (102 Mio. Euro) wurde der Fördertopf im Marktanreizprogramm ab 1999 um den Faktor zehn im Vergleich zum Vorjahr aufgestockt (Stryi-Hipp 2005, 177). Allerdings verstetigte sich dieser Betrag nicht. Im Jahre 2004 entschied sich die Regierung schließlich mit dem Photovoltaik-Vorschaltgesetz, den Fokus auf den Solarstrom zu setzen, was zu Abstrichen bei der Solarwärme führte (Stryi-Hipp 2005, 178).

Gingen bis 1998 rund 44 % der Fördermittel (11,8 Mio. Euro) in den Bereich Solarthermie, so waren es beim MAP von 1999 bis 2008 sogar 61 % (rund 760 Mio. Euro). In den Jahren 2000/2001 profitierte die Nachfrage zusätzlich von den noch existierenden Förderprogrammen in einzelnen Bundesländern, die jedoch rasch ihre bis dahin für die Nachfrage bedeutsamste Förderung auslaufen ließen. Seitdem ist es fast ausschließlich das MAP, welches die Nachfrage durch einen Zuschuss von im Schnitt 13 % (1.250 Euro) an den durchschnittlichen Investitionskosten von rund 10.000 Euro stimulierte. Nahezu 90 % der in dieser Phase neu errichteten Kollektorfläche (rund 8 Mio. m²) sind über das MAP gefördert worden.

Im Jahre 2001 kam es beim Ausbau der Solarthermie in Deutschland zu einer zwischenzeitigen Verzögerung. Der damalige Wirtschaftsminister Werner Müller hatte im Sommer alle Förderprogramme eingefroren. Kurz darauf musste er zwar auf Drängen der rot-grünen Regierungsfraktion diesen Schritt wieder rückgängig machen, es entstand aber eine unsichere Finanzierungssituation für Hersteller, Verkäufer und Verbraucher. Diese Unsicherheiten unterstützte eine Verschiebung von Anwenderinteressen in Richtung Photovoltaik (taz 04.01.2003).

Forschungsförderung durch das Bundesumweltministerium

Im Bereich der Forschungsförderung lief das 1993 aufgestellte Programm „Solarthermie 2000“ nach zehnjähriger Laufzeit aus. Ab 2004 schloss sich das Programm „Solarthermie 2000plus“ an. Das Folgeprogramm sollte zu „erweiterten und neuen Lösungen in der Solarthermietechnik und dem Abbau von rechtlichen und organisatorischen Markteintrittsbarrieren“ führen (Schirmer 2002). Das Pro-

[228] Siehe auch: Futterlieb 2011, 40.

gramm hatte einen Fokus auf F&E im Bereich der kombinierten Großanlagen (Heizung und Wasser) ohne saisonale Wärmespeicherung. Ziel war es, die Großanlagentechnologie für die solare Trinkwassererwärmung fortzuentwickeln, damit diese einen höheren Beitrag zur Einsparung fossiler Energieträger leisten könnte. Mit der Einführung des EEWärmeG lief das Programm „Solarthermie 2000plus“ im Jahr 2008 aus (BMU 2014a).

Initiativen und Kampagnen

Als Unterstützung für den Ausbau der Solarthermie initiierte die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) zwischen 1999 und 2002 die Kampagne „Solar – na klar!“. Die Initiative fokussierte v. a. auf Öffentlichkeitsarbeit und die Ansprache der Handwerker. Diese wurden durch Verkaufshilfen und Schulungen unterstützt. Die Initiative wurde von der EU-Kommission als beste nationale europäische Kampagne für erneuerbare Energien ausgezeichnet (Stryi-Hipp 2005, 178f.).

Auf Basis einer Evaluation der „Solar – Na klar!“-Kampagne legte Bundesumweltminister Jürgen Trittin im Jahre 2003 die „*Initiative Solarwärme Plus*“ auf. Die Initiative war unter dem Dach der dena angesiedelt. Die Deutsche Bundesstiftung Umwelt beteiligte sich erneut mit rund 2 Mio. Euro (von insgesamt 5,5 Mio. Euro), der Rest wurde von den Trägern, Sponsoren, den Bundesländern und vom Bundesumweltministerium beigesteuert.[229] Zielgruppen waren wiederum potenzielle Investoren, Handwerker und Händler.

Ergänzt wurde die Initiative durch die Kampagne „*Wärme von der Sonne*“, einer Aktion des Bundesverbands für Solarindustrie (BSi), die vom Bundesumweltministerium finanziell unterstützt wurde. Hierbei ging es um die Bewusstseinsbildung in der Bevölkerung. Um eine hohe Breitenwirkung zu erzielen, wurden bei regionalen Informations- und Werbeveranstaltungen 30 „regionale Solarinitiativen“ finanziert (Stryi-Hipp 2005, 178f.; Initiative Solarwärme Plus 2005). Die Flankierung des MAP mit Kampagnen und Initiativen trug dazu bei, dass 2006 eine Gesamtfläche von 8,3 Mio. m^2 an Solarkollektoren installiert wurde[230].

Der Bund setzte bei der Förderung indes einen deutlichen Schwerpunkt auf die Photovoltaik: 45 % des Gesamtbudgets, das dem Bundesumweltministerium für erneuerbare Energien zur Verfügung stand, waren der PV gewidmet und nur 5,2 % der Solarthermie (Energie & Management 2006a; Energie & Management 2006b).

4.5.2.2 Fortführung der Förderung auf Länderebene

Obwohl auf der Bundesebene die MAP-Förderung etabliert war, entschlossen sich einzelne Länder, Sonderprogramme aufzulegen. Zum Beispiel startete die Landesregierung Niedersachsen Ende der 1990er das Programm „Solaroffensive Niedersachsen 1999-2003“. Für den gesamten Zeitraum standen Mittel in Höhe von 11,07 Mio. Euro zur Verfügung, womit insgesamt 53 Projekte mit ca. 4,35 Mio. Euro gefördert wurden. Die Ziele der Offensive waren die Erprobung und der Ausbau von Anlagen. So sollten u. a. innovative Modellvorhaben, Demonstrationsvorhaben an Gebäuden des Landes sowie Solaranlagen in Unternehmen installiert und Qualifizierungsinitiativen initiiert werden. Die Solaroffensive basierte auf der „Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung innovativer Modellvorhaben zur Nutzung der Solarenergie“, der „Richtlinie über die Gewährung von

[229] Unterstützt wurde die Initiative von vielfältigen Akteuren, wie dem Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V. (BDH), der E.On-Ruhrgas AG, der Verbundnetz Gas AG (VNG) und dem Zentralverband Sanitär Heizung Klima (ZVSHK).

[230] Vgl. Pressegrafiken des BDH, online unter http://www.solarwirtschaft.de/pressegrafiken/.

Zuwendungen zur Förderung innovativer Solarprojekte in Unternehmen" und der „Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen zur Förderung von Fertigungsanlagen und Entwicklungsvorhaben im Solarenergiebereich“. Die Initiative war eingebunden in eine bundesweite Solarkampagne des B.A.U.M. (Niedersächsischer Landtag 2000; Niedersächsischer Landtag 2005; Energie & Management 2003).

Parallel dazu konnten nach der Richtlinie „Erneuerbare Energien“ vom 21. Juni 1999 bis 31. Dezember 2003 für solarthermische Anlagen mit einer Fläche von mindestens 4 m^2 bei Flachkollektoren und 3 m^2 bei Vakuumröhrenkollektoren Darlehen beim Land Niedersachsen beantragt werden. Bis zum 13. Oktober 2000 wurden so beispielsweise 597 solarthermische Anlagen mit einer Gesamtfläche von 5.094 m^2 mit Landesdarlehen von insgesamt rund 6,7 Mio. DM (3,4 Mio. Euro) gefördert (Niedersächsischer Landtag 2000).

4.5.2.3 Baden-Württemberg als Vorreiter für die Einführung einer EE-Nutzungspflicht

Während auf Bundesebene noch über eine geeignete Kombination ordnungsrechtlicher und förderpolitischer Instrumente gestritten wurde, ergriff die Landesregierung Baden-Württemberg die Initiative und verabschiedete 2007 das „Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg“ (EWärmeG). Das Land nahm damit eine Vorreiterrolle für die Einführung einer Nutzungspflicht ein. Diese sollte in Baden-Württemberg nicht nur für den Wohngebäude-Neubau, sondern auch für den Bestand gelten.[231] Dort unterlag sie allerdings gewissen Einschränkungen: Zum einen ist die Nutzungspflicht an den Sanierungsfall gekoppelt. Zum anderen trat sie erst mit einer Verzögerung zum 01.01.2010 in Kraft. Beides bewirkte, dass etliche Hausbesitzer die Frist nutzen, um vor dem Wirksamwerden noch eine neue Gasheizung einzubauen – ein unerwünschter, kontraproduktiver Effekt, denn der Sanierungsfall dürfte dann erst in ca. 15 bis 20 Jahren eintreten. Eine weitere Einschränkung der Nutzungspflicht besteht darin, dass sie sich nicht auf alle EE-Wärmetechniken, sondern nur auf die Solarthermie erstreckt: Die Nutzungspflicht gilt als erfüllt, wenn eine Solarthermieanlage vorhanden ist. Tritt der Sanierungsfall ein, ist also zu prüfen, ob eine Solarwärmeanlage baulich und rechtlich möglich ist. Kann bei einem Kesselaustausch keine Solarthermieanlage auf dem Dach des Gebäudes wirksam angebracht werden, muss auch keine andere Option des Gesetzes erfüllt werden. Die gesetzliche Nutzungspflicht entfällt dann ganz, der Gebäudeeigentümer kann nicht dazu verpflichtet werden, andere EE-Technologien zu nutzen und muss auch keine Ersatzpflichten (z. B. Wärmedämmmaßnahmen) erfüllen.[232] Trotz dieser deutlichen Abschwächung der Reichweite war und ist der Widerstand der betroffenen Gebäudeeigentümer groß. In vielen Fällen soll die Nutzungspflicht Auslöser für den zu beobachtenden Sanierungsstau sein: Die Sanierung wird so lange wie möglich verschoben, damit der Auslösetatbestand nicht eintritt.

Darüber, ob Solarkollektoren durch diese Regelung einen Marktvorteil erlangen konnten, liegen keine Informationen vor. Der Erfahrungsbericht des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg zum EWärmeG (UM 2011) macht hierzu keine Angaben. Im Zuge der geplanten Novelle des EWärmeG soll die Kopplung der Nutzungspflicht an die Solarthermie aufgehoben werden, um die Zahl der technischen Optionen im Bestand zu erhöhen.

---

[231] Auf Bundesebene ließ sich die Nutzungsverpflichtung für den Bestand im EEWärmeG 2009 nicht durchsetzen (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM) 2013).

[232] Der Solarthermie wird daher auch als „Ankertechnologie“ für den Gebäudebestand bezeichnet, da die Erfüllung der Nutzungspflicht grundsätzlich von ihrem Vorhandensein bzw. ihrer Installierbarkeit abhängt.

4.5.2.4 Vereinzelte Leuchttürme auf kommunaler Ebene

Auf kommunaler Ebene richtete die Stadt Bonn im Jahr 2006 ein Fünf-Jahres-Programm mit einem Fördervolumen von jährlich 100.000 Euro ein. Ab 2007 förderte die Stadt die Anschaffung solarthermischer Anlagen bei Neubauten oder der Sanierung eines Gebäudes (GAB 25.09.2006). Das Programm sah eine Förderung von 100 Euro/m^2 Kollektorfläche vor (GAB 03.03.2007). Im ersten Halbjahr 2007 bewilligte das Amt für Umwelt, Verbraucherschutz und Lokale Agenda 78 Anträge mit einem Fördervolumen von 60.000 Euro. 47 Anlagen zur Erwärmung von Brauchwasser und 31 Kombianlagen (Brauchwasser und Heizung) wurden gebaut (GAB 17.07.2007). Im Oktober 2007 war die Jahresfördersumme trotz einer Aufstockung um 15.000 Euro ausgeschöpft (GAB 06.10.2007). Im Jahr 2008 wurde die Rechtslage des Programms aufgrund der Einführung des EEWärmeG 2009 geändert. Es galt nun nicht mehr für Neubauten, die über das EEWärmeG zur Nutzung verpflichtet wurden, sondern nur noch für den Gebäudebestand. Dies lag zudem im Trend der städtischen Solarförderung. Im Jahr 2007 finanzierte die Stadt aus dem Fördertopf 75 % der Installationen im Gebäudebestand; bis zum 30. November 2008 waren es 83 % (GAB 27.12.2008).

Im Jahr 2008 entschied sich die rot-grüne Stadtregierung Marburg zu einer Nutzungspflicht in Neu- und Altbauten für Solarthermie und Photovoltaik. Allerdings stieß die Satzung auf Widerstände bei der Opposition und konservativen Unternehmern. Schließlich wurde das ordnungsrechtliche Instrument durch das Regierungspräsidium gestoppt, da eine Kommune nur die Angelegenheiten der örtlichen Gemeinschaft zu lösen, aber nicht für den globalen Klimaschutz Maßnahmen zu ergreifen habe. Ferner greife die Satzung unzulässig in das Eigentumsrecht ein (Coordes 02.12.2013).

Die Phase zwischen 1995 und 2008 war geprägt von der Planung und Einführung von ordnungsrechtlichen Instrumenten im Neubaubereich und Förderinstrumenten in Bestandsgebäuden.

4.5.3 Akteure der solarthermischen Wärmeerzeugung

4.5.3.1 Solarthermische Wärme auf EU-Ebene

Die Verankerung der Solarthermie auf europäischer Ebene stützt das Ansehen und das Image der Technik. Insbesondere in den südlichen Ländern, in denen sie im Wesentlichen für die Warmwasserbereitstellung und weniger zum Heizen benötigt wird, hat die Solarthermie einen hohen Deckungsgrad erreicht.

ESTTP bzw. RHC-ETP als neue Gremien der europäischen Forschungskoordination

Nach Auslaufen der EU-Förderung (z. B. ALTENER) sollte die Förderung der Solarthermieforschung zukünftig daran geknüpft werden, dass die Forschungsinstitute stärker mit industriellen Partnern zusammenarbeiten und anwendungsbezogener ausgerichtet sind. Der neue Förderrahmen führte zur Gründung der *European Solar Thermal Technology Platform* (ESTTP) im Jahr 2005. In der ESTTP wurden erstmals „Visionsentwicklung, Forschung und Industrie zusammengebracht“ (Stryi-Hipp 21.11.2013). Ein gemeinsames Statement konstatierte einen weiterhin bestehenden Forschungsbedarf zur Realisierung der noch bestehenden Effizienz- und Wirtschaftlichkeitspotenziale der Niedertemperatur-Solarthermie. Die 2006 und 2008 von der ESTTP erarbeiteten europäischen Forschungsagenden für Solarthermie, an der sich die nationalen Forschungsagenden orientieren sollen, trugen diesen Fragestellungen Rechnung.

Ab 2008 ging die ESTTP (jetzt: *European Solar Thermal Technology Panel)* – um die Themen Biomasse und Geothermie erweitert – in der *European Technology Platform on Renewable Heating & Cooling* (RHC-ETP)[233] auf. Die Plattform adressierte mit der 2008 formulierten Forschungsstrategie ESTTP "Strategic Research Priorities for Solar Thermal Technology (SRP)" v. a. Forschungsnotwendigkeiten zur besseren Verknüpfung von Solarthermie und anderen Wärmebereitstellungen.

ESTIF – Dachverband solare Wärme und Kühlung auf europäischer Ebene

Der 1992 gegründete erste europäische Dachverband nationaler Solarverbände *ESIF* (European Solar Industry Federation) fusionierte 2002 mit dem Verband der Hersteller ASTIG (Active Solar Thermal Industry Group) zur European Solar Thermal Industry Federation (*ESTIF*). Kofinanziert durch das ALTENER-Programm, setzte sich der Verband für das einheitliche europäische Gütesiegel „Solar Keymark" ein und erreichte 2003 eine Festlegung auf ein einheitliches Testverfahren. Produkte, die sich dem Solar-Keymark-Testverfahren unterwerfen, werden seither in allen europäischen Ländern von Förderinstitutionen und Zulassungsbehörden anerkannt, was als Meilenstein angesehen werden kann. Der Verband spielt als Organisator der von 2003 bis 2011 alle zwei Jahre stattfindenden European Solar Thermal Energy Conference (estec) auch eine wichtige Rolle für den Wissenstransfer. 2007 veröffentlichte die ESTIF einen „Solar Thermal-Action Plan (STAP) for Europe"[234], der die Relevanz der solaren Wärme und Kälte für die europäische Klimaschutzpolitik aufzeigte.

4.5.3.2 Forschungsinstitute und Hersteller treiben Systemlösungen voran

Auch auf nationaler Ebene sah sich die Solarthermieforschung der Kritik ausgesetzt, die Forschung sei bis Mitte der 2000er Jahre weitgehend ohne Marktbezug erfolgt. Eines der wenigen institutionellen Forschungsergebnisse, die auch im Markt angekommen sind, war die Entwicklung spektralselektiver Schichten. Die institutionelle Forschung arbeitete an der technischen Detailverbesserung, während sich die unternehmerische Forschung primär mit der Fertigung und Optimierung ihrer Systeme befasste (Stryi-Hipp 21.11.2013, mdl.). Dabei bestanden durchaus Forschungsnotwendigkeiten in Bezug auf die Verbesserung der Ertragsprognose und Absicherung des Wärmeertrags aus Solarthermie-Anlagen. Eine weitere Herausforderung bestand in der Optimierung der Systemeinbindung in den Heizungskreislauf, u. a. durch eine verbesserte Steuerung. Dieser „allgemeine" Forschungsbedarf zur Produktentwicklung erhielt jedoch laut Stryi-Hipp (21.11.2013, mdl.) nur wenig Unterstützung.

Nur vereinzelt arbeiten Forschungsinstitute und Unternehmen gemeinsam an Systemlösungen wie der Kopplung von Solarthermieanlagen und Wärmepumpensystemen, um eine vollständig auf erneuerbaren Energien basierende Wärmeversorgung zu ermöglichen und eine Alternative zur „üblichen Solarthermie-Gasbrennwertkessel-Lösung" zu bieten. Das *Institut für Solarenergieforschung Hameln (ISFH)* baute z. B. Experimentalanlagen, bei denen Solaranlagen mit Erdwärmesonden[235] oder Erdwärmekollektoren kombiniert wurden *(BiSolar-WP)*.[236] Zur Deckung des Pumpstrombedarfs aus erneuerbaren Quellen entwickelte das ISFH auch Kombinationen mit photovoltaisch-thermischen Kollektoren.[237] Innovative Unternehmen wie z. B. Consolar brachten 2006 kombinierte Solarthermie-

[233] Chairman des ESTTP ist Gerhard Stryi-Hipp, Fraunhofer ISE.

[234] Vgl. http://www.estif.org/policies/st_action_plan/

[235] Vgl. http://www.isfh.de/institut_solarforschung/geo-solar-waermepumpe.php (letzter Zugriff: 06.03.2014).

[236] Vgl. http://www.isfh.de/institut_solarforschung/bisolar-waermepumpe.php (letzter Zugriff: 06.03.2014).

[237] Vgl. http://www.isfh.de/institut_solarforschung/solarthermie-2.php (letzter Zugriff: 06.03.2014).

Luftwärmepumpen-Anlagen mit Speichern auf den Markt.[238] Aufgabe der Universität Stuttgart und des Fraunhofer ISE war es, die Funktionsfähigkeit und Effizienz der Anlagen zu prüfen. Die entwickelten Systeme erwiesen sich als leistungsfähig, aber insbesondere die Kopplung mit Erdwärmepumpen war aus Kostengründen für kommerzielle Anwendungen nur begrenzt geeignet. Insofern blieb die Marktrelevanz der Forschungsergebnisse begrenzt.

4.5.3.3 Politische und administrative Akteure auf verschiedenen Verwaltungsebenen

Forschungsförderung der Bundesebene

Bis Ende der 1990er war ausschließlich das Bundesforschungsministerium für die EE-Technologieförderung zuständig. Im Jahr 1998 ging die Zuständigkeit an das Bundeswirtschaftsministerium über, um die Forschung stärker an den Erfordernissen des Marktes auszurichten. In der Zuständigkeit des Bundesforschungsministeriums verblieb nur die Energieforschungsförderung der Großforschungseinrichtungen. Ab 2002 erhielt das Bundesumweltministerium die Zuständigkeit für die Forschung im Bereich der erneuerbaren Energien und damit auch der EE-Wärme (Langniß & Ziesing 2005, 212).

Förderung der solarthermischen Wärmeerzeugung auf Länderebene

Nahezu alle Bundesländer verfügten in dieser Phase über Vorschriften zur rationellen und umweltverträglichen Energienutzung. Diese erlaubten den Erlass von untergesetzlichen Regelungen (Richtlinien), in denen das jeweils zuständige Ministerium Fördermodalitäten für regenerative Wärmeerzeugung und Energieeffizienz festlegen konnte. Nach Seidler (31.01.2014, mdl.) wurden in den 1990er Jahren in allen Ländern Solarkollektoren überwiegend durch Investitionszuschüsse gefördert. Allerdings variierten die Förderbedingungen und Vergabemodalitäten beträchtlich. Da sich die Förderhöhe nach der jeweiligen Haushaltslage des Landes beinahe jährlich änderte (Marks 2001, 108), konnte sich – trotz vielfältiger Einzelinitiativen – keine stabile kommerzielle Nachfrage entwickeln. Unter den Bundesländern galten Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen als besonders engagiert. Nordrhein-Westfalen startete 1997 den Aufruf „Mit der Sonne bauen“. Durch die Kombination von Fördermitteln aus verschiedenen Bereichen (z. B. Wohnungsbau, RENPlus) sollte der Bau von Solarsiedlungen vorangetrieben werden. Der integrative Förderansatz richtete sich an die Kommunen (und nicht an private Anwender). 1998 hatten 40 Kommunen in Nordrhein-Westfalen Konzepte für Solarsiedlungen vorgelegt (Marks 2001, 112). Trotz der positiven Resonanz machte das Beispiel in anderen Ländern jedoch keine Schule.

In den Amtschefkonferenzen (ACK) / Umweltministerkonferenzen (UMK) konzentrierten sich die Ländervertreter Ende der 1990er vor allem auf die Novellierung der Wärmeschutzverordnung und ihre Zusammenführung mit der Heizungsanlagenverordnung zu einer neuen Energiesparverordnung (vgl. ACK 21./22.04.1998). Die UMK sprach sich dafür aus, diese voranzutreiben. In den folgenden Jahren gab es nur einzelne Anträge aus den Ländern, die Förderung verschiedener EE-Sparten zur Wärmeerzeugung zu verstärken. Diese Initiativen bezogen sich meist auf den Bioenergiesektor.

Widerstand gegen die Verankerung solarer Nutzungspflichten

Der Versuch, die Nutzungspflicht für Solarkollektoren auf Basis der Landesgesetzgebung in den Gebäudebestand zu verstärken war gescheitert (vgl. Kapitel 4.4.2). Gegen solare Nutzungsverpflichtungen hatte sich eine mächtige Gegnerschaft formiert, die ihren Widerstand bis heute

[238] SOLAERA; die Anlage umfasst Hybridkollektoren, einen Kombipufferspeicher sowie einen Eisspeicher; vgl. HTTP://WWW.CONSOLAR.DE/PRODUKTE/SOLARE_WAERMEPUMPE_SOLAERA.HTML (letzter Zugriff: 06.03.2014).

aufrechterhält. Bau- und Immobilienwirtschaft begründeten ihren Widerstand v. a. mit steigenden Baukosten. Der verpflichtende Einbau teurer Solartechnologien würde den Investitionsbedarf bei öffentlichen und privaten Gebäuden in die Höhe treiben und den Verbraucher (insbesondere den Mieter) durch Preissteigerungen belasten, so die Argumentation.

Da sich Nutzungsverpflichtungen gegen die Interessen der Bau- und Immobilienwirtschaft nicht durchsetzen ließen, verfolgten einige Kommunen „kooperative Ansätze“: So legte die Stadt Vellmar (Hessen) ab 2001 z. B. Nutzungsverpflichtungen für Solarthermie in Städtebaulichen Verträgen[239] zwischen Kommune und Bauträger/Investor fest. Auf Basis dieser vertraglichen Vereinbarungen konnte die Kollektorfläche dieser Kommune erheblich vergrößert werden. Obwohl Städtebauliche Verträge formal für die Vereinbarung entsprechender Nutzungspflichten geeignet sind (Schmidtchen & Kahl 2013) findet dieses Instrument keine Breitenanwendung. Ein Grund dafür ist, dass diese Verträge mit einem erhöhten Aufwand verbunden sind. Für die notwendige Überzeugungsarbeit und die Aushandlung der Vertragsbedingungen werden personelle Kapazitäten und ein hohes Engagement benötigt. Da offenbar beides in der Bauverwaltung der Kommunen nicht uneingeschränkt verfügbar ist, bleiben derartige Initiativen meist auf Förder- und Modellprojekte beschränkt.

4.5.3.4 Institutionalisierung und Konzentrationsprozesse der Branchenvertretungen

Die Verbände der PV-Branche, UVS und der BSi, fusionierten bereits 2006 zum Bundesverband Solarwirtschaft (BSW-Solar). Durch die Fusionierung mit PV-betonten Branchenverbänden nahm der Einfluss der Solarthermie-Branche im Bundesverband ab: Im BSW-Solar haben die Solarthermie-Unternehmen, vertreten durch den früheren BSi-Geschäftsführer *Gerhard Stryi-Hipp*[240], nur noch einen Anteil von 23 %. Diese Prozesse verdeutlichen die zunehmende Dominanz der solaren Stromerzeugung, die aufgrund ihrer dynamischen Entwicklung das Steuerungshandeln der Politik beherrscht.

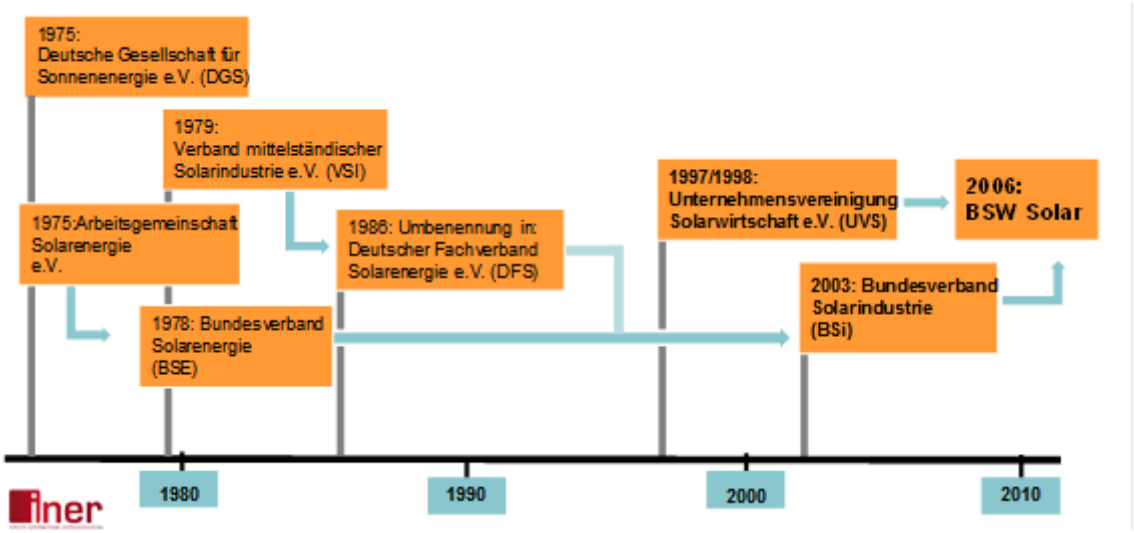


Abbildung 4-4: Verbandsgründungen und Konzentrationsprozesse durch Fusionen im Bereich solare Wärmeerzeugung

---

239 Der städtebauliche Vertrag nach § 11 BauGB ist ein Mittel der Zusammenarbeit der öffentlichen Hand mit privaten Investoren. Er wird meist im Zusammenhang mit einem Bebauungsplanverfahren geschlossen und dient der Erfüllung städtebaulicher Aufgaben. Sie ergänzen somit das hoheitliche Instrumentarium des Städtebaurechts.

240 *Gerhard Stryi-Hipp* baute in Freiburg ab 1994 den Deutschen Fachverband Solarenergie (DFS) auf. Dieser fusionierte mit dem Bundesverband Solarenergie (BSE). Im Jahr 2003 wurde ihm die Geschäftsführung des Bundesverbands Solarindustrie (BSi) in Berlin übertragen.

Der BSW kooperiert zur Förderung der Solarthermie mit dem Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik (BDH)[241]. Dieser verfolgt die Doppelstrategie „Effizienz und erneuerbare Energien“ und propagiert den Austausch veralteter Heizkessel, wobei aus Sicht des BDH auch die öl- oder gasbetriebene Brennwerttechnik in Kombination mit Solarthermie als Ersatz in Frage kommt. Das Verhältnis von BDH und BSW ist trotz gemeinsamer Anliegen bei der Verbreitung erneuerbarer Energien im Wärmesektor nicht spannungsfrei. Die überwiegend klein strukturierte Solarwirtschaft, die im BSW organisiert ist, steht der BDH gegenüber, in dem die großen Wärmepumpen- und Kesselhersteller organisiert sind. Trotz gemeinsamer Schnittmengen sind Interessenskonflikte vorprogrammiert.

4.5.3.5 Die Rolle des Handwerks – Handwerksverbände und Ausbildung

Seit 2003 ist eine Ausbildung zur Fachkraft für Solartechnik (Solarteur) möglich. Betriebe können sich mit solchen Zusatzausbildungen oder mit anderen Zertifikaten[242] im Wettbewerb qualifizieren.

Der Zentralverband Sanitär Heizung Klima (ZVSHK) bündelt die Innungsverbände des installierenden Handwerks und vertritt ihre Interessen gegenüber der Wirtschaft, der Industrie, der Politik und der Wissenschaft. Er versteht sich als „technologieoffen“ und setzt sich für alle „Kompetenzträger einer modernen und innovativen Gebäudetechnik“[243] gleichermaßen ein.

Über die Konzeption der Ausbildungsrichtlinien für alle SHK-Berufe sowie Qualifizierungs- und Weiterbildungsmaßnahmen nimmt der Verband zusammen mit der Handwerkskammer Einfluss darauf, ob und in welchem Umfang erneuerbare Wärmetechnologien zum Standard in der Ausbildung von Heizungsinstallateuren werden. In den 1990er Jahren konnte das notwendige Spezialwissen für die qualifizierte Montage und Integration von Solarthermieanlagen nur im Rahmen von Fortbildungen bzw. Zusatzausbildungen zur Fachkraft für Solartechnik (Solarteur) erworben werden.

4.5.4 Umwelteffekte von solarthermischen Anlagen

Vermeidung von Chrom VI

Das Umweltbundesamt hatte deutlich gemacht, dass bei Verwendung von Schwarzchrom/ Schwarznickel eine Auszeichnung der Produkte mit einem Umweltzeichen (z. B. Blauer Engel) nicht infrage kommt. Ein solches Zertifikat war jedoch für die Hersteller aus Vermarktungsgründen (vgl. Förderbedingungen des MAP) wichtig. Auch die bevorstehende Substitutionsverpflichtung von Chrom in Elektronikgeräten beförderte den Umstieg auf chromfreie Beschichtungsverfahren. Dass die neuen Verfahren nicht nur weniger umweltschädlich in Herstellung und Entsorgung waren, sondern auch Vorteile hinsichtlich der Effizienz (Wirkungsgrad) boten, machte den Prozess für alle Seiten erfolg-

---

[241] Die mittelständischen Mitgliedsfirmen des BDH stellen Heizungstechnik her (Kessel, Brenner, Heizkörper, Systemlösungen. Sie bieten auch komplette Systemlösungen für den Gebäudebereich mit Schwerpunkt auf Wärmeerzeugung, Wärmeverteilung und Wärmeübergabe sowie Warmwasserbereitung auf Basis von Gas, Öl, Strom und erneuerbaren Energien an.

[242] Zum Beispiel vergibt der Technische Überwachungs-Verein (TÜV) Rheinland einen Sachkundenachweis zur Solarthermie; das RAL-Gütesiegel zeichnet Betriebe aus, die von einem unabhängigen Verein zur Qualitätssicherung geprüft wurden und sich danach durch gute fachliche Praxis auszeichnen.

[243] http://www.zvshk.de/zvshk/zentralverband/

reich. Am Markt konnten sich im PVD-Verfahren hergestellte Absorberschichtsysteme[244] sowie Titan-Nitrit-Oxid-Absorber (TiNOX®)[245] etablieren.

4.5.5 Markt- und Kostenentwicklung

Nachfragewachstum ohne Kostensenkungen

Die ab Anfang der 1990er Jahre deutlich gestiegene Nachfrage setzte sich mit Auf und Ab prinzipiell bis zum Jahr 2008/09 fort (vgl. Abbildung 4-5). Signifikante Nachfrageimpulse gingen ab Oktober 1999 von der fortgesetzten „Richtlinie zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien", dem „Marktanreizprogramm", aus. Das Programm war ab diesem Zeitpunkt finanziell deutlich besser ausgestattet als während der ersten Förderphase 1994 bis 1998 (vgl. Kapitel 4.5.2). Die Fördervoraussetzungen des MAP an Solarthermieanlagen wurden regelmäßig an die technische Entwicklung angepasst. So stieg der erforderliche Kollektormindestertrag ab 2005 auf 525 kWh/m² Kollektorfläche im Jahr, zudem waren die Anforderungen des Blauen Engels (ab 2005) und ab 2007 für neu typgeprüfte Anlagen die Anforderungen des europäischen Solar Keymark zu erfüllen.

In Abbildung 4-5 ist ab Mitte der 2000er Jahre ein deutlicher Trend hin zu den sogenannten Kombianlagen zu erkennen, bei denen nicht nur die Brauchwassererwärmung solar unterstützt wird, sondern auch der Heizwärmebedarf. Diese Anlagen benötigen mehr Kollektorfläche und größere Pufferspeicher, sodass sie im Ein- oder Zweifamilienhaus ungefähr doppelt so teuer wie reine Brauchwasser-Solaranlagen sind.

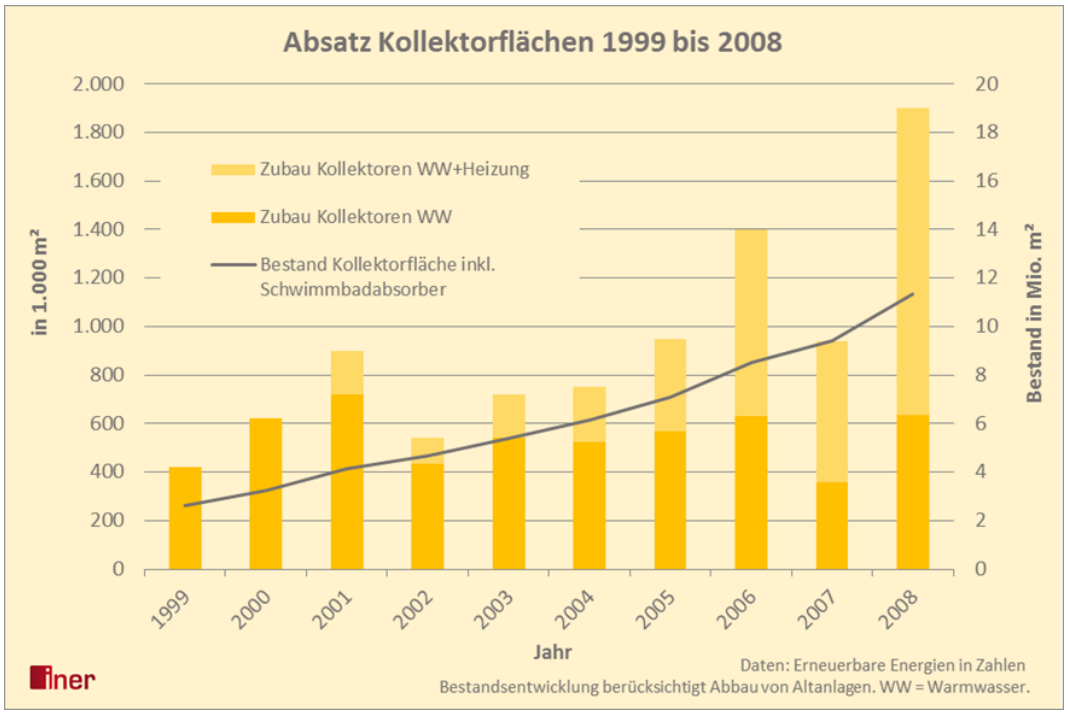


Abbildung 4-5: Marktentwicklung Solarthermie Phase 1999 bis 2008

[244] Hierzu gehören die Schichtsysteme von sunselect®, mirotherm® und mirosol® TS. Diese Schichtsysteme werden in einem PVD-Verfahren aufgedampft. Der sogenannte sunselect®-Absorber wurde von einen Systemanbieter (AllSystems Gebäudeenergietechnik) unter Mitwirkung des Fraunhofer ISE entwickelt.

[245] Die Firma TiNOX hat diese Technologie Mitte der 1990erJahre erfunden und weiterentwickelt. Der Name „TiNOX" wird in der Branche als Synonym für hochselektive Absorber verwendet. Diese werden seit Ende der 1990er Jahre im industriellen Maßstab gefertigt (Dena 2013).

Die spezifischen Investitionskosten für solarthermische Anlagen haben sich seit Mitte der 1990er Jahre (vgl. auch Kapitel 4.4.3) nur noch in geringem Maße reduziert, und liegen im Bereich um 900 Euro/m² Kollektorfläche (BSW 2012, 41). Jedoch zeigten die über das MAP geförderten Anlagen – insbesondere Flachkollektoranlagen – während der Phase des hohen Nachfrageanstiegs zwischen 2005 und 2008/09 einen deutlichen Preisanstieg von etwa 700 Euro/m² auf rund 1.000 Euro/m², der in dieser Phase auch mit Kostensteigerungen bei wichtigen Rohstoffen wie Kupfer erklärt wird (Kelm et al. 2008, 15), ganz wesentlich jedoch marktgetrieben gewesen sein dürfte.

Effizienzsteigerungen im Produktionsprozess wurden zum Teil durch Kostensteigerungen bei dem hohen Anteil an metallischen Rohstoffen neutralisiert. Sofern künftig keine entscheidenden Technologiedurchbrüche (insbesondere durch Kunststoffkollektoren) erreicht werden, ist angesichts der seitdem sehr flach verlaufenen „Lernkurve“ nicht mehr mit größeren Rückgängen bei Produktionskosten der Kollektoren zu rechnen.

Auch der aufgrund seiner etwa 20 bis 30 % höheren spezifischen Solarerträge am Markt als Premiumprodukt eingestufte Vakuumröhrenkollektor bewegt sich bei den Herstellungskosten auf gleichem Niveau wie der Flachkollektor. Wegen seiner Positionierung als Premiumprodukt wird er jedoch von den Installateuren entsprechend teurer angeboten (Taafel 06.02.2013, mdl.). Vom Systempreis einer Anlage macht der Kollektor selbst allerdings nur rund 25 % der Gesamtkosten aus. 62 % der Kosten entstehen über den Großhandel, Handwerk und Installation (BSW 2012, 153 f.). Dies erklärt, warum die Anlagenpreise für Solarthermieanlagen in Zeiten starker Nachfrage stiegen und nicht sanken, wie es von 2008 bis 2010 beobachtet werden konnte (Langniß 2010, 69; Langniß et al. 2011, 51). Der Großhandel und Installateure hatten Preissenkungen seitens der Hersteller bei Kollektoren und Komponenten faktisch nicht an die Kunden weitergegeben und konnten folglich ihre Gewinnmargen erhöhen.[246] Die größten Kostensenkungspotenziale bestehen damit vor allem im Bereich des Handels und der Installation. Solange aufseiten des Handels bzw. zwischen den Installateuren kaum Preiswettbewerb stattfindet, dürften signifikante Preissenkungen für Endkunden nur bei Selbstinstallation erzielbar sein. Für Heizungsinstallateure ist das Geschäftsfeld Solarthermie in der Regel auch deutlich risikoreicher als konventionelle Heiztechnik. Der Aufwand, bis die Anlage effektiv in das Heizungssystem eingebunden ist, ist ihnen oft zu groß. Auf diesem Gebiet müsste vonseiten der Hersteller mehr daran gearbeitet werden, den Integrations- und Installationsaufwand der Anlagen noch weiter in Richtung „Plug-and-Play“ zu verringern.

4.6 Phase seit 2009: Einbruch und Stagnation

4.6.1 Technologieentwicklung

4.6.1.1 Verbreitung von Systemlösungen

Der technologische Entwicklungsstand von Flachkollektoren und deren Leistungsfähigkeit haben ein Niveau erreicht, welches nennenswerte Performance-Steigerungen nicht mehr erwarten lässt. Im Jahr 2008 erhielten von 12 getesteten Warmwasseranlagen zehn Anlagen die Note „Sehr gut“ oder „Gut“ (test 3/2008). Im Folgejahr waren es 11 von 13 getesteten Kombianlagen mit der Note „Gut“ (test 3/2009). Diese Tests bestätigen, dass – zumindest die getesteten – Solarthermieanlagen technisch ausgereift sind.

[246] Bei Kostensenkungen auf allen Wertschöpfungsebenen könnten die Systemkosten bis 2030 um rund 40 % gesenkt werden (BSW 2012, 155).

Wegen des erreichten hohen technischen Reifegrades der eingesetzten Flach- und Röhrenkollektoren hat sich der Fokus seitens der Hersteller und Forschung auf die Gesamtoptimierung des Systemverbunds von Solarthermie, Heizkessel und Wärmespeicherung verschoben. Ziel ist im Jahresdurchschnitt auch in der Praxis hohe solare Deckungsgrade zu erreichen, was nur durch ein optimales Zusammenspiel der Komponenten erreichbar ist. Dies betrifft die Bereiche der Planung, Installation und Systemabstimmung/-überwachung vor Ort. Von vielen Anbietern werden dafür komplette Systemlösungen aus Kollektoren, Heizkessel und Speicher aus einer Hand angeboten, wodurch Auslegungs- und Installationsmängel minimiert werden sollen. Ebenso kamen zunehmend Solar-Wärmepumpen-Systemlösungen auf den Markt. Systemlösungen haben sich bei nahezu allen größeren Anbietern zum Standard entwickelt. Nachteilig für die Diffusion dieser Systemlösungen war und ist ihr noch hoher Preis, insbesondere bei den Solar-Wärmepumpen-Systemen. Hier besteht noch Kostensenkungsbedarf.

Darüber hinaus werden neue Installationsvarianten erprobt, z. B. können durch die Integration von Fassadenkollektoren (Vakuumröhren) zusätzliche Kollektorflächen an Bürobauten mit begrenzten Dachflächen gewonnen werden (BINE Informationsdienst 2013).

NARVA, einer der wenigen Hersteller von Röhrenkollektoren in Deutschland, konnte die Materialkosten um 20 % senken und gleichzeitig den Energieertrag um 10 % steigern, indem man das bisher verwendete teure „Borosilikatglas“ durch preiswertes eisenarmes Kalknatronglas ersetzt hat, das zudem mit Nanoteilchen beschichtet ist: Dadurch wird die Transparenz des Glases deutlich erhöht, Verwitterung an der Glasoberfläche verhindert und die Glasfestigkeit vergleichmäßigt (DBU 2013, 28).

4.6.1.2 Fortschritte bei Wasserspeichern

Mit der Übertragung der Vakuumisolierung von Flüssiggastanks auf Wasserspeicher konnten dort die Speicherverluste um den Faktor 10 verringert werden und die Auskühldauer von wenigen Tagen auf einige Monate[247] verlängert werden. Der erste von der Firma *Hummelsberger Stahl- und Behälterbau* in Zusammenarbeit mit *TFZ Bayern* entwickelte Vakuumspeicher wurde 2011 in Betrieb genommen. Durch die Verwendung eines solchen Speichers kann bei geringerer Kollektorfläche ein signifikant höherer solarer Deckungsgrad erzielt werden.

Leider liegen die Kosten insbesondere kleiner Speicher bis 5.000 Litern sehr deutlich (Faktor 3-4 und mehr) über denen eines konventionellen Kombispeichers. Je größer jedoch das Speichervolumen wird, desto geringer werden die Mehrkosten. Ab 20.000 Litern werden die Kosten mit konventionellen Speichern vergleichbar. In den typischen Ein- und Zweifamilienhäusern sind wegen der hohen Wärmeverluste jedoch bisher deutlich kleinere Speicher mit 500 bis 1.000 Litern üblich.

4.6.2 Politische Impulse und Entwicklung des rechtlichen Rahmens

4.6.2.1 EE-Richtlinie 2009 verpflichtet zur Einführung von Zertifizierungssystemen

Im Jahre 2009 setzte die EE-Richtlinie 2009 (EU-Richtlinie 2009/28/EG) länderspezifische verbindliche Ziele für den EE-Anteil am Endenergieverbrauch bis 2020 fest (vgl. Kapitel 2.1.4.2) Im Hinblick auf Solaranlagen war bedeutsam, dass die Mitgliedsstaaten bis zum 31. Dezember 2012 Zertifizierungssysteme oder gleichwertige Qualifikationssysteme für Installateure u. a. von Solarthermieanlagen

[247] Die Abkühlung beträgt nur noch 6,5 Kelvin/Monat (Hummelsberger 2013). 60°C warmes Wasser benötigt ca. 5 Monate, um auf 20°C abzukühlen.

einführen mussten. Damit sollten die Voraussetzungen für eine verbesserte Anwendung geschaffen werden.

4.6.2.2 Auf nationaler Ebene weiter im „Stop-and-go“

Das MAP wurde als begleitendes Förderinstrument von Bundesumweltministerium und Bundesforschungsministerium mit dem im Jahre 2009 in Kraft getretenen EEWärmeG (vgl. Kapitel 2.3.1.2) verknüpft und soll jährlich mit bis zu 500 Mio. Euro aus Haushaltsmitteln ausgestattet werden. Da dies eine Obergrenze darstellte und keine Festlegung auf konkrete Fördersummen, blieb die Förderung weiterhin unstet. So kam es beispielsweise im Frühjahr 2010 zu einer Haushaltssperre durch das Bundesfinanzministerium. Bis dahin flossen ca. 50 % der jeweiligen Jahresfördersumme in die Solarthermie (Energie & Management 2010). Der Förderstopp stieß bei den Erneuerbare Energien-Verbänden auf Kritik. Sie befürchteten eine Verzögerung bei der Heizungsmodernisierung, die Investitionen von mindestens einer Milliarde Euro verhindern würde (Die Welt 19.04.2010). Der Einbruch des deutschen Solarthermiemarktes ist durch den Förderstopp verstärkt worden (zu den Gründen vgl. Kapitel 4.6.3). Schließlich wurde der haushaltsbedingte Förderstopp – auch auf Drängen der Verbände – am 15. Juli 2010 wieder aufgehoben. Die Verunsicherung blieb jedoch in der gesamten Wertschöpfungskette erhalten.

Wegen der nach dem EEWärmeG bestehenden allgemeinen EE-Pflicht bei Neubauten wurde die Förderung solarthermischer Brauchwasseranlagen in Neubauten über das MAP abgeschafft. Förderfähig im Neubau waren nur noch Kombianlagen, welche die Nutzungspflicht deutlich übererfüllten. Die MAP-Förderung für den Eigenheimbereich setzte damit den Schwerpunkt auf den Gebäudebestand bzw. auf Kombianlagen im Neubau.

Parallel dazu gewann die Förderung der Solarwärmeproduktion im gewerblichen und industriellen Bereich an Bedeutung und an Attraktivität: Während die Anschaffung einer Solarwärmeanlage mit bis zu 2.000 Euro bezuschusst wird, können solare Prozesswärmeanlagen Zuschüsse von bis zu 50 % der Nettoinvestitionskosten erhalten.

4.6.2.3 Weiterführung von erfolgreichen Programmen in ausgewählten Bundesländern

Auch auf Länderebene tat sich in dieser Phase nicht viel. In Nordrhein-Westfalen wurde das progres.nrw-Programm eingeführt. Im Zuge dessen wurden neue Solarthermieanlagen im Gebäudebestand mit bis zu 1.800 Euro je Wohn- oder Gewerbeeinheit gefördert (GAB 09.03.2013).

4.6.3 Akteure der solarthermischen Wärmeerzeugung

Im Bereich der Solarthermie bestimmen weiterhin die bereits in Kapitel 4.5.3 beschriebenen Akteure aus Politik, Forschung und Verbänden die Richtung. Der Einbruch des Solarthermie-Absatzes und die nachfolgende Stagnation beeinträchtigten dieses Mal auch „alteingesessene“ Herstellerunternehmen. Die Kollektorhersteller sind jedoch nicht nur wegen des rückläufigen Absatzes in Deutschland, sondern global unter Konsolidierungsdruck gekommen. In der Folge sind bereits eine Reihe von Anbietern aus der Kollektorfertigung ausgestiegen (z. B. Velux (D), Greiner Renewable Energy (A), Solarplus (CZ)), dazu eine Reihe von Herstellern insolvent geworden (z. B. Soliker (ES), 9Ren (ES), Geo_Tec (A), Wagner Solar (D), MP-Tec (D), Lenz Solartechnik (D), Philippine (D)). Nicht zuletzt daraus ergaben sich einige Firmenübernahmen. Insgesamt lässt sich weltweit ein Konsolidierungsprozess unter den mehreren Hundert Herstellern von Flach- und Röhrenkollektoren beobachten. Hinsichtlich der weltweit produzierten Flachkollektorfläche lagen 2012 jedoch noch mehrere deutsche Unter-

nehmen unter den Top 20 (Bosch Thermotechnik (2); *Viessmann* (7); Vaillant (10), Wolf (13), Wagner (18))[248] (Epp & Banse 2013).

Eine strategische Neuorientierung der Branche schien dringend geboten. 2012 legte der BSW einen „Fahrplan Solarwärme“ (BSW 2012) vor, der Strategien und Maßnahmen der Solarwärme-Branche für ein beschleunigtes Marktwachstum aus Perspektiven der Branche darlegte. Die Studie hatte einen insgesamt optimistischen Tenor und prognostizierte ein zweistelliges Marktwachstum für die Solarthermie bis 2030. Das klassische Marktsegment der Ein- und Zweifamilienhäuser bleibe weiterhin ein wichtiges Standbein der Solarwärme-Branche, der Mehrfamilienhausbereich bleibe hingegen ein Segment für Spezialisten und für kundenspezifische Lösungen. Vielversprechender sei ein neues Segment, nämlich industrielle Prozesswärme bis 100°C und industrielle Kälte- und Klimatechnik. Für den Einfamilienhausbereich propagiert der BSW erhebliche Kostensenkungen, die notwendig sind, um Marktbarrieren zu überwinden. Durch den Einsatz innovativer Technologien günstigere Fertigungsverfahren und der Entwicklung alternativer Speicherkonzepte sollten die Produktionskosten für „Solarwärme-Systeme bis 2020 um 14 %, bis 2030 sogar um mehr als 40 % sinken. Überdies setzte die Branche bei neuen Segmenten auf den Direktvertrieb, durch den Kosten für den in den traditionellen Segmenten vorherrschenden dreistufigen Vertrieb vermieden werden können.[249] Unter Einberechnung steigender Öl- und Gaspreise könnte die Amortisationszeit damit unter fünf Jahre gedrückt werden. Die Branche ist offenbar geteilt: Während die einen die Strategie für zukunftsträchtig halten, beurteilen andere die Realisierbarkeit der in der Studie propagierten Maßnahmen eher skeptisch.[250] Sie setzen vielmehr weiter auf den Einfamilienhaussektor und Kombilösungen.

Auch die Forschung wird neu aufgestellt: So formulierte die ESTTP im Februar 2013 eine „Strategic Research and Innovation Agenda for Renewable Heating & Cooling“, die auf nationaler Ebene durch die Forschungsstrategie Niedertemperatur-Solarthermie 2030 der DSTTP (2013) ergänzt wurde. Im selben Jahr legte das Fraunhofer ISE (2013) eine Studie vor, in der Solarthermie-Großanlagen in Verbindung mit Wärmenetzen eine tragende Rolle spielen. Der Fraunhofer ISE- und BSW-Studie ist gemein, dass beide eine Verlagerung des Fokus auf Großanlagen vorschlagen. Dadurch sollen sich nicht nur die Erfolgschancen für eine Verbreitung der Solarwärme verbessern. Die Branche verspricht sich davon auch einen Beitrag zur Konsolidierung.

4.6.4 Umwelteffekte von solarthermischen Anlagen

Hierzu gibt es keine neuen Erkenntnisse. Die Frage, ob solarthermische Heizungen mit unerwünschten (oder erwünschten) Umwelteffekten verbunden sind, spielte für den Rückgang der Absatzzahlen keine Rolle.

4.6.5 Markt- und Kostenentwicklung

Anlagenabsatz im Rückwärtsgang

Trotz der in bestimmten Fällen schon erreichten Wirtschaftlichkeit ggü. konventioneller Wärmeerzeugung bedingt durch das seit 2008 sehr viel höhere Preisniveau von Heizöl und Erdgas und die grundsätzliche Verpflichtung im EEWärmeG von 15 % EE-Wärme im Neubau (vgl. Kapitel 4.6.2.2) ist

[248] Rang in Klammern.

[249] Die Herstellungskosten einer solarthermischen Anlage machten nach Angaben des BSW ca. ein Viertel des Endpreises aus. Die anderen drei Viertel entfielen vor allem auf Fachgroßhandel und Handwerk. Das größte Kostensenkungspotenzial bestehe im Vermeiden oder Umgehen von Fachgroßhandel und Handwerk.

[250] Vgl. Oberzig 2012.

die Nachfrage nach solarthermischen Anlagen massiv eingebrochen. Hier sind mehrere Gründe zu nennen:

Zunächst die starke Konkurrenz der Photovoltaik. PV-Anlagen haben in der Regel eine hohe Wirtschaftlichkeit und erzielen eine zum Teil hohe Rendite (8 % und mehr)[251] auf das eingesetzte Eigenkapital. Bei vergleichbaren Investitionskosten kann durch die kostendeckende Vergütung mit einer PV-Anlage über 20 Jahre eine Rendite erwirtschaftet werden, während eine Solarthermieanlage – je nach weiterer Entwicklung der Öl- und Gaspreise – auch Mehrkosten verursachen kann. Zudem sind Photovoltaikanlagen flexibler und einfacher zu integrieren als Solarkollektoren und letztlich auch pflegeleichter. Somit besteht eine direkte Konkurrenz um die Finanzmittel für Investitionen. Solarthermische Anlagen sind für den Investor teurer und es gibt zunehmend wirtschaftlich attraktive Alternativen wie die Wärmepumpe. Die Vielfalt an Möglichkeiten ist für Investoren wie Installateure zum Teil überfordernd und verstärkt die Bevorzugung einfacher und schnell funktionierender Lösungen. Die Kunden vergleichen die Kosten mit den Alternativen, wobei die Solarthermie zu wenig Kostentransparenz bietet. Oftmals können die Erträge der Anlage in der Praxis nicht genau quantifiziert werden.

Der Förderstopp des MAP im Mai 2010 durch eine Haushaltsperre, die erst im Juli 2010 wieder aufgehoben wurde, führte zur Verunsicherung bei potenziellen Investoren und Installateuren, weil diese nicht sicher sein könnten, ob sie den erwarteten Zuschuss nach der getätigten Investition auch bekommen. Letztlich brachte auch das EEWärmeG mit einer Nutzungspflicht für erneuerbare Wärme nicht die erhoffte Nachfrage, da die Nutzungspflicht von 15 % des Wärmebedarfs gemäß der EnEV auch durch Pelletheizungen, Wärmepumpen oder durch eine Verringerung der Wärmeverluste (Übererfüllung der EnEV durch Wärmedämmung) erfüllt werden kann. Die Fördervoraussetzungen wurden erneut angepasst. Ab 2010 waren Solarumwälzpumpen der Effizienzklasse A zu verwenden und ab 2011 ein hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage erforderlich.

Der Solarthermiemarkt zeigte schon 2009 einen Rückgang um rund 17 % bezogen auf die installierte Kollektorfläche. Dieser verstärkte sich im Jahr 2010 deutlich, sodass gegenüber 2008 nur noch 60 % der Fläche installiert wurden. Mit leicht sinkender Tendenz verharrt der Absatz auf diesem Niveau (vgl. Abbildung 4-6).

[251] Dies galt besonders für den Zeitraum vor der deutlichen Absenkung der PV-Vergütungen Mitte 2012. Entscheidend für die Rendite ist das Verhältnis zwischen Investitionskosten für die Anlage und Rückfluss über die Erlöse des Stromverkauf (entweder EEG-Einspeisevergütung und/oder Eigenverbrauch).

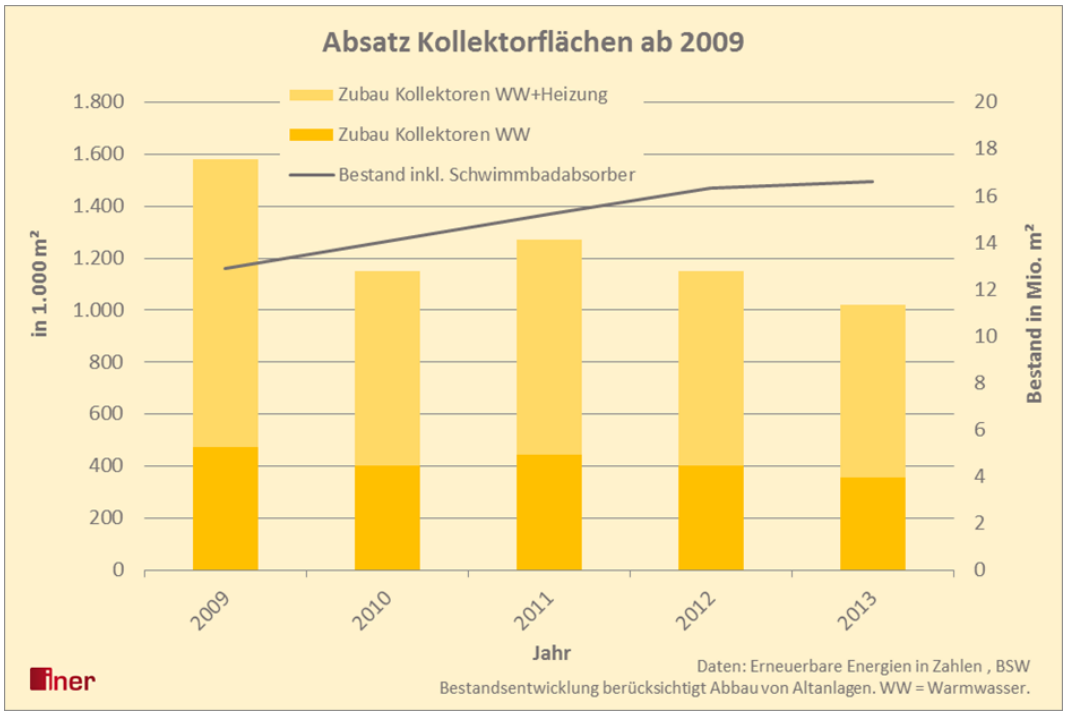


Abbildung 4-6: Marktentwicklung Solarthermie Phase ab 2009

Der Nachfragerückgang zeigte auch deutliche Wirkung bei den Anlagenpreisen, die seit dem Nachfragehöhepunkt im Jahr 2009 wieder gefallen sind, wobei auch erstmals die spezifischen Kosten von solarthermischen Anlagen mit Flach- bzw. Vakuumröhrenkollektoren auf gleiches Niveau gesunken sind. Es hat den Anschein, dass für Vakuumröhrenkollektoren am Markt keine Premiumzuschläge mehr durchsetzbar sind und das schon länger bestehende nahezu identische Herstellungskostenniveau sich nun auch in den Marktpreisen widerspiegelt. Vermutlich könnten die Verkaufspreise noch niedriger liegen, gäbe es mehr Preiswettbewerb im Installateurbedarfs-Großhandel und bei den Installateuren selbst (vgl. dazu Kapitel 4.5.3). Dies würde die Wirtschaftlichkeit der Solarthermie weiter verbessern und dürfte zu höherer Nachfrage führen.

4.6.6 Ausblick

Größere Marktpotenziale nur bei weiter sinkenden Anlagenkosten zu erwarten

Die Solarthermie, als Flach- oder Vakuumröhrenkollektor, ist bereits seit Langem eine ausgereifte und zuverlässige Technik. Hinsichtlich ihrer Marktdiffusion stehen vergleichsweise hohe Kosten einerseits und geringe bzw. ungewisse Kosteneinsparungen andererseits einer dynamischeren Verbreitung ebenso entgegen, wie Investitionskonkurrenzen durch Photovoltaik oder auch Wärmepumpen (bei Neubauten). Kostenseitig werden in der Herstellung der Kollektoren aufgrund des hohen Automationsgrades und hoher Rohstoffpreisabhängigkeit (Aluminium, Kupfer, Stahl) nur noch sehr geringe Preissenkungspotenziale gesehen, so lange bei Vollkunststoffkollektoren kein technologischer Durchbruch erzielt wird. Momentan deckt die Solarwärme gerade 1 % des gesamten Wärmebedarfs ab, sodass noch sehr große Zubaupotenziale bestehen. Der Kollektormarkt hat sich in den letzten Jahren sehr instabil entwickelt, auf Zuwächse folgten immer wieder Einbrüche.

Da unter den klimatischen Bedingungen in Deutschland die Solarthermie nur in Einzelfällen als ausschließliche Heiztechnik zum Einsatz kommt, erfolgt deren Nutzung praktisch immer in einem bivalenten Heizsystem mit Warmwasserspeicher, wobei in der Regel eine Erdgas- oder Ölheizung die Hauptwärmequelle darstellt. Das wesentliche Optimierungspotenzial steckt somit in der idealen

Planung und Abstimmung der Komponenten, sodass Systemlösungen aus einer Hand vorangetrieben werden. Ein optimales Zusammenspiel von Hauptheizung, Kollektorwärme und Wärmespeicher ist eine wesentliche Voraussetzung dafür, dass die erwarteten Brennstoffeinsparungen auch erreicht werden.

Um Kollektoren wirtschaftlich attraktiver zu machen, müssten wirksamere technologiespezifische Anreize geschaffen werden. Hilfreich wäre vor allem mehr Preiswettbewerb sowohl im Installateurbedarfs-Großhandel als auch bei den Installateuren, um die Endpreise der Anlagen zu senken, da die Herstellungskosten nur rund ein Drittel des Gesamtpreises ausmachen. Doch erscheint gerade dies wegen der eingespielten Handels- und Innungsstrukturen sowie der Verknüpfung mit gesetzlichen Vorgaben zu den Gewährleistungsregelungen für Installateure (5 Jahre Gewährleistung, da Heizungen als Bauwerk gelten) nur sehr schwer erreichbar zu sein.

Die kostengünstigere Beschaffung der Anlagenkomponenten über den freien Handel ist nur für diejenigen eine Option, die auch den Einbau selbst vornehmen und dann die vergleichsweise kurzen gesetzlichen Gewährleistungsfristen in Kauf nehmen. Ein Installateur ist wegen der für ihn geltenden fünfjährigen Gewährleistungspflicht beim Einbau einer Heizung in der Regel nicht bereit, Komponenten einzubauen, die er nicht selbst über den Großhandel beschafft hat. Zudem verdient er am Anlageverkauf mit, nicht nur an seiner Handwerksleistung beim Einbau.

Trotz dieser Hemmnisse sehen bzw. unterstellen Studien (z. B. BSW 2012; Henning & Palzer 2013) in der langen Sicht wachsende Anteile am Wärmemarkt und einen deutlichen Preisrückgang.

5 Innovationsbedingungen der Wärmegewinnung aus der Umwelt

5.1 Einführung

Als Umweltwärme werden alle Niedertemperaturquellen bezeichnet: Es handelt sich dabei vor allem um Umgebungsluft, Erdreich, Grundwasser, Oberflächenwasser und Abwärme. Alle Umweltwärmequellen zeichnen sich durch das relativ niedrige Temperaturniveau im Bereich von -20 bis +25 °Celsius aus, das nicht von Wärmekraftmaschinen genutzt werden kann.

Es lässt sich aber für die Erzeugung von Raumwärme nutzen, wenn man eine Maschine verwendet, welche der Umwelt die Wärme entzieht, verdichtet und an ein Wärmeübertragungsmedium abgibt. Diese Maschine wird als Wärmepumpe bezeichnet, wobei es sich technisch gesehen um eine klassische Kältemaschine handelt, nur dass hier die Wärmeabgabeseite genutzt wird. Sie nutzt den gleichen (Carnot-)Prozess wie ein Kühlschrank, bei dem die Wärmeentzugsseite verwendet wird. Bei entsprechender Konstruktion kann der Kreislaufprozess in der Maschine umgekehrt werden, sodass Wärmeentzugs- und Wärmeabgabeseite bei Bedarf getauscht werden können. Dies ist z. B. bei vielen Klimageräten für wärmere Regionen üblich, welche im Sommer zum Kühlen und in der kälteren Jahreszeit zum Heizen genutzt werden können. Optimal ist es, wenn in einem Gebäude gleichzeitig ein Wärme- und Kältebedarf besteht, sodass beide Seiten der Wärmepumpe/Kältemaschine genutzt werden könnten (z. B. bei Schwimmbädern zur Wassererwärmung und Luftentfeuchtung).

Die Geschichte der Wärmepumpe – einer Kältemaschine, die auch zur Wärmeerzeugung genutzt werden konnte – begann Ende des 19. Jahrhunderts. In Europa begann die gezielte Wärmegewinnung in den 1930er Jahren. In der Schweiz, einem Vorreiterland, wurden 1938 die ersten größeren Wärmepumpenanlagen zur Beheizung von Gebäuden in Betrieb genommen, u. a. im Rathaus der Stadt Zürich (Frischenschlager 2012, 19). Nach dem 2. Weltkrieg konnten Wärmepumpen auch in der Schweiz nicht an die ersten Erfolge anknüpfen und führten rund drei Jahrzehnte lang ein Nischendasein. Die 1960er bis Anfang der 1970er Jahre waren die große Zeit der Ölheizungen, da die zunehmende Ölförderung zunächst für sinkende Ölpreise sorgte. Folglich waren Wärmepumpen nicht wirtschaftlich zu betreiben und eine Nachfrage in Deutschland und Europa war nur für einzelne Sonderanwendungen[252] vorhanden. Unabhängig davon verbreiteten sich seit den 1950er Jahren vor allem in den USA und Japan kombinierte Klimageräte zur Kühlung und Heizung, die ebenso eine Kältemaschine verwenden und die Weiterentwicklung und Miniaturisierung von Kältemaschinen/Wärmepumpen voranbrachten (Zogg 2008, 43).

Da bei Wärmepumpen technisch gesehen vergleichbare Komponenten zum Einsatz kommen wie bei Kühlanlagen, handelt es sich im Prinzip um eine schon lange kommerziell genutzte und ausgereifte Technologie. Der Entwicklungsfortschritt bestand vor allem in der Miniaturisierung und der kontinuierlichen Verbesserung einzelner Komponenten der Wärmepumpe (Ochsner 23.12.2012; Kohnke 11.11.2013). Die Wärmepumpe kann Ende des 20. Jahrhunderts den Basistechnologien zugerechnet werden (Frischenschlager 2012, 5).

5.2 Phasen des Innovationsprozesses

Durch die Ölpreiskrisen der 1970er Jahre erlebten Wärmepumpen in der Phase vor 1990 in Deutschland einen ersten Nachfrageboom. Sie wurden überwiegend zur Brauchwassererwärmung eingesetzt. Die zumindest für Deutschland neue Technologie litt noch an etlichen „Kinderkrankheiten“ und traf

[252] Z. B. in Molkereien.

darüber hinaus auf Installateure, die noch wenig Erfahrung mit dieser Technik hatten. Beides zusammen führte zu Fehlfunktionen und brachte der Wärmepumpe ein schlechtes Image ein. Die schlechten Ersterfahrungen zogen einen deutlichen Nachfragerückgang nach sich.

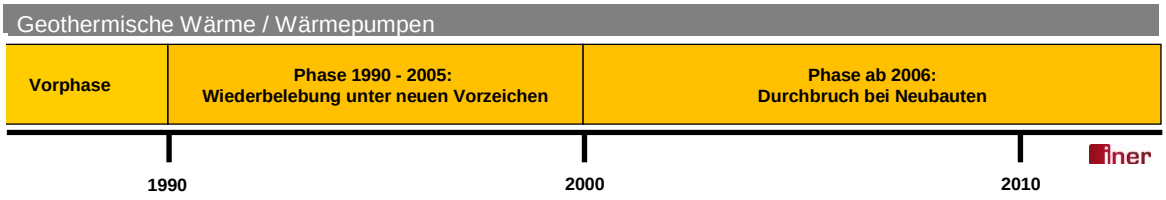


Abbildung 5-1: Innovationsphasen der Wärmeerzeugung mit Umweltwärme / Wärmepumpen

1990 begann sich das Blatt zu wenden. In der Schweiz, einem Land mit hohen Anteilen der Stromerzeugung mit Wasserkraft, hatten Wärmepumpen zu dieser Zeit bereits einen großen Anteil im Neubau erreicht. Inspiriert von diesem Erfolg, entdeckten nun deutsche Unternehmen der Elektrobranche (z. B. *Stiebel Eltron*) die Wärmepumpenproduktion als potenziell lukrative Sparte. Der Ölpreis war hoch und die schlechten Erfahrungen gerieten allmählich in Vergessenheit, sodass das Interesse an Wärmepumpen wieder stieg. Die Elektroindustrie und die Stromversorger unterstützten mit verbilligten Wärmepumpen-Stromtarifen und speziellen Wärmepumpen-Kampagnen den Aufschwung. Darüber hinaus stellten sie die „saubere Wärmepumpe“ in den Klimaschutzkontext, sodass Wärmepumpen zwischen 1995-2000 auch durch das MAP gefördert wurden (wenn auch in geringem Umfang). Angesichts der in Deutschland zu der Zeit noch niedrigen EE-Stromanteile wurde der Beitrag von Wärmepumpen als EE-Wärmetechnik kontrovers diskutiert.[253] Aufgrund des strittigen Beitrags zur CO_2-Minderung gehörte „Heizen mit Strom“ nach Auffassung der rot-grünen Bundesregierung nicht zu den klimapolitisch wünschenswerten Wärmetechniken. Im letzten Drittel der Phase, ab dem Jahr 1999 waren Wärmepumpen nur noch förderungswürdig, wenn sie mit EE-Strom betrieben wurden; ab 2001 wurden sie aus der MAP-Förderung gestrichen. Die Branche unterstellte der Politik ideologische Gründe und kämpfte vehement um die Gleichberechtigung der Technik und um die Anerkennung des Klimaschutzpotenzials. Als mit der EnEV 2002 die Anforderungen an die Gebäudeenergieeffizienz verankert wurden, profitierten Wärmepumpen davon: Insbesondere Luftwärmepumpen konnten nicht nur zur Wärmeerzeugung, sondern auch gut zur Wärmerückgewinnung eingesetzt werden.

Den Übergang zu einer neuen Phase ab 2006 markierte ein sprunghafter Anstieg der Nachfrage: Innerhalb von einem Jahr stieg der Absatz von 20.000 auf 50.000 Anlagen/Jahr und stabilisierte sich auf diesem Niveau, ohne dass die Strompreisgestaltung oder MAP-Förderung hierauf maßgeblichen Einfluss gehabt hätte. Vielmehr profitierte die Wärmepumpe von der Verschärfung der Effizienzkriterien der EnEV 2007 und der zwischenzeitlichen Konsolidierung der Technik (Effizienzgewinne, Zuverlässigkeit), von gestiegenen Ölpreisen und von ihrem neuen Image als möglicher „Puffer“ von Lastspitzen einer fluktuierenden Stromeinspeisung. Während Marktanteile der Luftwärmepumpe seither beträchtlich stiegen, sind die Anteile von Erdwärmepumpen auf bescheidenem Niveau geblieben.

[253] Der Technik wurde unterstellt, jegliches Ausstiegsszenario aus dem Betrieb fossiler und atomarer Kraftwerke zu behindern. Nach Wärmepumpe-aktuell 4/2000 war dies die Expertenmeinung des Wuppertal-Instituts.

5.3 Entwicklungen in der Vorphase bis 1990

5.3.1 Grundlegende Technologieentwicklung bei Wärmepumpen

Bei Wärmepumpen unterscheidet man je nach Art des Verdichters im Wesentlichen zwischen den dominierenden Kompressor-Wärmepumpen (mechanischer Antrieb) und Ad-/Absorptions-Wärmepumpen (thermischer Antrieb). Bei der Art der Wärmenutzung wiederum teilt sich das Gros der Anlagen zwischen Raumheizung und Wassererwärmung bzw. der Kombination von beidem auf. Kombigeräte zur Heizung im Winter und Kühlung im Sommer gewinnen in Deutschland erst langsam an Bedeutung. Wärmepumpen können als einziges Heizsystem (monovalent) eingesetzt werden, wenn die benötigten maximalen Vorlauftemperaturen unter 65 °C liegen.[254] Sind höhere Vorlauftemperaturen erforderlich, kann die Wärmepumpe die Grundlast abdecken und ein Spitzenkessel die Vorlauftemperatur auf das geforderte Niveau erhöhen (bivalenter Betrieb). Abhängig von der Effizienz der Wärmepumpe (Leistungszahl COP) bzw. des Wärmepumpen-Heizsystems (Jahresarbeitszahl JAZ), kann durch eine Wärmepumpe bei Einsatz einer Einheit Arbeit zwischen zwei und fünf (in Ausnahmefällen auch mehr) Einheiten Wärme der Umwelt entzogen werden.

Als Folge der ersten Ölpreiskrise von 1973, begann man sich im damaligen West-Deutschland für die Wärmepumpe zu interessieren. Nochmals verstärkt wurde dies durch die zweite Ölkrise 1979/80. Zu Beginn der Vorphase wurde bei der Wärmepumpe sehr viel experimentiert – zum Teil entstanden daraus skurrile, handwerklich fragwürdige Lösungen. Auch gab es technisch ausgefeilte und teure, dadurch aber letztlich unwirtschaftliche Lösungen.[255] Viele Wärmepumpen-Pionierunternehmen kamen aus dem Umfeld der Elektroheizungen und sahen in der Wärmepumpe eine effizientere Form der Elektroheizung. In dieser Phase wurden vor allem Luftwärmepumpen zur Erwärmung von Trinkwasser abgesetzt, die deutlich effizienter als elektrische Warmwasserbereiter mit Heizstab waren (Dienel 2004, 117).

Nach dem Nachfragehöhepunkt im Jahr 1980 sank die Nachfrage und erreichte bis 1990 ihren absoluten Tiefpunkt (vgl.

Abbildung 5-2). Begründet wurde dies vor allem mit mangelnden Fachkenntnissen aufseiten der Hersteller und Installateure (Goy et al. 1987, 113f.) sowie mit Anlagenfehlplanungen und in der Folge unzufriedenen Betreibern (Staiß 2000, I-68; Ochsner 23.12.2012; Kohnke 11.11.2013). Der Ruf der Technik litt in Deutschland erheblich, auch die Übernahme der Wartung der Wärmepumpen von Fremdanbietern durch Unternehmen wie *Stiebel Eltron* konnte daran wenig ändern (Kohnke 11.11.2013). In der Bundesrepublik Deutschland wurden in dieser Vorphase ganz vereinzelt auch Wärmepumpen in Wärmenetze eingebunden: So wurde 1986 in der Stadt Königsbrunn (Bayern) eine Fernwärmeversorgung mit einer 3,6 MW-Wärmepumpe aufgenommen, die den Wärmebedarf zu 85 % abdecken sollte (StMWV 1991, 164).

Auch in der ehemaligen DDR wurden in der Wärmepumpentechnik ab den 1950er Jahren Potenziale gesehen. Dort war es vor allem das Institut für Luft- und Kältetechnik an der TU Dresden, das sich mit der Thematik befasste. Auch hier waren es die Auswirkungen der ersten Ölkrise (drastische Reduzie-

---

[254] Bei großen Wärmepumpen sind seit wenigen Jahren auch zweistufige Systeme im Angebot, die bis zu 100°C Vorlauftemperatur ermöglichen.

[255] Beispielsweise entwickelten Volkswagen und Ruhrgas 1981 bis 1983 den sogenannten Thermodiesel, eine von einem VW-Dieselmotor mechanisch angetriebene Wärmepumpe mit Wärmerückgewinnung, Leistungsregelung und Rußfilter. Einige Pilotanlagen wurden gebaut. Die Wartungskosten für den Dieselmotor stellten sich aber schnell als zu hoch heraus, die Lebensdauer des Motors reichte nicht aus und das Aggregat war zu laut (Zogg 2008, 65).

rung der Öllieferungen aus der UdSSR), die ab 1974 zu einer intensiveren Beschäftigung mit der Technik führten. Am Ministerium für Wissenschaft und Forschung wurde ein „Zentraler Arbeitskreis Wärmepumpen“ eingerichtet, der Forschung und Prototypenbau koordinierte. Ab 1981 gab es eine Wärmepumpenanordnung[256], die besagte, dass die Warmwasserbereitung in Neuanlagen nicht mehr durch eine elektrische Direktheizung (Heizstab) erfolgen durfte. Es wurde eine Vielzahl von unterschiedlichen Wärmepumpen-Anlagen errichtet, vor allem in der Lebensmittelproduktion, aber auch für Wohn- und Sportstätten sowie im Zusammenhang mit Wärmenetzen. Zudem wurden in der Endphase des Wärmepumpenbooms auch kleine Wasser- und Luft-Wärmepumpen (12 bis 18 kW) für Einfamilienhäuser oder Etagenheizungen entwickelt. Doch blieben die Produktionszahlen nicht zuletzt wegen technischer Limitationen bis Ende der 1980er Jahre eher gering (Dienel 2004, 119ff.).

Obwohl Wärmepumpen bereits in den 1980er Jahren als weitgehend technisch ausgereift angesehen wurden (Goy et al. 1987, 129), gab es in dieser Phase technische Innovationen bei den benötigten Komponenten. Dies betraf den Marktdurchbruch neuer Kompressortypen (Scroll- und Schraubenkompressor), die sich abzeichnende Ablösung der ozonschädigenden Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als Kältemittel und Einführung der Mikroprozessorsteuerung (Zogg 2008, 45). Die Einführung der Mikroprozessorsteuerung erlaubte den Einsatz von mehr Sensoren im Kreislaufprozess der WÄRMEPUMPE, was die Temperaturregelung vereinfachte und verbesserte.

Als Wärmequelle für Heizungs-Wärmepumpen wurden zunächst Erdkollektorfelder oder auch unverglaste Aufdach-/Unterdachkollektoren verwendet. Neuland wurde 1980 in Deutschland mit dem ersten Erdsondenkollektor als Wärmequelle betreten. Dafür wurden acht je 50 m tiefe Sonden gebohrt (Zogg 2008, 64). Wärmepumpen zur Raumheizung, die Umgebungsluft nutzen, waren erst im Lauf der 1980er Jahre verfügbar. Die bis dahin angebotenen Luftwärmepumpen waren nur für die Brauchwassererwärmung entwickelt worden und nutzten die Umgebungswärme in Kellerräumen mit dem erfreulichen Nebeneffekt, dass diese dabei entfeuchtet wurden.[257]

Die sogenannten Jahresarbeitszahlen (JAZ)[258] lagen bei serienmäßig hergestellten und gut eingebundenen Wärmepumpen-Heizanlagen in den 1970er Jahren (als 1. Generation betrachtet) im Bereich um zwei, bei schlechten Anlagen auch deutlich darunter (Zogg 2008, 47). Die 2. Generation der in den 1980er Jahre errichteten Anlagen erreichte zum Teil schon eine JAZ um drei (StMWV 1991, 159). Zudem waren diese Anlagen kleiner geworden und benötigten weniger Kältemittel.

In den 1980er Jahren wurden für den größeren Leistungsbereich ab 200 kW auch gas- oder dieselmotorisch angetriebene Wärmepumpen angeboten, die sich aber wegen Pannen und hoher Unterhaltskosten gegenüber den elektrisch angetriebenen Wärmepumpen nicht durchsetzen konnten.

Für Funktions- und Vergleichstests wurden in dieser Phase sowohl vom Rheinisch-Westfälischen TÜV als auch vom TÜV-Bayern neutrale DIN-Prüfstellen für Wärmepumpen aufgebaut, um DIN-Gütesiegel („DACH-Gütesiegel“) für Wärmepumpen auszustellen. Auch an der Fachhochschule Karlsruhe wurde 1980 ein Wärmepumpenteststand errichtet, an dem bis 1985 rund 90 Wärmepumpen nach der neuen DIN 8900 getestet wurden. Als die Nachfrage nach Wärmepumpen ab 1985 in Deutschland zurückging, wurde der Teststand Anfang der 1990er Jahre aufgegeben (Zogg 2008, 65). Der TÜV Bayern hatte bei 43 nach der neuen DIN 8900 (ab 1980) geprüften elektrischen Wärmepumpen noch viele Funktions- und Sicherheitsmängel festgestellt, obwohl sich durch die definierten technischen

---

256 Gesetzblatt der DDR, Teil I, Nr. 27 vom 15.09.1981.

257 Durch die Abkühlung der Luft am Verdampfer der Wärmepumpe kondensiert die Luftfeuchtigkeit aus und kann abgeleitet werden.

258 Erläuterung zur Berechnung siehe EE-Wärme-Info.

Anforderungen der DIN allgemein die Leistungsfähigkeit der WÄRMEPUMPE deutlich verbessert hatte (Goy et al. 1987, 131).

Mittelbar bedeutsam war die zunehmende Verbreitung der sogenannten Plattenheizkörper in Neubauten und Sanierungen, welche die bis dahin üblichen Gussheizkörper verdrängten und deutlich niedrigere Vorlauftemperaturen (40° bis 60 C) ermöglichten, die auch von Wärmepumpen erreicht werden konnten. Insbesondere die in Neubauten langsam Verbreitung findenden Fußbodenheizungen mit nochmals niedrigeren Vorlauftemperaturen von 25° bis 35 °C bildeten eine ideale Voraussetzung für den Einsatz von Wärmepumpen.

5.3.2 Politische Impulse und Rechtsentwicklung auf den verschiedenen Ebenen

Im Jahr 1974 setzte die Europäische Gemeinschaft EG ein Programm zur Rationellen Energienutzung (REN) auf, um die Einfuhr von Erdöl durch die Entwicklung eigener Energiequellen und durch Energieeinsparung zu reduzieren. Die Förderung schloss Wärmepumpen mit ein. 1974 hatte die Förderung für „neue Energiequellen“ (thermonukleare Fusion, geothermische Energie, Sonnenenergie, Wind und Seewasser) insgesamt ein Volumen von 54 Mio. Rechnungseinheiten (RE) (ca. 69 Mio. Euro). EG-weit waren für den Bereich der geothermischen Energie zwischen 1974 und 1978 13 Mio. RE vorgesehen (EG-Kommission 1978, 14ff.).

Das REN-Programm der EG korrespondierte mit dem „1. Rahmenprogramm Energieforschung“ (1974-1977) der Bundesregierung. Darin berücksichtigte das Bundesforschungsministerium (Forschungsminister war Horst Ehmke (SPD)) erstmals die Erarbeitung von „experimentell gesicherten Daten für die Einsatzmöglichkeiten von Sonnen-, Wind- und geothermischer Energie“ (Hahne 2005, 131). Die Forschung und Entwicklung von Wärmepumpen wurde unter dem Aspekt der Einsparung und Speicherung von Energie im Bereich der Steigerung der Effizienz industrieller Prozesse gefördert (EG-Kommission 1978, 101). In welchem Maße Wärmepumpen für den privaten Anwendungsbereich davon profitieren konnten, kann daraus nicht abgeleitet werden.

Ende der 1970er Jahre wurde Wärmepumpen offenbar eine Bedeutung für die Energieeinsparung beigemessen: im Modernisierungs- und Energiespargesetz (ModEnG)[259] aus dem Jahr 1978 wurde sie erstmals im Rahmen der Förderung für Modernisierungsmaßnahmen, die auf eine nachhaltige Einsparung von Heizenergie zielten, als technische Möglichkeit der Energieeinsparung explizit erwähnt. Das erste bundesweite Energieeinspargesetz begünstigte im Zusammenwirken mit länderspezifischen Fördermöglichkeiten den Einbau von Wärmepumpen.

5.3.3 Akteure: frühe Protagonisten für Wärmepumpen

5.3.3.1 Die Schweiz als Vorreiter

Infolge der Ölpreiskrisen der 1970er Jahre und der Verfügbarkeit von Strom aus Wasserkraft setzte die Schweiz frühzeitig auf Wärmepumpen.[260] Die Einführung der Wärmepumpen war in den 1980er Jahren von zahlreichen „Kinderkrankheiten“ begleitet (Steinmann 19.06.2009). Um diese zu überwinden, etablierte das Bundesamt für Energie (BfE) in der Schweiz eine über 30 Jahre andauernde Forschungsförderung zur Verbesserung der Effizienz und Zuverlässigkeit. Diese beinhaltete ab 1992

[259] Vgl. RECHTSQUELLENVERZEICHNIS.

[260] Die strombasierte Wärmeversorgung war offenbar kompatibel mit der energiepolitischen Ausrichtung der Stromerzeugung aus Wasserkraft und später auch durch Atomkraftwerke. In der Schweiz wurden in den 1970ern (1969, 1971 und 1979) drei KKW in Betrieb genommen.

auch ein gezieltes Marketing durch die Fördergemeinschaft Wärmepumpen Schweiz. Deutsche Pioniere der Wärmepumpenherstellung benennen die Wärmepumpenstrategie der Schweiz als Impulsgeber für den Einstieg in die Wärmepumpen-Herstellung (Kohnke 11.11.2013).

5.3.3.2 Tagungen und beginnende Forschungsaktivitäten

Das Interesse an Energieeinsparung und alternativen Technologien schlug sich auch in Wissenschaft und Forschung nieder. Die erste Wärmepumpen-Tagung fand 1977 in Essen statt (Zogg 2008, 64). Sie wurde von Professor Fritz Steimle[261] und Hans-Ludwig von Cube organisiert. Beide gaben 1978 das erste deutschsprachige Handbuch Wärmepumpen im VDI-Verlag heraus.

Auf europäischer Ebene gab ebenfalls 1978 eine Tagung über Wärmepumpen-Forschung, Entwicklung und Anwendung in Brüssel einen ersten Überblick über die Ergebnisse von entsprechenden Förderprojekten auf europäischer Ebene (Ehringer & Hoyaux 1979). Der Schwerpunkt lag in dieser Phase aber noch auf der Kühlung bzw. Kälteerzeugung.

5.3.3.3 Herstellerunternehmen als Treiber von Technikentwicklung und -optimierung

In Deutschland hatten Herstellerfirmen wie z. B. *Stiebel Eltron* umfängliche Erfahrungen im Bereich der Elektroheizungen und Warmwasserbereitung mit Strom. Wärmepumpen boten gegenüber konventionellen Elektroheizungen mehr Komfort und höhere Effizienz. Angesichts dieser Vorteile und angeregt durch die Wärmepumpenstrategie der Schweiz, stieg *Stiebel Eltron*, ein damals schon großes Unternehmen der Elektronikbranche, in die Produktion ein. Auch *Viessmann*, ein weiteres großes Hersteller- und Vertriebsunternehmen, produzierte in den 1970er Jahren Wärmepumpen. Diese großen Unternehmen wiesen Interessenkonvergenzen mit den konventionellen Stromversorgern auf.

Daneben gab es auch den Typus des „Gründers“, der sich vornehmlich aus idealistischen bzw. Umweltschutzmotiven für die Wärmepumpenentwicklung engagierte. Pionierunternehmen in Österreich und in Deutschland waren z. B. die Firma *Ochsner* (Österreich) und die *Waterkotte GmbH* (Deutschland)[262], die 1978 bzw. 1972 als kleine Unternehmen begannen und sich mit qualitativ hochwertigen Produkten einen Nischenmarkt eroberten.

Da Impulse aus der Forschung fehlten, fanden technische Entwicklungen in den Herstellerunternehmen statt. Die fortwährende Verbesserung der Technik war nicht zuletzt vom harten Konkurrenzkampf getrieben. Als der deutsche Markt im Verlauf der 1980er Jahre fast völlig zusammenbrach, überlebten nur Firmen, bei denen Wärmepumpen nicht das Hauptprodukt waren bzw. solche Firmen, die qualitativ hochwertige Geräte produzierten und diese auch im Ausland (z. B. Schweiz und Österreich) verkaufen konnten. Mit wieder einsetzender Nachfrage zu Beginn der 1990er konnten sie ihre Produktreihen ausbauen (vgl. Kapitel 5.4.3.1).

5.3.3.4 Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein e. V. (DKV)

Der Deutsche Kälte- und Klimatechnische Verein e. V. ist der einzige deutsche technisch-wissenschaftliche Verein für die Bereiche der Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik. In den 1970er Jahren griff der Verband ein umweltrelevantes Thema, die Diskussion über die Schädigung der Ozonschicht durch FKW, auf. Ein DKV-Arbeitskreis begleitete die Umsetzung der FCKW-Halon-Verordnung

---

[261] Professor für Angewandte Thermodynamik und Klimatechnik an der Universität Duisburg-Essen. Steimle war 20 Jahre Präsident des Internationalen Instituts für Kältetechnik.

[262] Vgl. Waterkotte (1972); Die Firma Waterkotte spezialisierte sich frühzeitig auch auf Erdwärmepumpen und baute dieses Segment fortlaufend aus. Zur Unternehmensgeschichte vgl. UNTERNEHMENSÜBERSICHT.

1991 und den Entwurf der EG-Verordnung 3952/92 zum FCKW-Verbot auf europäischer Ebene und trieb die Einführung und Zertifizierung neuer, weniger klimaschädlicher Kältemittel voran (Dienel 2004, 160ff.). Mit dem Einsatz regenerativer Energien für Kälteerzeugung, Klimatisierung und Wärmepumpen hat sich der DKV offenbar nicht befasst.

5.3.4 Markt- und Kostenentwicklung

Nachfrage trotz hoher Kosten

Die Markt- und Kostenentwicklung in der Vorphase war – vergleichbar mit der Solarthermie – von einer großen Variantenvielfalt und teurer handwerklicher Herstellung gekennzeichnet. Erst mit dem Schritt hin zu industrieller Serienproduktion hätten größere Kostensenkungen realisiert werden können. Mitte der 1970er Jahre lagen die Kosten für die Wärmepumpe zwischen 4.000 und 7.500 Euro. Ein Heizölkessel war zu der Zeit dagegen für rund 1.500 bis 2.000 Euro zu bekommen. Hinzu kamen die höheren Kosten für eine Fußbodenheizung bzw. größere Plattenheizkörper, um bei niedrigeren Vorlauftemperaturen die gleiche Wärmeabgabeleistung im Raum zu erzielen. Insgesamt war eine Wärmepumpen-Heizanlage rund 5.000 Euro teurer als eine konventionelle Ölheizung. Da zu dieser Zeit die laufenden Energiekosten für beide Heizsysteme etwa auf gleicher Höhe lagen (ca. 3,50 Euro/m² und Jahr), war für Investoren nicht zu erwarten, dass die höheren Wärmepumpen-Anlagenkosten durch Einsparungen im Betrieb kompensiert werden könnten (Kirn 1978, 584). Hierin lag der wesentliche Grund für den relativ geringen Anteil von Heizungs-Wärmepumpen in der Vorphase. Anders verhielt es sich mit den Brauchwasser-Wärmepumpen (als Luft-Wärmepumpen), die eine effiziente Alternative zum normalen elektrischen Warmwasserboiler darstellten. Hier stand den höheren Anschaffungskosten ein geringerer Stromverbrauch im Betrieb gegenüber, was auch die hohe Nachfrage nach diesem Wärmepumpen-Typ in einer Phase erklärt, in der auch elektrische Warmwasserboiler insbesondere bei Altbauten ohne Zentralheizung ihre Hochphase hatten. Gefördert wurden Wärmepumpen von einzelnen Bundesländern.

Die Bestandsangaben und Absatzzahlen von Wärmepumpen in dieser Phase variieren stark und beruhen zum Teil auf Schätzungen und Hochrechnungen, da sich viele Hersteller erst im Lauf der Zeit dem BWP/BDH angeschlossen haben und ihre Absatzzahlen für statistische Meldungen abgeben (BWP 2013, 33). So sollen im Jahr 1975 in Deutschland ca. 2.500 bis 3.000 Wärmepumpen installiert gewesen sein. Nach einer Erhebung des VDEW[263] waren es zum Jahresende 1977 rund 5.000 Wärmepumpen (Kirn 1978, 584). Während im Jahr 1979 „nur“ 7.650 Wärmepumpen abgesetzt wurden[264], sollen es 1980 über 25.000 Stück gewesen sein. In den Folgejahren sank der Absatz jedoch wieder bis auf unter 6.000 Anlagen pro Jahr (1983, vgl. Abbildung 5-2).

Die Bundesregierung ging für das Jahr 1983 von rund 75.000 installierten Heiz-Wärmepumpen und 130.000 Brauchwasser-Wärmepumpen aus.[265] Der Nachfragehöhepunkt im Jahr 1980 lässt sich wesentlich durch die 1979/80 eingetretene 2. Ölkrise erklären. Der massive Nachfragerückgang in den Folgejahren, ist vorwiegend mit technischen Problemen bei der Wärmepumpe bzw. durch schlecht ausgeführte Einbindung in die Hausverteilung zu erklären (vgl. Kapitel 5.3.1).

---

[263] Vereinigung deutscher Elektrizitätswerke, heute Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW).

[264] Zogg (2008, 64) zählt bis 1979 für Deutschland nur rund 500 installierte Wärmepumpen.

[265] In Goy et al. (1987, 129) werden noch andere Zahlen genannt: Eine VDEW-Teilbefragung (459 Mitgliedsunternehmen) für 1982 soll rund 39.000 installierte elektrische Kompressions-Wärmepumpen ergeben haben. Bei einer EVU-Befragung für 1982 wurden 43.000 Aggregate geschätzt. Selbst wenn es sich nur um hochgerechnete Stichproben oder Teilerhebungen handelte, gibt es Diskrepanzen zu den Zahlen der Bundesregierung für 1983.

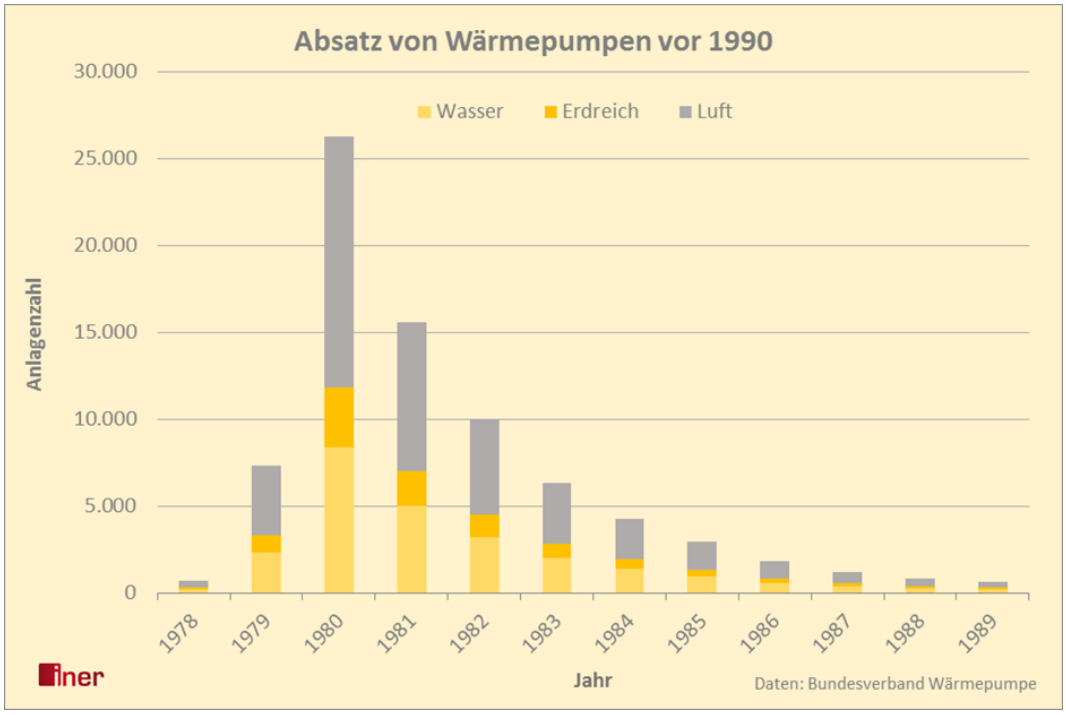


Abbildung 5-2: Marktentwicklung Wärmepumpen Phase 1978 bis 1989

5.4 Phase 1990 bis 2005: Wiederbelebung unter neuen Vorzeichen

5.4.1 Technologieentwicklung

5.4.1.1 Wärmepumpen haben Reife erreicht

Bei Wärmepumpen ist die Ausgangslage für die hier beschriebene Phase vergleichbar mit der Solarthermie (vgl. Kapitel 4.4). Wesentliche technische Entwicklungen waren bereits zum Teil deutlich vor 1990 erfolgt. Die Zuverlässigkeit der Anlagen nahm zu. Die technischen Entwicklungsbemühungen zielten weiterhin darauf ab, das zweifellos weiter vorhandene Optimierungspotenzial zu erschließen und die Gesamteffizienz und Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpen weiter zu steigern. So konnte bei Luftwärmepumpen die durchschnittliche Leistungszahl (COP) in 15 Jahren um rund 30 % von 2,6 auf 3,4 gesteigert werden. Bei den Erdwärmepumpen betrug die Steigerung immerhin 17 % – von durchschnittlich 3,5 auf 4,1 (bei Einrechnung des Pumpstroms), wobei bei den besten Maschinen in diesem Zeitraum keine merklichen Steigerungen mehr festzustellen waren (Zogg 2008, 70f.).

5.4.1.2 Umstellung auf FCKW-freie oder natürliche Kältemittel

Der Anfang dieser ersten Phase war zunächst von einem schnellen Ausstieg aus den synthetischen chlorierten Kältemitteln FCKW (verboten ab 1995) und HFCKW (verboten ab 2000) in Deutschland geprägt (vgl. auch Kapitel 5.4.4.2). Die als Ersatz neu eingeführten FKW-Kältemittel (bei kleinen Wärmepumpen vor allem R407C, R404A) erzielten gute Resultate in den Wärmepumpen, haben jedoch ein sehr hohes Treibhauspotenzial. Sollte es in Zukunft aus Gründen des Klimaschutzes auch zu einem FKW-Ausstieg kommen, würden diese durch die sogenannten „natürlichen“ Kältemittel wie z. B. Propan (R290), Butan (R600a), Ammoniak (R717) oder CO_2 (R744) ersetzt werden.

Die ersten Wärmepumpen mit dem „natürlichen“ Kältemittel Propan hat 1993 *Stiebel Eltron* vorgestellt (Zogg 2008, 99). Dieses Kältemittel ist jedoch brennbar, weshalb es bis heute nur wenig zum Einsatz kommt. Zudem ist sein Einsatz in wichtigen Märkten wie den USA oder Japan nicht erlaubt. Das ungiftige und klimaneutrale Kältemittel[266] CO_2 war sogar bis Ende der 1930er Jahre ein gängiges Kältemittel und wurde von den FCKW verdrängt (BINE Informationsdienst 2000, 3). Ein Nachteil von CO_2 ist der sehr hohe Arbeitsdruck, der spezielle Komponenten bei Kompressoren und Wärmetauschern erfordert. Vorteile sind die kompakte Bauweise und der Betrieb bei bis zu -25 °C Umgebungstemperatur, wohingegen Wärmepumpen mit FKW bis maximal -10 °C arbeiten. Wegen dieses Vorteils gerade bei tiefen Außentemperaturen bieten bereits eine Reihe von Anbietern Luft-Wärmepumpen mit dem klimaneutralen Kältemittel CO_2 an.

5.4.1.3 Effizienzsteigerungen bei Komponenten und Gesamtsystem

Ab den frühen 1990er Jahren hat der Scrollkompressor den Kolbenkompressor abgelöst und wurde für kleinere Wärmepumpen zum Standard. Zudem wurde die Effizienz kleiner Kompressoren deutlich gesteigert (Zogg 2008, 68). Insgesamt verlagerte sich der Entwicklungsschwerpunkt in dieser Phase von der Innovation einzelner Komponenten hin zur Optimierung des Gesamtsystems bestehend aus Wärmepumpen, Wärmequelle und zu beheizendem Objekt. Begünstigt wurde die Entwicklung durch die Fortschritte in der Informationstechnik, welche sowohl die Anlagensteuerung vereinfachten als auch Simulationsrechnungen bei Konstruktion und Auslegung von Wärmepumpen erheblich verbesserten. Ist im Gebäude eine kontrollierte Lüftungsanlage vorhanden, können Wärmepumpen mit integrierter Wärmerückgewinnung eingesetzt werden. Für den reinen Warmwasserbedarf in den Sommermonaten ist auch die Integration einer solarthermischen Anlage möglich, oft aber nicht wirtschaftlich. Diese Maßnahmen können die Arbeitszahl der Wärmepumpen-Anlage steigern.

5.4.2 Politische Impulse und Entwicklung des rechtlichen Rahmens

5.4.2.1 Kaum Impulse auf EU-Ebene

Auf Ebene der EU wurden in dieser Phase die Forschungsprogramme THERMIE und JOULE implementiert. In den Programmen werden – neben anderen nicht fossilen Energieträgern – ebenfalls Forschungsvorhaben im Bereich der Geothermie und Tiefengeothermie gefördert. Ob hierunter auch die Nutzung von Erdwärme mittels Wärmepumpen fiel, lässt sich trotz eingehender Recherche nicht mit Bestimmtheit sagen.

5.4.2.2 Bundesebene: Marktwachstum trotz fehlender Förderimpulse

Bis 1995 war eine Förderung der Wärmepumpentechnologie auf Bundesebene neben den Rahmenprogrammen Energieforschung nur über das Modernisierungs- und Energieeinspargesetz (ModEnG) möglich. Eine weitere Fördermöglichkeit wurde ab 1995 in den Förderrichtlinien des Bundes aufgenommen (vgl. Kapitel 5.4.2.2). Protagonisten der Wärmepumpenbranche (wie z. B. das Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik e. V., IZW) sahen durch die Aufnahme von Luft-/Wasser-, Wasser-/Wasser- und Sole-/Wasserwärmepumpen in die MAP-Förderung eine „zweite Wärmepumpen-Renaissance“ eingeleitet (IZW 2002c). Zwischen 1995 und 1998 wurden 3.675 bzw. 30 % der in

[266] Dieses CO_2 wird in der Regel durch Luftzerlegungsanlagen aus der Luft gewonnen und führt nach der Freisetzung nicht zu einer zusätzlichen CO_2-Belastung der Atmosphäre.

diesem Zeitraum verkauften Wärmepumpen mit umgerechnet mehr als 8 Mio. Euro gefördert.[267] Die Wirkung der MAP-Förderung auf die Verkaufszahlen lässt sich allerdings schwerlich nachweisen. Sie stiegen zwar mit ca. 4.500 Stück um das Zehnfache im Vergleich zu 1990 an, diese Entwicklung lag aber durchaus im Nachfragetrend, der sich auch nach dem Förderstopp 2001 fortsetzte (Kapitel 5.4.5).

Im MAP 1999 wurde die Zuwendung auf Wärmepumpen, die mit *regenerativem* Strom betrieben wurden, beschränkt. Dies bedeutete eine wesentliche Begrenzung, denn die Wirtschaftlichkeit war bei reinem Ökostrombezug infrage gestellt. Ab 2001 wurde die Förderung schließlich vollständig (bis zum Jahr 2008) ausgesetzt. Die rot-grüne Bundesregierung begründete dies – unterstützt von der Fachmeinung des UBA – damit, dass erdwärmegestützte elektrische Wärmepumpen zwar eine Treibhausgasreduktion von bis zu 35 % erreichten, dies aber im Vergleich zu Biomasse-Heizungen, die ein Reduktionspotenzial von mindestens 85 % hätten, nicht ausreichend sei: „Elektrische Wärmepumpen schonen (…) Umwelt und Klima nicht genug, um im Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien gefördert werden zu können“ (Schuberth 2007). Der Ausschluss der Wärmepumpen aus der MAP-Förderung bestätigte die Einschätzung, dass die bundespolitischen Förderimpulse für Wärmepumpen unzureichend bzw. wenig effektvoll waren (Schöler 2002).[268] Die Wärmepumpen-Branche bemängelte überdies, dass die sogenannte „Ökosteuer“ falsche Signale setze und die Bauherren verunsichere. Die Ökosteuer führe zu einer Erhöhung der Stromkosten um etwa 25 % und mache damit die Wärmepumpenheizung aus wirtschaftlichen Gründen unattraktiv (IZW 2001).

Die nach langem Ringen im Jahre 2002 verabschiedete Energieeinsparverordnung (EnEV) wurde zunächst als ein positives Signal gewertet, welches die Vorteile der Effizienzgewinne durch Wärmerückgewinnung mit Wärmepumpen verdeutlichen würde. In der praktischen Anwendung war die EnEV jedoch zu kompliziert, als dass sich daraus Vorteile für die Wärmepumpen ergaben. Außerdem hatten Wärmepumpen weiterhin mit den Nachteilen höherer Investitionskosten zu kämpfen. Um diese auszugleichen, boten die Energieversorgungsunternehmen Zuschüsse zur Anschaffung von Wärmepumpen sowie günstige Wärmepumpen-Stromtarife an.

So war die Phase ab Mitte der 1990er Jahre durch verschiedene Kontroversen um die Klimaschutzwirkung von Wärmepumpen gekennzeichnet. Während die Branche bemüht war, den positiven Nutzen der CO_2-Einsparung und der Effizienz zu betonen, reagierte die politische Ebene verhalten: Stromheizungen, die vornehmlich Kohle- und Atomstrom verbrauchten, passten nicht in das Konzept der rot-grünen Bundesregierung.[269] Zudem schien das Interesse großer Stromkonzerne (z. B. RWE) an der Wärmepumpentechnologie suspekt, zu offensichtlich war deren Interesse an der Sicherung des Stromabsatzes. Die Wärmepumpe fiel im Jahr 2001 aus der MAP-Förderung heraus. Angesichts der Ablehnung der rot-grünen Bundesregierung und der fortgesetzten Förderung anderer Technologien fühlte sich die Wärmepumpen-Branche zu Unrecht benachteiligt.

Das Bundeswirtschaftsministerium unterstützte die Technologie aber weiterhin und versuchte, die Wärmepumpe über internationale Kanäle auf dem Markt zu etablieren. Vertreten durch den Projektträger Energieforschung des Forschungszentrums Jülich und das IZW, trat das Bundeswirtschafts-

---

[267] Einzige Bedingung für einen Zuschuss war, dass die Wärmepumpen mit chlorfreien Arbeitsmitteln betrieben werden (Kapitel 5.4.4.2).

[268] Sowohl die Forschungsförderung als auch das Eigenheimzulagegesetz und das KfW-CO_2-Minderungsprogramm waren 2002 ausgelaufen, das MAP ab 2001 ausgesetzt (Schöler 2002).

[269] Das Umweltministerium wird wie folgt zitiert: „Der verstärkte Einsatz von elektrischem Strom im Wärmebereich ist angesichts des Atomausstiegs und einer derzeit auf fossiler Basis basierenden Stromversorgung klimapolitisch problematisch“ (IZW 2000a).

ministerium im Jahr 2002 dem „IEA Implementing Agreement on Heat Pump Technologies“ (HPP) und dem „IEA Heat Pump Centre“ (HPC) bei. Ziel war es, durch Koordinierung wissenschaftlicher Tätigkeiten und den Austausch von Forschungsergebnissen die Wärmetechnologie und die Marktsituation von Wärmepumpen zu verbessern (IZW 2002a). Dieses Beispiel zeigt, dass die Ressortpolitiken durchaus antagonistisch waren. Bemerkenswert ist, dass die Nachfrage nach Wärmepumpen trotz dieser widersprüchlichen Vorgehensweise auch ohne eine bundesweite Förderung weiter wuchs.

5.4.2.3 Landesebene: Marketing für Wärmepumpen

Während sich die Bundesebene zurückhielt, spielten Fördermaßnahmen einzelner Landesregierungen, allen voran Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen sowie zahlreicher überregionaler, regionaler und städtischer Energieversorger eine wichtige Rolle. Ab 1996 fanden zahlreiche Vor-Ort-Aktivitäten statt, die den Einsatz von Wärmepumpen fördern sollten.

Im Jahr 1993 wurde in Bayern der „Initiativkreis Wärmepumpe e. V.“ (IWP)[270] gegründet. Auf dessen Initiative wurden 1996 die „1. Bayrische Wärmepumpen-Wochen“ durchgeführt. Ziel war es, die Technik durch Marketing-Aktionen bekannter zu machen und für eine breitere Nutzung zu werben.

In Baden-Württemberg wurde unter Schirmherrschaft des damaligen Wirtschaftsministers Walter Döring im Jahr 2000 die Landesinitiative „Förderung der Wärmepumpe durch das Fachhandwerk und kompetente Partner in Baden-Württemberg“ gegründet. Das als Marketing-Aktion konzipierte Landesprogramm (IZW 2000b) sollte dazu beitragen, den Anteil regenerativer Energien bis zum Jahr 2010 zu verdoppeln. Initiatoren waren das Informationszentrum Energie im Landesgewerbeamt und die baden-württembergischen Fachverbände „Sanitär-Heizung-Klima“ sowie „Elektro- und Informationstechnik“.

Im November desselben Jahres initiierte Nordrhein-Westfalen – nach den guten Erfahrungen des IWP zuvor in Bayern – eine umfassende Marketing-Aktion: die sogenannten „Wärmepumpen-Wochen“ (Baumann 2000). Unterstützt und durchgeführt wurde die Aktion von einer breiten Akteurskoalition.[271] Landesweit fanden über 200 Veranstaltungen und Aktionen statt. Die Wärmepumpen-Woche wurde daraufhin jährlich wiederholt. Nach Einschätzung der Branche brachte sie bereits 2002 eine Zunahme konkreter Anfragen um 20 % und einen um 45 % gesteigerten Absatz von Wärmepumpen in NRW. Zudem investierten Landesregierung und Hersteller bis Ende 2003 über 600.000 DM (306.000 Euro) in Werbeaktionen für elektrische Wärmepumpen (Köpke 2001). Verstärkt wurden die höheren Verkaufszahlen durch die Förderung über das REN-Programm in NRW (Schöler 2002).

Die Länder unterstützten insbesondere die Erdwärmepumpen zudem durch die Erfassung und Aufbereitung des Erdwärmepotenzials für Erdwärmekollektoren und -sonden. In Bayern, Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg wurden in der Folge sogenannte Geothermieatlanten veröffentlicht, die dem Handwerk und privaten Anwendern Auskunft über die zu erwartende Wärmebereitstellung gaben. Darüber hinaus befassten sich die Länder ab 2003 mit der Ausarbeitung von Arbeitshilfen und Leitfäden für die wasserrechtliche Genehmigung von Erdwärmepumpen (vgl.

---

[270] Initiiert von bayerischen Energieversorgungsunternehmen, schlossen sich 1993 Hersteller, Planer, Architekten, Installateure, Fachverbände, Ministerien und Universitäten im IWP zusammen. Ziel war es, die Wärmepumpe als umweltfreundliches Heizsystem zum Erfolg zu führen.

[271] Landesinitiative Zukunftsenergie NRW in Kooperation mit den Fachverbänden Elektrotechnische Handwerke und Sanitär-Heizung-Klima, der Energieagentur NRW, der Verbraucherzentrale NRW und der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke e.V. (VDEW). Schirmherr war das Ministerium für Wirtschaft und Mittelstand, Technologie und Verkehr des Landes unter Staatssekretär Jörg Hennerkes.

Kapitel 5.4.4.1), die das Verfahren transparenter machen und vereinfachen sollten (Siegert 11.08.2011).

5.4.3 Akteure und Akteurskonstellationen

5.4.3.1 Herstellerunternehmen und Handwerk als Treiber des Diffusionsprozesses

Mit wieder einsetzender Nachfrage zu Beginn der 1990er Jahre bauten die Herstellerunternehmen, die die Krise der 1980er Jahre überstanden hatten, ihre Produktreihen aus. Dabei konnten sie an den bereits fortgeschrittenen Stand der Technikentwicklung anknüpfen. Probleme bereiteten jedoch weiterhin die fachgerechte Installation und Einbindung der Anlage, an der z. T. mehrere Gewerke beteiligt waren. Mangels einschlägiger Fachkräfteausbildung übernahmen die Hersteller nicht nur die Schulung von Installateuren, Heizungsbauern und Elektrotechnikern, um diese mit der installationsseitig anspruchsvollen Technik vertraut zu machen, sondern boten auch Fortbildungen für Haustechnikplaner an. Vor dem Hintergrund der Vertriebserfahrungen mit anderen Heizungssystemen war insbesondere den großen Herstellern wie *Viessmann* die Schlüsselstellung des Handwerks für die Anwendung der Technik bewusst. Durch den Ausbau der Fortbildungsangebote und das Angebot von Serviceleistungen (Lieferservice, Abwicklung von Reklamationen) bauten sie die Hersteller-Kunden-Bindung aus.

5.4.3.2 Institutionalisierung der Branche auf Verbandsebene

Wärmepumpen waren als strombetriebene Geräte eng mit der Elektroindustrie verbunden. Daher leistete in dieser Phase v. a. der Zentralverband der Elektroindustrie (ZVEI) mit seiner Fachgruppe Wärmepumpen wichtige fachliche Unterstützung. Für die Anerkennung als Klimaschutztechnologie setzte sich der 1993 gegründete Initiativkreis WärmePumpe e. V. (IWP; vgl. Fn 270) ein. Das wiedererwachende Interesse an Wärmepumpen in den 1990er Jahren wurde durch die einsetzende Klimaschutzdebatte zusätzlich befördert. Wärmepumpenhersteller und ihre Verbände stellten den Beitrag von Wärmepumpen zu einer klimafreundlichen und nachhaltigen Energieversorgung stärker in den Vordergrund. So ging der IWP (2000, 9) davon aus, dass jede Wärmepumpe das von der Bundesregierung bis zum Jahr 2005 gesteckte CO_2-Reduktionsziel von 25 % übererfüllen würde.[272] Im Jahr 2002 benannte sich der IWP in Bundesverband Wärmepumpe e. V. (BWP) um. Der Verband etablierte sich als dauerhafte Institution und stärkte 2007 seinen politischen Einfluss durch den Umzug nach Berlin.

Mit der European Heat Pump Association (EHPA) ist die Wärmepumpenbranche seit dem Jahr 2000 auf europäischer Ebene vertreten: Auch dort geht es dem Verband darum, die Anerkennung von Wärmepumpen als „Schlüsseltechnologie für die Erreichung der EU-Energieeinspar- und Klimaschutzziele“ zu erreichen. Die EHPA betreibt darüber hinaus das EUCERT-Programm für die Ausbildung und Zertifizierung von Wärmepumpeninstallateuren („European Certified HP Installer“), das die Qualifikation der Installateure verbessern soll.

[272] Wärmepumpen werden als eine Technologie beworben, die ihre Energie durch Nutzung der gespeicherten Sonnenwärme zu 75 % von der Sonne bezieht. Pro Wärmepumpe beträgt nach IWP (2000, 9) die CO_2-Minderung gegenüber Ölkesseln 55 %, gegenüber üblichen Gaskesseln 40 % und gegenüber Gasbrennwertkesseln 30 %.

5.4.3.3 Stromversorger: Treiber der Diffusion durch Wärmepumpentarife

Die Erzeugung von Wärme mit Strom lag (und liegt) im Interesse der Stromversorger, die damit Marktanteile und Absatz langfristig sichern. So reizten Stromversorgungsunternehmen den Einsatz von Wärmepumpen an, indem sie günstige Wärmepumpentarife anboten. Der verbilligte Strombezug war ausschlaggebend dafür, dass die Wärmepumpe überhaupt wirtschaftlich konkurrenzfähig zu anderen Heizungstechniken war und sich Anwender für Wärmepumpen entschieden. Kritiker sprachen von einer Quersubventionierung (Janzing 22.07.2011). Alle Strompreiserhöhungen schlugen sich anschließend unmittelbar auf die Kosten für die Wärmeerzeugung nieder. Besonders stark war der Effekt, wenn Stromversorger aus dem verbilligten Wärmepumpentarif ausstiegen oder drastische Erhöhungen der Wärmestromtarife vornahmen.[273] Führten die Wärmepumpentarife zunächst dazu, dass sich Nutzer für Wärmepumpen entschieden, bremsten in der Folge negative Erfahrungen mit hohen Stromkosten den Absatz.

5.4.3.4 Gaswirtschaft und Gaskesselhersteller als Konkurrenz zur Wärmepumpe

Wärmepumpen stehen vor allem in Neubau in direkter Konkurrenz zu Gasheizungen. Während die Entwicklung im Gebäudebestand für die Gaswirtschaft vorteilhaft ist – der Anteil der Gasheizungen stieg von 39 % in 1996 auf 49 % in 2010[274] – ist die Entwicklung bei Neubauten deutlich rückläufig. Dort fiel der Anteil der Gasheizungen zwischen 1996 und 2010 von 72,1 % auf 50,4 %. Im Neubau konnten sich v. a. Wärmepumpen gegenüber Gaskesseln durchsetzen. Diese Entwicklung trifft die Gasbranche, die aus Gründen der Absatzsicherung auch am Neubaugeschäft interessiert ist. Obwohl Gasbrennwertkessel auch wesentlich zur CO_2-Minderung und zur Erreichung der Effizienzziele beitragen, wird der Einbau von Gasheizungen nicht gefördert, da es sich nicht um eine EE-Technologie handelt.

5.4.4 Umwelteffekte von Wärmepumpen

Der Einbau von Wärmepumpen hat in mehrfacher Hinsicht Effekte auf die Umwelt, für deren Begrenzung gesorgt bzw. für die eine Lösung gefunden werden muss, sollen sich die nachteiligen Effekte nicht zu einem Hemmnis für die Verbreitung entwickeln.

5.4.4.1 Erfordernis der wasserrechtlichen Zulassung für Erdwärmepumpen

Bei der Anwendung von Erdwärmesystemen birgt v. a. die Bohrung ein potenzielles Risiko für das Grundwasser.[275] Während des Betriebes können darüber hinaus Risiken durch den unvorhergesehenen Austritt wassergefährdender Stoffe entstehen. Die Unsicherheit darüber, in welchen Bereichen (Schutzgebietskategorien) Erdwärmepumpen überhaupt zulässig sind, und anhand welcher Maßstäbe und Kriterien die Zulässigkeit in den einzelnen Ländern wasserrechtlich zu beurteilen waren, stellte aus Sicht der Branche in dieser Phase ein beträchtliches Hemmnis dar. Aus Bundesperspektive erwies es sich als nachteilig, dass die Länder unterschiedliche Kriterien und Maßstäbe

[273] So hat der Energiekonzern EnBW seine Tarife für Wärmestrom 2011 um bis zu 56 % erhöht (Janzing 22.07.2011).

[274] Die Anstieg ist v. a. durch die Substitution von Kohle- und Ölheizungen durch Gasheizungen verursacht.

[275] Während des Bohrvorgangs können Schmier- und Treibstoffe sowie Spülungs- und Zementationsverluste in das Grundwasser gelangen. Werden übereinanderliegende Grundwasseraquifere durchstochen, kann der unabsichtliche „hydraulische Kurzschluss“ die Wasserbeschaffenheit der einzelnen Grundwasserleiter beeinträchtigen.

anlegten, z. B. wenn es um Ausschlussflächen für Erdwärmekollektoren und -sonden ging.[276] In Ländern, in denen großflächig auch Wasserschutzgebiete der Zone III auszuschließen waren, fielen Flächen in einem beträchtlichen Umfang aus der Erdwärmenutzung heraus. Etliche Anwender gingen auf Nummer sicher, indem sie sich für eine unkritische, von zusätzlichen Genehmigungen unabhängige Heizungsart entschieden. Die Länder bemühten sich um eine Vereinheitlichung: 2002 veröffentlichte die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser eine erste Handreichung für einheitliche Maßstäbe bei der wasserrechtlichen Beurteilung von Erdwärmekollektoren und Erdwärmesonden (LAWA 2002). Zu einer rechtsverbindlichen, vereinheitlichenden Umsetzung in den Ländern kam es in dieser Phase jedoch nicht mehr.

5.4.4.2 Umweltschädlichkeit FCKW-haltiger Kühlmittel

In der Vorphase wurden Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) als Kühlmittel („Arbeitsmittel“) eingesetzt. Bereits seit den 1970er Jahren war aber bekannt, dass FCKW für den Abbau der oberen Ozonschicht in der Erdatmosphäre verantwortlich sind. In den 1990er Jahren war der Einsatz von ozonschädigenden Kühlmitteln, insbesondere von Fluorkohlenwasserstoffen (FCKW), und deren Ersatz eine zentrale Frage für die umweltverträgliche Entwicklung und Nutzung der Technik.

In Deutschland sorgte die FCKW-Halon-Verbots-Verordnung ab 1991 für die schrittweise Einführung von weniger schädlichen Ersatzstoffen (z. B. Propan und Propen) in Neuanlagen. Ab 1995 waren zunächst nur vollhalogenierte FCKW verboten. Ab 2000 galt das Verbot auch für teilhalogenierte H-FCKW, sodass seither FKW-freie Ersatz-Kältemittel wie z. B. R-134a eingesetzt werden müssen. Jedoch haben auch diese noch eine beträchtliche Treibhauswirkung. Einfamilienhausanlagen enthalten z. B. zwischen 1 und 3 kg Kältemittel. Gelangen diese im Störfall in die Atmosphäre, können sie die mit der Heiztechnik intendierten CO_2-Einsparungen zunichtemachen.

Sowohl die Umstellung auf Ersatz-Kältemittel als auch die fortgesetzte Diskussion über die Klimaschädlichkeit der Arbeitsmittel empfand die Branche als nachteilig. Gleichwohl waren davon eher die Branche der Kühl- und Gefriergerätehersteller als die der Wärmepumpenhersteller betroffen. Nach Quaschning (2006) wandten und wenden nur wenige Wärmepumpenanbieter[277] tatsächlich FKW-*freie* Kältemittel an. Die Informationspolitik der Hersteller über verwendete Kühlmittel und deren Klimaschädlichkeit blieb für den Kunden intransparent, vermutlich um Nachteile für die Technik abzuwenden.

5.4.4.3 Klimaschutzbeitrag von Wärmepumpen

Die Frage, ob Wärmepumpen im Rahmen von Klimaschutzprogrammen förderfähig sind und wie ihre Umweltbilanz zu bewerten ist, wurde unter Befürwortern und Kritikern weiterhin kontrovers diskutiert. Denn die Präferenz für Wärmepumpen hing in großen Teilen von der CO_2-Bilanz und einem positiven Beitrag zur CO_2-Minderung ab. Kritiker wiesen darauf hin, dass Wärmepumpen Umweltwärme nur unter Verbrauch von Strom nutzen können. Hierbei spielt die Jahresarbeitszahl (JAZ) als Effizienzmaßstab eine wesentliche Rolle. In der Regel werden Wärmepumpen mit dem deutschen Strommix aus konventioneller, atomarer und erneuerbarer Stromerzeugung betrieben. Ein Klima-

[276] Uneinigkeit bestand z. B. über die Frage, ob Erdwärmekollektoren und -sonden mit wassergefährdenden Stoffen nicht nur in Heilquellenschutzgebieten und Wasserschutzgebieten der Zone I und II, sondern großflächig auch in Wasserschutzgebieten der Zone III auszuschließen waren. Letzteres führte dazu, dass Flächen in einem beträchtlichen Umfang aus der Erdwärmenutzung herausfielen.

[277] So führte *Ochsner* nach eigener Aussage als erster europäischer Wärmepumpenhersteller zwar die Ersatzkältemittel R 134a und R 407C ein. Beide Mittel haben im Störfall jedoch eine Treibhauswirkung.

schutzbeitrag (gegenüber einer Erdgas-Brennwertheizung) ergibt sich unter deutschen Randbedingungen (hoher Kohleanteil in der Stromerzeugung) erst dann, wenn die Wärmepumpe mindestens eine JAZ von 3,0 erreicht.[278] Zur Erfüllung der Anforderungen des EEWärmeG wird eine JAZ von mindestens 3,5 gefordert.

Soll die Wärme *ausschließlich* aus erneuerbaren Energien erzeugt werden, muss auch der Strom regenerativ erzeugt[279] bzw. von einem Ökostrom-Anbieter bezogen werden. Die Einbeziehung der Stromherkunft ist ausschlaggebend dafür, ob die CO_2-Bilanz von Wärmepumpen positiv oder negativ ausfällt. Wird „herkömmlicher" Strom genutzt, sind die CO_2-Einsparungen aufgrund der schlechten Wirkungsgrade fossiler thermischer Kraftwerke z. B. im Vergleich zu modernen Erdgasheizungen nur gering. Falls im Betrieb unvorhergesehen FKW-Kältemittel austreten, könne die Umweltbilanz sogar schlechter als bei einer herkömmlichen Heizungsanlage ausfallen (Quaschning 2006). Je höher der Anteil regenerativen Stroms an der Stromversorgung ist, desto eher können Wärmepumpen positive bilanzielle CO_2-Minderungseffekte erzielen. Um das sicherzustellen, war die Förderung von Wärmepumpen durch die MAP-Richtlinien von 1999 bis 2001 an eine verpflichtende Nutzung von EE-Strom gekoppelt. Nachdem die Förderung zwischenzeitig ausgesetzt wurde, erreichte die Wärmepumpenbranche, dass diese Bedingung in den späteren Folgerichtlinien nicht aufrechterhalten wurde. Ab 2008 war die Förderung vielmehr an das Erreichen einer bestimmten JAZ gekoppelt.

5.4.5 Markt- und Kostenentwicklung

5.4.5.1 Wärmepumpen kehren in den Heizungsmarkt zurück

Bis zum Jahr 1990 waren nach den Daten des Bundesverbandes Wärmepumpe in Deutschland ca. 78.000 Wärmepumpenanlagen (überwiegend für die Warmwassererwärmung) installiert worden, von denen jedoch ein erheblicher Teil, aufgrund der in der Vorphase festgestellten technischen Probleme, wieder außer Betrieb genommen worden sein dürfte. Zu Beginn dieser Phase wurde 1990 mit einem Absatz von lediglich 500 Wärmepumpen der absolute Nachfragetiefpunkt erreicht. Doch schon im Folgejahr verdoppelte sich der Absatz wieder und ein lange anhaltender Wachstumstrend setzte ein. Zum Ende der 1990er Jahre lag der Marktanteil von Wärmepumpen bei Neubauten mit etwa 5.000 verkauften Einheiten dennoch unter 2 %. In der Schweiz herrschte dagegen eine völlig andere Situation vor, wo Wärmepumpen bereits einen Anteil von 40 % bei Neubauten erreicht hatten und auch der Bestand bereits wesentlich höher als in Deutschland war (Staiß 2000, I-69).

Vor allem die steigenden Ölpreise wirkten einmal mehr stimulierend auf den Wärmepumpen-Absatz, was sich ab 2004 nochmals deutlich sichtbar im Nachfragewachstum zeigte. Bei Heiz-Wärmepumpen wurden zunächst die Erdwärmepumpen bevorzugt, während Grundwasser- oder Luft-Wärmepumpen hier nur einen geringen Anteil hatten. Bei den Brauch-/Warmwasser-Wärmepumpen kamen Luft-

---

[278] Die Gesamtwärmeabgabe wird dann aus einem Teil Strom und zwei Teilen Umweltwärme bereitgestellt. Der durchschnittliche CO_2-Faktor für deutschen Strom betrug 2012 rund 600 g / kWh (Icha 2013, 7). Eine kWh Wärme aus dieser Wärmepumpe würde danach 200 g CO_2 emittieren. Die gleiche Wärmemenge aus einer Erdgas-Brennwertheizung als konv. Benchmark emittiert etwa 260 g. Die WP spart in diesem Fall 23 % CO_2 ggü. dem Erdgas-Brennwertkessel ein. Kritiker wenden ein, dass man gerade in der Heizperiode einen höheren Anteil Kohlestrom und somit mehr CO_2-Emissionen ansetzen muss, als im Jahresdurchschnitt sowie die Netzverluste. Folglich wäre eine JAZ von 3 das unterste Minimum, ab der eine CO_2-Einsparung möglich wäre (Auer & Schote 2013).

[279] Zum Beispiel ist in einem Land wie Norwegen, wo Wasserkraftwerke nahezu den gesamten Strom des Landes erzeugen, eine Wärmepumpe tatsächlich ein komplett auf erneuerbaren Energien basierendes System. Um in Deutschland Ähnliches zu erreichen, müsste eine Förderung von Wärmepumpen (z. B. im Rahmen des MAP für EE-Wärme) grundsätzlich an den Abschluss eines Ökostrom-Liefervertrags gebunden sein.

Wärmepumpen zum Einsatz, welche die Raumwärme in Heizungs- oder Kellerräumen nutzen, um Wasser zu erwärmen. Der aufgrund der dominierenden Brauchwasser-Wärmepumpe in der Vorphase sehr hohe Anteil an Luftwärmepumpen wurde in dieser Phase nicht wieder erreicht. Bei Heiz-Wärmepumpen wurde nun das Erdreich als Wärmequelle bevorzugt, da sich der Bedarf für separate Warmwasserbereiter reduziert hatte und damit der Markt für Brauchwasser-Luft-Wärmepumpen verkleinert war. Zudem stand mit der Solarthermie aus dem Bereich der erneuerbaren Energie eine stark konkurrierende Technik zur Verfügung. Erst ab dem Jahr 2000 zeigt sich ein erneuter Trend zur preiswerteren Luftwärmepumpe, die aber nun verstärkt als Heiz-Wärmepumpe zum Einsatz kam, denn die Effizienz hatte sich deutlich verbessert und den Vorteil der Erdwärmepumpen schmelzen lassen.

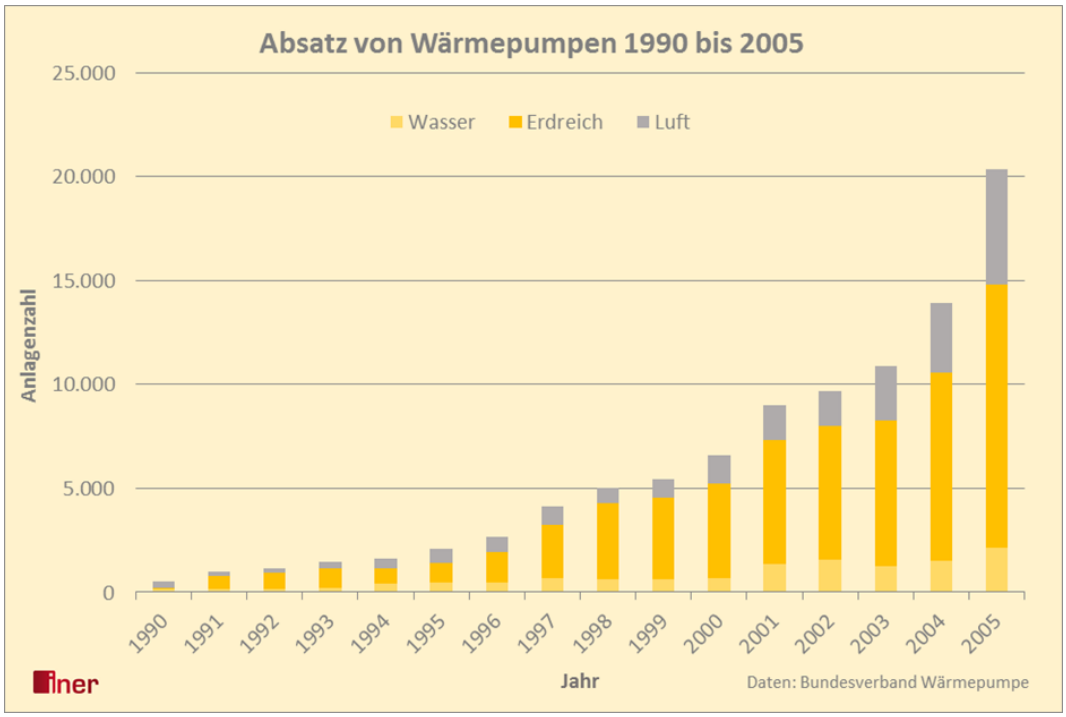


Abbildung 5-3: Marktentwicklung Wärmepumpen Phase 1990 bis 2005

5.4.5.2 Förderung mit geringer Bedeutung für die Marktentwicklung

Die Absatzförderung für Wärmepumpen hatte eine positive Wirkung, doch war es in dieser Phase immer nur ein kleinerer Teil der verkauften Anlagen, die begünstigt wurden. Die Haushaltsansätze der Bundesländer für Wärmepumpen lagen zwischen 1991 und 2001 insgesamt bei rund 20 Mio. Euro. Wie hoch die Fördersätze waren und wie viel davon tatsächlich zur Förderung von Wärmepumpen ausgegeben wurde, war nicht zu ermitteln. Werden vergleichbare Förderkonditionen angesetzt, wie sie ab 1995 beim Bund gültig waren, und wird weiter unterstellt, dass die gesamten Haushaltsmittel tatsächlich ausgegeben worden sind, dann wären von den Bundesländern in diesen 10 Jahren überschlägig etwa 8.000 bis 9.000 Wärmepumpen gefördert worden. Im gleichen Zeitraum wurden aber rund 40.000 Wärmepumpen neu installiert. Vorausgesetzt es gab keine kumulierte Förderung, wären zusammen mit den in dieser Zeit durch den Bund geförderten Wärmepumpen (vgl. nächster Absatz) rund ein Drittel der abgesetzten Wärmepumpen gefördert worden. Nicht berücksichtigt sind dabei ggf. Zuschüsse durch regionale Stromversorger.

Ab 1995 wurde mit 300 DM (153 Euro) je kW Leistung erstmals eine Bundesförderung eingeführt. Als Fördervoraussetzung musste das Kältemittel H-FCKW frei sein und Elektro-Wärmepumpen über eine

Herstellerbescheinigung verfügen, dass differenziert nach Typ eine Mindestjahresarbeitszahl von 3,2 bis 3,5 erreicht wird. Bei Zwischen 1995 und 1998 wurden bei einer Gesamtfördersumme von nahezu 8 Mio. Euro rund 52.300 kW Heizleistung gefördert. Bei einer angenommenen durchschnittlichen Leistung von etwa 15 kW je Anlage sind ca. 3.500 Wärmepumpen mit etwa 2.300 Euro pro Anlage gefördert worden. Errichtet wurden in diesem Zeitraum nach Angaben des BWP jedoch rund 14.000 Wärmepumpen, sodass überschlägig etwa ein Viertel der Anlagen eine Förderung erhalten haben dürfte. Die vorhandenen Förderdaten geben jedoch keine Auskunft über die Höhe der durchschnittlichen Investitionskosten.

Mit der Wiederaufnahme der Förderrichtlinien des Bundes zum Oktober 1999 (Marktanreizprogramm) wurde die Wärmepumpe wieder gefördert, allerdings mit einem deutlich geringeren Förderbetrag von rund 102 Euro (200 DM) pro kW bis max. 13 kW Leistung. Anlagen über 13 kW erhielten nur die Hälfte des Förderbetrages. Über diese Richtlinie wurden in den Jahren 2000 bis 2002[280] insgesamt 835 Wärmepumpen mit durchschnittlich knapp 1.500 Euro gefördert (durchschnittliche Leistung 15 kW). Durchschnittlich kostete eine geförderte Wärmepumpe rund 26.000 Euro[281] (netto). Mit der überarbeiteten MAP-Richtlinie vom März 2001 wurde die Wärmepumpen-Förderung nicht weitergeführt (Hintergründe für den Wegfall vgl. Kapitel 5.4.2.2).

Die finanziellen Förderungen erreichten nur einen kleinen Teil der verkauften Wärmepumpen, was die Gegenüberstellung mit der Wärmepumpen-Absatzentwicklung nach Angaben des Bundesverbandes Wärmepumpe zeigt: Die Zahl der neu installierten Wärmepumpen zwischen 1995 und 2002 betrug demnach rund 45.000 Stück. Gefördert wurden, mit einigen Unsicherheiten, dagegen nur 4.500 bis 5.000 Wärmepumpen, d. h. etwa 10 % der neu installierten Anlagen. Die wirtschaftliche Wirkung der Förderung kann folglich als eher gering angesehen werden.

Überraschend ist die positive Marktentwicklung aus wirtschaftlicher Sicht, denn noch im Jahr 2000 galten Wärmepumpen-Anlagen gegenüber einem Gasbrennwertkessel selbst in einem energieeffizienten Niedrigenergiehaus noch nicht als konkurrenzfähig. Die spezifischen Wärmekosten lagen bei Luft-Wärmepumpen um 18 % und bei Erdsonden-Wärmepumpen sogar um 40 % höher, sofern ein spezieller Wärmepumpen-Stromtarif verfügbar war. Sonst lagen die Kosten nochmals um 10 % höher (Staiß 2000, I-74). Über die Motivationen der Investoren lässt sich wiederum nur spekulieren. Möglicherweise spielte eine Erwartungshaltung immer weiter steigender Preise für Öl und Gas eine große Rolle und man erhoffte sich mit der Entscheidung für eine strombasierte Heizung weniger Unsicherheit in Bezug auf die Kosten, zumal die Strompreise in dieser Phase und nach der Strommarktliberalisierung ab 1998 rückläufig waren.

Zu Beginn dieser Phase (1990) hatte die Wärme aus oberflächennaher Geothermie und Umweltwärme einen Anteil von ca. 4,8 % an der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien. Am Ende der Phase (2005) hatte sie innerhalb des Segments der erneuerbaren Energien nur noch einen Anteil von ca. 2,5 % an der Wärmebereitstellung, da die anderen Techniken (Holz, Solarthermie) deutlich stärker gewachsen waren. Ihr Anteil am gesamten Wärmeverbrauch stieg dennoch von 0,1 % auf 0,2 %.

---

[280] Wegen des zu dem Zeitpunkt zweistufigen Antragsverfahrens mit zunächst Bewilligung des Antrags und später Zahlung des Zuschusses nach der tatsächlichen Installation, sind auch nach Ende der Wärmepumpen-Förderung ab der MAP-Richtlinie 2001 noch Zuschüsse ausgezahlt worden.

[281] Quelle: Durchschnitt der BAFA-geförderten Wärmepumpen.

5.5 Phase ab 2006: Durchbruch beim Neubau

5.5.1 Technologieentwicklung

5.5.1.1 Luftwärmepumpen auf dem Vormarsch

Aus technologischer Sicht ist diese Phase wie auch die vorherigen vor allem durch eine kontinuierliche Weiterentwicklung gekennzeichnet. Bedingt durch deutlich geringere Herstellungs- und Installationskosten sowie erhebliche Effizienzsteigerungen bei den Luft/Wasser-Wärmepumpen,[282] dominieren diese mittlerweile eindeutig den Markt (zwei Drittel des Absatzes). Zudem wurden bei Luft-Wärmepumpen die ungeregelten Verdichter in der Breite durch geregelte „Inverter"-Geräte abgelöst, die eine Anpassung der Heizleistung an den Bedarf ermöglichen (Leistungsmodulation) und bei Split-Klimageräten asiatischer Hersteller bereits millionenfach eingesetzt werden (Heizungsjournal 2013, 138). Dies ermöglichte deutliche Effizienzsteigerungen bei Luft-Wärmepumpen. Darüber hinaus kommen neuere Luft-Wärmepumpen mit Verwendung des natürlichen Kältemittels CO_2 auch bei tiefen Außentemperaturen von -15 bis -20 °C ohne den Einsatz eines Heizstabes im Pufferspeicher aus. Zunehmende Verbreitung findet auch die Dampf- und Flüssigkeitszwischeneinspritzung im Kälteprozess zur Effizienzsteigerung. Ebenso profitieren Wärmepumpen von der Entwicklung leistungsgeregelter Sole- und Heizkreisumwälzpumpen, die den Energieaufwand für die Nebenantriebe reduziert.

Innerhalb der Luft-Wärmepumpen gibt es zudem eine Verschiebung hin zu den kompakten und noch günstigeren Split-Geräten. Dieser geteilte Aufbau ist bei Einzelraum-Klimaanlagen schon seit Jahrzehnten üblich. Die ersten Anbieter von Split-Wärmepumpen waren asiatische Anbieter, die bereits millionenfache Erfahrung mit Split-Klimageräten hatten. Deutsche Hersteller hatten traditionell nur wenig mit der Herstellung von Kompaktklimageräten zu tun und sind so erst später in diese Technikvariante eingestiegen. Aufgrund der engen Verwandtschaft mit den Split-Klimageräten werden insbesondere von asiatischen Herstellern diese Gerätetypen in sehr großen Stückzahlen preisgünstig produziert; deutlich preiswerter als die einteiligen Luft-Wärmepumpen.

Mehrjährige Feldtests von Wärmepumpen zeigten aber auf, dass die meisten Wärmepumpen in der Praxis aufgrund von Auslegungs- und Betriebsfehlern nur mäßige bis schlechte Jahresarbeitszahlen (JAZ) von kleiner 3 erreichen, ganz besonderes Luft-Wärmepumpen (Miara et al. 2011; Auer & Schote 2013) Aus Klimaschutzsicht erbringen insbesondere Luftwärmepumpen aufgrund der niedrigen Praxis-JAZ im Bereich zwischen 2 und 2,8 nur geringe oder keine CO_2-Minderungsbeiträge. Folglich hatte die Wärmepumpe in dieser Phase zumindest in Deutschland teilweise mit Imageproblemen zu kämpfen, die allerdings nicht mehr durch technische Defizite verursacht wurden, sondern durch die Diskussion um das CO_2-Vermeidungspotenzial bzw. den dafür anzusetzenden Strommix (vgl. Kapitel 5.4.4.3). Doch lassen sich die für den Klimaschutz und niedrige Betriebskosten erforderlichen JAZ von über 3,5 mit einfach aufgebauten Erdwärmepumpen, richtiger Dimensionierung (Nennleistung der Wärmepumpe und Wärmetauscher), Verzicht auf Pufferspeicher und niedrigen Vorlauftemperaturen (< 35°C), hydraulischem Abgleich der Heizstränge und Wärmedämmung der Anlagenteile gut erreichen (Auer & Schote 2013). Insofern liegen nach wie vor die größten Herausforderungen bei der Planung, Wärmequellenauswahl, baulicher Ausführung und Betrieb (Nutzerverhalten, Wartung) der

[282] Neben den Luft/Wasser-Wärmepumpen gibt es Luft/Luft-Wärmepumpen, bei denen die Wärmeabgabe nicht an Wasser, sondern direkt an die Luft erfolgt. Diese sind wegen der in Deutschland bevorzugten Konvektionsheizungen nur im gewerblichen Bereich verbreitet. Das könnte sich aber auch in Deutschland ändern, da z. B. im skandinavischen Markt Luft/Luft-Wärmepumpen bereits den größten Marktanteil haben.

Anlage, nicht in der Technologie selbst. Die kostengünstigeren Luftwärmepumpen scheiden zur Erreichung von JAZ >3,5 (hoher Klimaschutzbeitrag) bis auf weiteres aus.

5.5.1.2 Pufferspeicher und Lastmanagement

Zunehmende Verbreitung fanden in dieser Phase auch Pufferspeicher, womit die Wärmepumpe – sofern sie keinen leistungsregelbaren Verdichter hat – weniger takten (ein- und ausschalten) muss. So verlängert sich ihre Lebensdauer und es besteht die Voraussetzung dafür, das Ein- und Ausschalten der Wärmepumpe zusätzlich über externe Strommarktsignale (sog. Lastmanagement) oder Signale vom Wechselrichter einer Photovoltaikanlage zu steuern.[283] Hierfür wurde die sogenannte SG-Ready-(Smart-Grid-bereit)-Schnittstelle von den Herstellern in die Regelungselektronik integriert. Die praktische Nutzung dieser Schnittstelle ist derzeit aber nur in wenigen Fällen (z. B. eigene Photovoltaikanlage) umgesetzt. Steuersignale vom Strommarkt über den Stromlieferanten sind noch ein Zukunftsthema. Negativ dabei sind die höheren Wärmeverluste durch den Warmwasserspeicher, die die JAZ vermindern.

Die maximalen Vorlauftemperaturen bei Wärmepumpen liegen üblicherweise bei 55 bzw. 65 °C, was auch für die Warmwasserbereitung ausreichend hoch ist. Nicht für die hier im Fokus stehenden Haushalts-Wärmepumpen, sondern für besondere gewerbliche Anwendungen mit großen Leistungen (>100 kW) sind in den letzten Jahren zweistufige Hochtemperaturwärmepumpen entwickelt worden, die bis zu 98 °C Vorlauftemperatur ermöglichen. Voraussetzung dafür sind jedoch geeignete (Ab-)Wärmequellen mit einem Ausgangstemperaturniveau von 30 bis 55 °C, da sonst keine hohe Effizienz der Wärmepumpe erreichbar ist.

Mit dem starken Preisverfall bei Photovoltaikanlagen seit dem Jahr 2010 in Verbindung mit der SG-Ready-Schnittstelle wird in der Kombination einer Wärmepumpe und Photovoltaikanlage eine interessante Option gesehen, um einen größeren Anteil des kostengünstig erzeugten Stroms selbst zu nutzen. Zusätzlich wird ein Pufferspeicher benötigt, der im Tagesverlauf von der Wärmepumpe aufgeladen werden kann, sodass die Wärmepumpe in der Nacht weniger oder gar nicht eingeschaltet werden muss. Allerdings ist das nutzbare Photovoltaik-Potenzial eher begrenzt, da gerade in der winterlichen Heizperiode die Photovoltaikanlage wegen der geringen Stunden mit Sonnenlicht und häufiger Bewölkung nur relativ wenig Strom erzeugt.[284]

5.5.2 Politische Impulse und Entwicklung des rechtlichen Rahmens

5.5.2.1 EU-Ebene: EE-Richtlinie 2009 und Zertifizierung der Installateure

Im Januar 2006 verabschiedete das EU-Parlament die Initiative „Heizen und Kühlen aus erneuerbaren Energiequellen“ mit dem Ziel, gestützt durch nationale Förderprogramme den Anteil regenerativer Energien im Wärme- und Kältemarkt der EU von rund 10 % (2006) auf 20 % im Jahr 2020 zu steigern (IZW 2006). Eine solche Entschließung kam jedoch nicht zustande. Mit der „Richtlinie des EU-Parlaments und des Rates zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen“ (RL 2009/28/EG[285]) ebnete die EU den Weg für die Anerkennung von Wärmepumpen als gleichberechtigte „erneuerbare Energietechnologie“. Die damit verbundene Förderfähigkeit verbesserte die

[283] Dies macht Wärmepumpen für den Stromsektor flexibler, so wie es bei Wärmespeicherheizungen mit anderer Technik (sogenannte Rundsteuerempfänger) schon lange der Fall ist.

[284] In den Monaten November bis Februar werden nur etwa 15 % des gesamten Jahresertrages einer PV-Anlage erzeugt.

[285] Vgl. Rechtsquellenverzeichnis.

Konkurrenzfähigkeit und damit die Diffusionschancen. Die Richtlinie legte darüber hinaus Förderbedingungen für Wärmepumpen fest: So sollten die Mitgliedsstaaten nur Wärmepumpen fördern, die der Entscheidung der Kommission (2007/742/EG[286]) zur Vergabe eines EU-Umweltzeichens entsprechen. Zudem mussten die Mitgliedsstaaten sicherstellen, dass bis 31. Dezember 2012 zugelassene Ausbildungsprogramme oder -einrichtungen sowie Zertifizierungssysteme oder äquivalente Qualifikationssysteme für Installateure von Wärmepumpen zur Verfügung stehen (vgl. Art. 14 Abs. 3 der Richtlinie 2009/28/EG).

5.5.2.2 Bundesebene: Wiederaufnahme ins MAP und Speicher für Leistungsüberschuss

Ein Bündel von Faktoren, u. a. die ab 2003 stark steigenden Ölpreise und die sich abzeichnenden Verknüpfungen von Strom- und Wärmemarkt gaben der Wärmepumpe Auftrieb. Vor allem die potenzielle Lastmanagementfunktion – technisch dafür ausgerüsteter – Wärmepumpen für Überschüsse bei der EE-Stromproduktion ließ sie aus Sicht der EE-Strombranche und der Politik in neuem Licht erscheinen (AEE 2012).[287] Im Jahr 2008 wurde die Wärmepumpe wieder in das MAP aufgenommen, und zwar ohne die Restriktion des Betriebes mit regenerativem Strom, wie dies noch in den Richtlinien von 1999 vorgesehen war. Allerdings lag der Förderanteil für das Jahr 2008 für Sole-Wasser und für Wasser-Wasser-Wärmepumpen bei 33 % bzw. 39 % der abgesetzten Wärmepumpen. Für Luft-Wasser-Wärmepumpen lag der Förderanteil bei 21 %. Im Durchschnitt wurden 2008 nur 31 % der Anlagen gefördert, was wohl auch an der Unkenntnis der Verbraucher über die Wiederaufnahme ins MAP lag (Platt et al. 2010).

Mit dem Jahr 2009 trat das EEWärmeG in Kraft. Laut BWP führte dies im Neubau-Sektor zu einer stabileren Marktentwicklung von Wärmepumpen als im Bestand. Jedoch lag der Nachfragefokus auf Ein- und Mehrfamilienhäusern, während Industrie und Gewerbe Wärmepumpen noch zu wenig nutzten.

5.5.2.3 Landesebene: Förderung und Marketing

In Baden-Württemberg wurden unter Ministerpräsident Erwin Teufel im Rahmen des landesweiten Förderprogramms „Klimaschutz-Plus“ neben anderen Technologien auch Wärmepumpen gefördert. Bauherren und Hauseigentümer bekamen bis zu 3.500 Euro Zuschuss für die Installation von Erdwärmesonden in Verbindung mit Wärmepumpen. Im Doppelhaushalt 2005/2006 waren dafür 2 Mio. Euro vorgesehen (Pecka 2005). Bis Ende 2008 wurden nach Angaben des baden-württembergischen Umweltministeriums etwa 1.700 Förderanträge gestellt. Mit der Bewilligung der Anträge waren die bis dahin veranschlagten Fördermittel erschöpft (Pecka 2009).

In NRW wurden die *Wärmepumpen-Wochen* als Marketing-Aktion für die Verbreitung der Technologie fortgesetzt.

---

[286] Vgl. RECHTSQUELLENVERZEICHNIS.

[287] Diese Entwicklung ist mit Einschränkungen vergleichbar mit der Situation in den 1970er Jahren, als aufgrund nächtlicher Erzeugungsüberschüsse der Kernkraft dies zu einer starken Verbreitung von Nachtspeicheröfen führte. Ebenso können Wärmepumpen als Senke für eine zeitweise auftretende EE-Strom-Überschussproduktion fungieren.

5.5.3 Akteure und Akteurskonstellationen

5.5.3.1 Allianzen der Wärmepumpenbranche

Der Bundesverband Wärmepumpe schloss sich 2007 mit der Wärmepumpen-Initiative in den Bundesländern (WIB)[288] zusammen. Damit ging eine Verstärkung und Professionalisierung der Verbandsarbeit einher. Nun mit hauptamtlichen Mitarbeitern eröffnete der Verband 2008 seine Geschäftsstelle in Berlin. Im gleichen Jahr fanden die ersten bundesweiten Wärmepumpen-Aktionswochen[289] unter der Schirmherrschaft von Prof. Klaus Töpfer statt. Ab 2009 stellten die Branchenvertreter den Einsatz von Wärmepumpen in den Kontext der Energiewende. Sie stellten den möglichen Beitrag von Wärmepumpen zum Lastmanagement und zur Dämpfung von Lastspitzen im Stromnetz heraus. Diese Argumentation fand Unterstützung von BWE und Solarverbänden, die dem Einsatz von Wärmepumpen aufgeschlossen gegenüberstehen.[290]

Mit dem Bundesverband Geothermie (GtV) führt der Bundesverband Wärmepumpe ein gemeinsames Projekt „Erdwärmeliga Deutschland“ durch.[291] Dabei handelt es sich um eine Rangliste der bei der Erdwärmenutzung erfolgreichsten Städte, Kommunen, Landkreise und Bundesländer, die die bisherigen Erfolge sichtbar machen und zur Nachahmung anreizen soll.

Die Wärmepumpenbranche findet darüber hinaus Allianzpartner im Bereich der Gebäudeenergieeffizienz. Gebäudeplaner und Hersteller entwickeln gemeinsam innovative Lösungen für die Integration von Wärmepumpensystemen in Gebäudeteile, wobei auch Designfragen als Akzeptanz förderndes Mittel berücksichtigt werden.[292]

5.5.3.2 Länder als Unterstützer der oberflächennahen Erdwärmenutzung

Etwa ab 2005 verstärkte sich das Interesse an der Erdwärmenutzung. Nahezu alle Bundesländer unterstützten die Nutzung von Erdwärme (oberflächennahe Erdwärme und Erdwärmesonden), indem sie Informationen und Handlungsempfehlungen mit regionalen Details für die Antragstellung herausgaben.[293] Als potenzialreiches Bundesland finanzierte Baden-Württemberg darüber hinaus auch Forschungsprojekte für oberflächennahe Erdwärmenutzung.

In den meisten Bundesländern existieren mittlerweile auch sogenannte „geothermische Potenzialkarten“, auf denen der Nutzer eine Orientierung über die Möglichkeiten der Nutzung von Erdwärme bzw. oberflächennaher Geothermie und die geothermischen Verhältnisse an seinem Standort bekommt.

5.5.4 Umwelteffekte von Wärmepumpen

Auch ab 2006 spielte die Minderung unerwünschter Umwelteffekte, die im Zusammenhang mit der Anwendung und dem Betrieb von Wärmepumpensystemen entstehen, eine Rolle.

---

288 Die Wärmepumpen-Initiative in den Bundesländern e.V. (WIB) mit Sitz in Cottbus repräsentierte vorwiegend Hersteller von Erdwärmepumpen aus den ostdeutschen Bundesländern.

289 Vom 4. bis 20. April 2008 wurden in bundesweit über 2.400 Veranstaltungen Verbraucher, Medien und Politik über die Wärmepumpe informiert.

290 Der erzeugte Strom soll in Spitzenlastzeiten entweder direkt zur Wärmeerzeugung genutzt oder – gekoppelt mit einem Speicher – gezielt zur Entlastung des Netzes entnommen werden.

291 Online unter http://www.erdwaermeliga.de/

292 Beispiele hierfür sind z. B. die Firmen *ACALOR* oder *Alpha-InnoTec* . Produkte der Firmen *Vaillant* und *Stiebel Eltron* wurden bereits mit Design-Preisen ausgezeichnet.

293 U. a. Baden-Württemberg, Bayern, Brandenburg, Hessen, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Saarland, Schleswig-Holstein (VOLLSTÄNDIGE ÜBERSICHT).

5.5.4.1 Auswirkungen von Erdwärmepumpen auf Grundwasser und Boden

Die Vereinheitlichung der Zulässigkeitsvoraussetzungen für Erdwärmepumpen in den Ländern schritt voran. Die oberflächennahe Erdwärmenutzung galt und gilt insgesamt als eine konfliktarme Form der Wärmegewinnung. Einzelbeispiele zeigten jedoch, dass in Abhängigkeit von der Untergrundbeschaffenheit und den Grundwasserverhältnissen durchaus lokal begrenzte unerwünschte Umwelteffekte auftreten können. In Einzelfällen kann der Bohrvorgang z. B. zu Veränderungen des Untergrundes führen. Insbesondere in Gegenden, in denen quellfähige Schichten im Untergrund vorhanden sind, ist erhöhte Vorsicht geboten. In Baden-Württemberg haben einzelne Schadensfälle mit entsprechenden Folgeschäden[294] zu einer deutlichen Zurückhaltung v. a. gegenüber Erdsonden geführt. Darüber hinaus bestehen Risiken für die Trinkwasserversorgung, wenn z. B. Grundwasserleiter durch die Bohrungen durchstoßen werden. Bei unsachgemäßer Durchführung können dann Schadstoffe in Grundwasseraquifere eindringen (vgl. UM 2005).

Aufgrund der beschriebenen Effekte sind Einschränkungen für die Erdwärmenutzung angezeigt. So sind z. B. im Land Baden-Württemberg Erdwärmesonden in Trinkwasserschutzgebieten, Heilquellenschutzgebieten und im engeren Zustromgebiet von Mineralwassernutzungen unzulässig (UM 2005, 10).[295] Einige Länder bzw. Regionen haben infrage kommende „Gunststandorte“ für oberflächennahe Geothermie außerhalb der o. g. Schutzzonen veröffentlicht, sodass interessierte Nutzer sich einen schnellen Überblick verschaffen können. Darüber hinaus unterstützen die Länder die Erdwärmenutzung durch die Bereitstellung von Daten und öffentlich zugänglichem Kartenmaterial. Diese Vorarbeiten erleichtern die Identifikation geeigneter, d. h. auch verträglicher Standorte und senken die Planungs- und Erkundungskosten für interessierte Erdwärmenutzer.

5.5.4.2 Störpotenzial von Luftwärmepumpen (Umgebungslärm)

Störende Geräusche – hier als Lärmemissionen bezeichnet – treten v. a. bei Luftwärmepumpen auf. Diese können sowohl innerhalb als auch außerhalb von Gebäuden aufgestellt werden. Die Geräusche werden durch Pumpenbetrieb („Brummen“), Luftumwälzung, und/oder Abtauvorgänge verursacht. Anders als z. B. gewerbliche Anlagen sind Luftwärmepumpen genehmigungs- und abnahmefrei und unterliegen keinen Grenzwerten. Sie können sowohl innerhalb als auch außerhalb von Gebäuden aufgestellt werden.[296] Der Geräuschpegel mindert die Wohnqualität und kann nachteilige Effekte für die menschliche Gesundheit haben. Da die störenden Geräusche zu jeder Tages- und Nachtzeit auftreten können, haben Luftwärmepumpen nach Fürst (2011, 34) ein hohes Beschwerdepotenzial, denn sie greifen in die unmittelbare Wohnumfeldqualität ein. Da das Ruhebedürfnis im Wohnbereich hoch ist, werden auch niedrige Pegel in direkter Nachbarschaft als störend empfunden. In Abhängigkeit von der Häufigkeit und Dichte des Auftretens können derartige Störungen die Akzeptanz von Wärmepumpen herabsetzen.

Wenn besonders emissionsarme Gerätetypen verwendet werden und bei der Installation bestimmte Aufstellungsregeln beachtet werden (BWP 2012), lassen sich die Lärmbelastungen mindern, jedoch

---

[294] Im badischen Staufen wurde 2007 z. B. bei 140 m tiefen Bohrungen für eine Erdwärmeversorgung unter dem Rathaus vermutlich eine Gips-Keuper-Schicht angebohrt, in die nun Wasser einsickert und die sich durch Verwandlung des Anhydrits in Gips bis zu 60 % ausdehnt. Seitdem sind Teile der Altstadt bereits um 10 cm angehoben worden, was bislang zu Schäden in zweistelliger Millionenhöhe geführt hat. Bauherr war die Stadt selbst (Janzing 2009, 43).

[295] In Baden-Württemberg entfallen dadurch ca. 20 % der Fläche, z. T. sind ganze Stadtgebiete wie z. B. die Stadt Singen mit 45.000 Einwohnern ausgeschlossen.

[296] Zur Lärmproblematik vgl. auch BLU (2014). Zu Konflikten kommt es vor allem dann, wenn die Luftwärmepumpen auf die Grenze zum Nachbargrundstück, in möglichst großer Entfernung zum eigenen Haus, gesetzt werden.

nicht vollständig vermeiden. Da aufgrund der Lärmproblematik zahlreiche Beschwerden eingehen, rät das LFU Bayern, in hohem Maße gegenseitige Rücksichtnahme zu üben (Bayerisches Landesamt für Umwelt 2014).

Diese Lärmbelastungen spielen in der öffentlichen und administrativen Wahrnehmung erst in jüngerer Zeit eine Rolle. Das hängt mit der wachsenden Zahl der Anlagen zusammen. Gegenwärtig kommt diesen Effekten noch keine hemmende Wirkung für die Diffusion zu. Das könnte sich aber ändern, wenn der Anlagenzubau weiter steigt.

5.5.4.3 Ozonschädliche Emissionen durch Kühlmittel

In den 1990er Jahren hatte die Umweltgesetzgebung den Ersatz von FCKW durch weniger ozonschädigende Kühlmittel angestoßen. Ab 1997/98 begannen die Hersteller, statt fluorierter FKW vermehrt halogenierte FKW (HFKW) einzusetzen.[297] Diese lediglich mit Fluor halogenierten Kohlenwasserstoffe besitzen kein Ozonabbaupotenzial. Einige davon sind wegen ihrer im Vergleich zu CO_2 weitaus größeren Treibhauswirkung aber erheblich klimaschädigend. Durch den starken Zubau von Wärmepumpen haben sich die Emissionen halogenierter Fluorkohlenwasserstoffe (HFKW) aus der Anwendung in Hauswärmepumpen stark erhöht: 2007 hatten sie sich gegenüber dem Jahr 2002 bereits mehr als vervierfacht (Becken et al. 2012, 106). Dieser Trend dürfte sich in den nächsten Jahren fortsetzen.

Der Einsatz der klimaneutralen Kühlmittel-Alternativen Propan und CO_2 in Wärmepumpen, deren Anteil vergleichsweise gering ist, ist technisch durchaus möglich. Die Mittel sind thermodynamisch gut geeignet und die Betriebsrisiken in Wärmepumpen sind akzeptabel. Allerdings legen die Hersteller keinen Schwerpunkt auf die technische Weiterentwicklung und Optimierung dieser Wärmepumpen.[298] Bisher fehlen Vorgaben bzw. Anreize dafür, steigenden ozonschädlichen Emissionen aus Wärmepumpen entgegenzuwirken. Dies könnte erreicht werden, indem Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln gegenüber HFKW-Anlagen z. B. bei der Förderung bevorzugt werden.

5.5.5 Markt- und Kostenentwicklung

5.5.5.1 Nachfragesprung

Ab 2006 stiegen die Absatzzahlen für Wärmepumpen im Vergleich zu den Vorjahren sprunghaft an und hatten sich im Vergleich zum Vorjahr mehr als verdoppelt, verharrten dann aber auf dem höheren Niveau (vgl.

Abbildung 5-3 mit Abbildung 5-4). Bereits in der Vergangenheit wiesen die Absatzzahlen für Wärmepumpen eine hohe Korrelation mit der Ölpreisentwicklung auf (Gorris 26.11.2013). Der Ölpreis war seit 2004 wieder kontinuierlich angestiegen und hatte im Jahr 2005 bereits ein Niveau von 55 US-$/Barrel im Jahresmittel erreicht. Ein vorläufiger Höhepunkt wurde im Jahr 2008 mit durchschnittlich 90 US-$/Barrel erreicht, wobei dieser bereits in den Jahren 2011/12 mit durchschnittlich 107 US-$/Barrel übertroffen wurde.[299] Das deutlich erhöhte Absatzniveau von 50.000 bis 60.000 Wärmepumpen pro Jahr nach 2006 ist in den folgenden Jahren bis 2012 weitgehend konstant geblieben, was grob den auf hohem Niveau verharrenden Ölpreis reflektieren dürfte. Der Anteil von

---

[297] Ob und welche Ersatz-Kältemittel eingesetzt werden, hängt davon ab, welche Außentemperaturen (Temperaturen der Umweltmedien, denen Wärme entzogen wird) vorherrschen und welche Kühltemperaturen erreicht werden sollen.

[298] Nach Becken et al. (2012, 110 f.) seien diese Entwicklungen sogar “gestoppt“ worden.

[299] Durch das veränderliche Wechselkursverhältnis Euro zu Dollar lag das Maximum in Euro/Barrel für Deutschland bislang im Jahr 2012.

Wärmepumpen als primäre Beheizung in Neubauten erhöhte sich deutlich von 8 % (2006) auf 29 % (2010) (Statistisches Bundesamt 2013).

Die Wiederaufnahme der Wärmepumpen-Förderung ab 2008 waren für eine Förderung wie schon bis 2001 Effizienzvorgaben in Form von Mindestwerten für die Jahresarbeitszahlen zu erfüllen sowie zusätzlich Wärmemengenzähler erforderlich. Die Mindestwerte für Jahresarbeitszahlen wurden 2010 erhöht und 2011 wieder leicht zurückgenommen. Ebenso waren ab 2010 die Anforderungen des EPHA-Siegels zu erfüllen. Die Förderung erfolgte nicht mehr bezogen auf die installierte Leistung, sondern auf die Wohn-/Nutzfläche.[300] Mit der Richtlinie 2009 wurden die Fördersätze für Wärmepumpen in Neubauten verdoppelt.[301] Die Richtlinie 2010 beinhaltete eine Erhöhung der Anforderungen bei den Mindestjahresarbeitszahlen und eine Festlegung maximaler Förderbeträge in Abhängigkeit von der Zahl der Wohneinheiten. Zudem erhielten Luftwärmepumpen nur die halbe Förderung gegenüber Erdwärmepumpen.

Der BWP betrachtete die nach 2008 nicht weiter gestiegene Nachfrage nach Wärmepumpen als Ergebnis einer niedrigeren Gaspreisprognose in Verbindung mit den kurzzeitig gefallenen Ölpreisen und der Diskussion über eine Abwrackprämie für Heizungskessel analog zur Abwrackprämie für Autos (Gorries 26.11.2013).

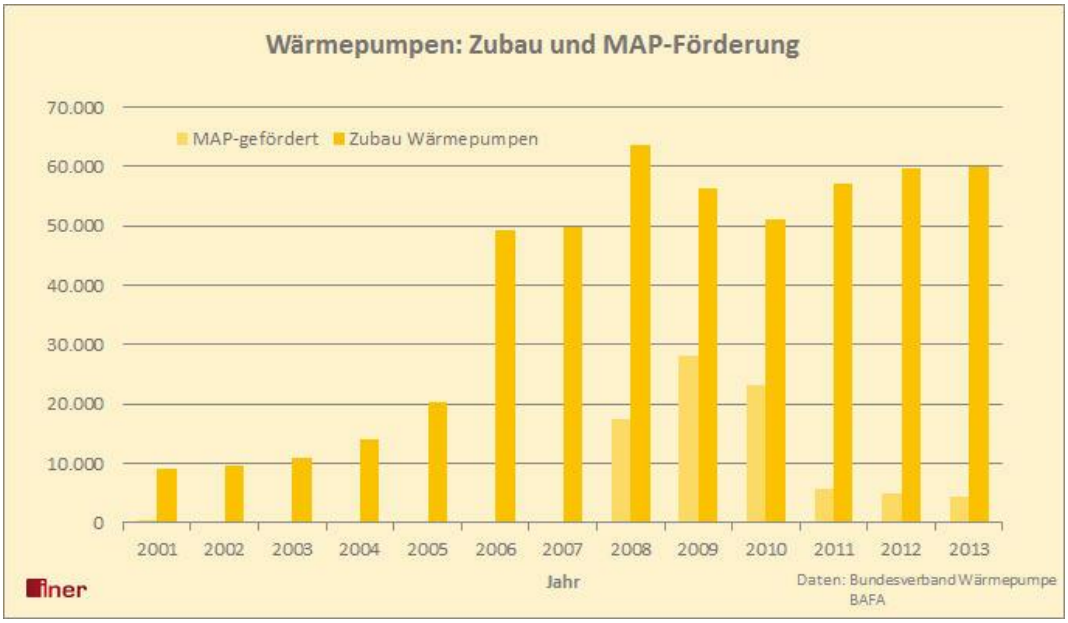


Abbildung 5-4: Marktentwicklung Wärmepumpen Phase ab 2006

5.5.5.2 Erneute Förderung mit geringer Relevanz für die Nachfrage

Die mit der Förderrichtlinie 2010 weiter erhöhten Mindestanforderungen an die Jahresarbeitszahlen wurde auf Einwirken der Wärmepumpenbranche und des Bundeswirtschaftsministeriums mit der Richtlinie 2011 wieder herabgesetzt, sogar unter das Niveau der Richtlinie von 2008. Begründet wurde dies damit, dass ab dem Zeitpunkt nur noch Wärmepumpen in Bestandsgebäuden gefördert wurden, die schlechtere Voraussetzungen für hohe Arbeitszahlen aufweisen. Gleichzeitig wurde die Fördersumme deutlich auf mindestens 900 / 2.400 Euro (Luftwärmepumpen / Erdwärmepumpen) je

[300] 5 Euro (Neubau) bzw. 20 Euro (Altbau) je m² Wohn-/Nutzfläche.

[301] 10 Euro je m² Wohn-/Nutzfläche.

Anlage erhöht. Wenn die Leistung bei Erdwärmepumpen 10 kW überstieg, wurde eine zusätzliche Förderung gewährt. Die Richtlinie 2012 brachte eine weitere Erhöhung der Förderung auf mindestens 1.300 / 2.800 Euro zzgl. weiterer Beträge bei Überschreiten der 10-kW-Leistungsgrenze. Erstmals gab es einen Zuschuss für einen Pufferspeicher in Höhe von 500 Euro je Anlage. Trotzdem ist die Nachfrage nach Wärmepumpen für Bestandsgebäude rückläufig, da die Nachweisanforderungen für die JAZ vom Handwerk als zu aufwendig betrachtet werden und diese in der Folge häufiger von der Installation einer Wärmepumpe abraten (Gorries 26.11.2013).

Zwischen 2008 und 2012 wurden rund 79.500 Wärmepumpen mit durchschnittlich 2.400 Euro je Anlage gefördert, was einer durchschnittlichen Förderung von 13,6 % der Investitionskosten bezogen auf durchschnittliche Anlagenkosten von 17.600 Euro (netto) entspricht. Insgesamt wurden nach Angaben des Bundesverbandes Wärmepumpe in Deutschland aber rund 285.000 Anlagen errichtet, d. h. lediglich rund 28 % der neu installierten Wärmepumpen wurden über Bundesmittel gefördert. Unter anderem liegt dies an den hohen geforderten Jahresarbeitszahlen (Langniß et al. 2010, 50). Etwa zwei Drittel der Wärmepumpen stammten aus deutscher Fertigung (Langniß et al. 2010, 72).

Für die im Vergleich zum Förderzeitraum 1999/2000 deutlich gesunkenen durchschnittlichen Investitionskosten (rund 8.000 Euro weniger) sind – neben gesunkenen Anlagenpreisen – mehrere weitere Faktoren verantwortlich: Geringere benötigte Anlagenleistungen bei den dominierenden Neubau-Installationen und der Trend zu den kostengünstigeren Luft-Wärmepumpen. So waren im Jahr 2013 die besonders günstigen Split-Luftwärmepumpen ab etwa 2.000 Euro/kW erhältlich, wobei mit zunehmender Leistung der spezifische Preis deutlich in Richtung 1.000 Euro/kW sinkt. Aufgrund der aufwendigen Erdarbeiten sind Wärmepumpen, die das Erdreich als Wärmequelle nutzen, nach wie vor deutlich teurer. Es ist zu erwarten, dass deren Anteil weiter abnimmt (vgl. auch BWP 2013, 35).

Die Zahl der geförderten Anlagen brach im Jahr 2011 deutlich ein (vgl. Grafik), was vorrangig am Wegfall der Förderung von Wärmepumpen im Neubau lag. Nachfragedämpfend wirkten zudem die seit 2010 deutlich gestiegenen Strompreise für Wärmepumpen. Auch die speziellen Wärmepumpentarife vieler Grundversorger stiegen, denn auch sie enthalten die (steigenden) Abgaben auf den Strompreis (Stromsteuer und EEG-Umlage). Aus Sicht der Branche ist die Wärmepumpentechnologie gegenüber anderen Wärmeerzeugungstechnologien benachteiligt, da sie die einzige EE-Wärmeerzeugungstechnik ist, welche die Energiewende direkt mitfinanziert. Insofern wird die Förderung über das MAP als wichtiges politisches Signal angesehen, auch wenn davon kein nennenswerter Marktimpuls ausgeht (Gorries 26.11.2013).

Bemerkenswert bei Wärmepumpen ist, dass die hinsichtlich der absoluten Zahl installierter Anlagen führenden Bundesländer die gleichen sind, wie bei der Solarthermie oder Holzheizungen: Bayern, Baden-Württemberg und Nordrhein-Westfalen. Und das, obwohl es gerade bei Wärmepumpen keine relevanten standortbedingten oder klimatischen Vorteile unter den Bundesländern gibt. Bezogen auf die pro 1.000 Einwohner installierten Anlagen (siehe Grafik) liegen jedoch Bayern, Brandenburg und Rheinland-Pfalz an erster Stelle. Wahrscheinlich spielt auch bei Wärmepumpen die Kaufkraft und die Einstellung der Bevölkerung eine wesentliche Rolle bei der Investitionsentscheidung.

Der Anteil der Umweltwärme erhöhte sich bis zum Jahr 2012 auf 0,6 % am gesamten Endenergiebedarf für Wärme. Innerhalb der erneuerbaren Energien stieg ihr Beitrag auf 5,5 %.

5.5.6 Ausblick

Wärmepumpen, insbesondere Luft-Wärmepumpen haben im Neubaubereich bereits einen Marktdurchbruch erzielt, da sie vor allem kostenseitig mit konventioneller Heiztechnik mithalten bzw. diese übertrumpfen konnten. Die Wärmepumpe wird in den nächsten Jahren aller Voraussicht nach weitere

Marktanteile gewinnen, da sie aufgrund der engen technischen Verwandtschaft mit Klimageräten ausgereift und effizienter geworden ist. Besonders der vergleichsweise geringe spezifische Wärmebedarf in – handwerklich richtig ausgeführten – Niedrigenergiehäusern und die zunehmende Verbreitung der Wärmerückgewinnung aus der Abluft begünstigen dort den Einsatz der Wärmepumpe. So braucht sie nur noch einen Teil der Wärme aus der Außenluft oder dem Erdreich zu gewinnen. Der Markterfolg der Wärmepumpe resultiert neben der Wirtschaftlichkeit im Neubau auch aus einem Imagewandel. Wurde sie wegen des Strombedarfs längere Zeit nicht als Teil der Wärmetechnologien auf Basis erneuerbarer Energien angesehen, wird sie heute zusätzlich als potenzieller Regulator in Zeiten der Überproduktion von EE-Strom diskutiert.

Mittelbar als Vorteil wird sich auch die neue Kennzeichnungspflicht für Heizgeräte im Rahmen der EU-Ökodesign-Verordnungen auswirken. Spätestens ab dem 26. September 2015 dürfen Heizgeräte nicht mehr ohne Energielabel mit Angaben zur Energieeffizienz (A+++ bis G) in den Verkehr gebracht werden. Wärmepumpen erreichen wegen der grundsätzlich hohen Effizienz (und politischer Vorgaben) in vielen Fällen problemlos die besten Labelkategorien im Bereich A. Die eigentliche Differenzierung findet - ähnlich wie bei Kühlschränken - dann erst innerhalb der Kategorie A (A bis A+++) statt. Grundlage für die neue Effizienzeinstufung bildet der in der Richtlinie neu definierte Saisonale COP (SCOP), der im Gegensatz zum bisherigen COP auch jahreszeitliche Temperaturänderungen sowie den Heizstabbetrieb berücksichtigt. Der SCOP kommt damit der in der Praxis zu erwartenden Jahresarbeitszahl deutlich näher.

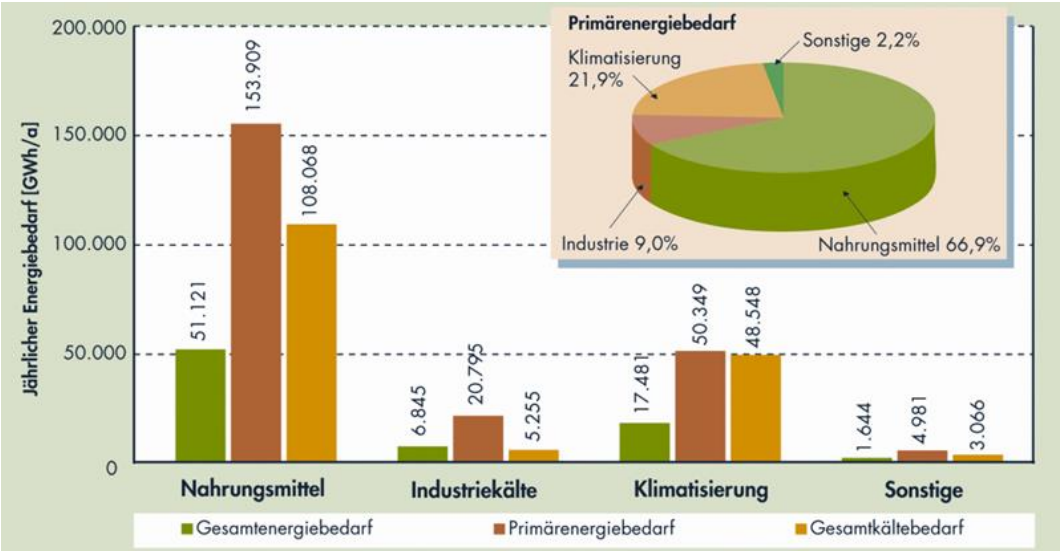
Insbesondere bei der neusten Wärmepumpengeneration mit leistungsgeregelten effizienten Wärmepumpen (Invertertechnik) und geringem oder keinem Einsatzbedarf eines zusätzlichen elektrischen Heizstabs werden so die höchsten Kategorien erreicht. Das gilt noch mehr für die Solar-Wärmepumpen-Systemlösungen, die aber in der Anschaffung nochmals teurer sind. Es ist zu erwarten, dass durch den Trend zu den kostengünstigeren Luft-Wärmepumpen in Split-Technik deren Absatzzahlen weiter steigen werden, womit auch eine Kostenreduktion in der Produktion einhergehen wird. Ansonsten gilt auch hier wie bei den anderen Wärmetechniken für Erneuerbare, dass mehr Preiswettbewerb im Handwerk und Großhandel weitere Preissenkungen bewirken könnte.

6 Innovationsbedingungen der Kältegewinnung aus erneuerbaren Energien

6.1 Vorbemerkungen

Vor allem in Bürogebäuden, Rechenzentren, Technikräumen, Lebensmittelproduktion, in der landwirtschaftlichen Tierhaltung sowie in Versammlungsstätten (Theater, Sporthallen) können hohe Wärmelasten anfallen, die durch aktives Kühlen gemindert werden müssen. Im gewerblichen Bereich steigt der Kühlungsbedarf wegen steigender Arbeitsschutzanforderungen sowie hygienischer Anforderungen. Im Gastgewerbe gilt eine Klimatisierung von Veranstaltungsräumen und Gaststätten im Sommer als erforderlich. Zudem tragen neue Baukonzepte mit lichtdurchlässiger Fassadengestaltung dazu bei, dass auch in gemäßigten Klimazonen der Kühlbedarf von Gebäuden steigt.

In Deutschland (2009) werden jährlich rund 71 TWh Strom und 14 TWh nicht elektrischer Energie für die technische Kälteerzeugung[302] verwendet. Dies entspricht 14 % des deutschen Strombedarfs und 5,8 % des Primärenergieverbrauchs. Hiervon entfallen rd. 22 % auf die Klimatisierung von vor allem Nichtwohngebäuden, die Tendenz ist steigend (BINE Informationsdienst 2014).



Quelle: BINE Informationsdienst 2014, 2

Abbildung 6-1: Energiebedarf für Kühlung und Kälteerzeugung

Auch zur Kühlung können erneuerbare Energien genutzt werden. Obwohl die Technik des Kühlens mit erneuerbaren Energien grundsätzlich entwickelt und verfügbar ist, ist sie noch sehr wenig verbreitet. Die gegenüber konventionellen Anlagen höheren Kosten sowie die im Detail teilweise komplexen technischen Herausforderungen (insbesondere bei solarer Kühlung) stellen ein großes Hemmnis dar.

302 Einschließlich Kälteerzeugung für Nahrungsmittel und Industriekälte. Vgl. http://www.baulinks.de/webplugin/2011/0746.php4 (letzter Zugriff 18.08.2014). Diese Daten weichen von anderen Quellen, z. B. den Angaben des Bundesministeriums für Wirtschaft, ab. Offenbar bestehen große Unsicherheiten über den Energiebedarf.

6.2 Kühltechniken und -systeme für erneuerbare Energien

Historisch gab es erste Nutzungen von erneuerbaren Energien (Solarenergie) zur Erzeugung von Kälte bereits im 19. Jahrhundert (Frankreich) und Anfang des 20. Jahrhunderts (USA). Praktisch entstand jedoch kein Markt und keine Verbreitung von solar angetriebenen Sorptionskälteanlagen. Diese Anlagentechnik ist dennoch weltweit verbreitet, wenn auch die Wärme in der Regel aus fossilen Energien erzeugt, bzw. teilweise auch Abwärme genutzt wird. Der Klimaschutzbeitrag dieser Technologien rückte erst in den 1990er Jahren ins Blickfeld.

6.2.1 Funktionsweise von EE-basierten Kühltechniken im Gebäudebereich

Prinzipiell können Sonnenenergie oder Umweltwärme in verschiedenen technischen Varianten zur Kühlung genutzt werden. Bei der sogenannten solaren Kühlung kann als einfachste Option eine Photovoltaikanlage zur Stromerzeugung installiert und der erzeugte Strom direkt zum Antrieb einer Kompressionskältemaschine genutzt werden (vgl. Kapitel 6.2.2).

Die Kühlung mithilfe einer Sorptionskältemaschine, die einen thermischen Verdichter verwendet, stellt eine aufwendigere Variante dar (vgl. Kapitel 6.2.3). Die zum Antrieb erforderliche Energie (hier: Wärme) kann aus Solarkollektoren, Geothermie oder – als Abwärme – aus mit erneuerbaren Energien betriebenen Wärmekraftwerken stammen.

Wärmepumpen, die Umgebungswärme als Energiequelle nutzen, können sowohl zur Heizung als auch zur Kühlung eingesetzt werden. Bei Erd- oder Grundwasser-Wärmepumpen werden die beiden Kältekreisläufe (Gebäude und Erdreich) zu Kühlzwecken zum Sommer getauscht, sodass die Wärme nun statt dem Erdreich/Grundwasser dem Gebäude entzogen und an das Erdreich bzw. Grundwasser abgegeben wird (vgl. Kapitel 6.2.4). Da diese Variante Pumpstrom benötigt gilt sie vollständig nur als „EE-basiert“, wenn auch der Strom aus erneuerbaren Quellen stammt.

6.2.2 Aktive Kühlung mit Solarstrom (Kompressionskälteprozess)

Die aktive Kühlung mit strombetriebenen Kompressionskälteanlagen, insbesondere mit sogenannten Split-Klimageräten, ist international sehr weit verbreitet. Diese Geräte erkennt man daran, dass Wärmetauscher jeweils im Gebäude und außen am Gebäude installiert sind.[303] Bei diesen Geräten können die Kältekreisläufe über ein Vier-Wege-Ventil umgeschaltet werden. Dabei wird dem Gebäude die Wärme bei Kühlbetrieb im Sommer entzogen und nach außen abgegeben. Bei Heizbetrieb wird in der kühleren Jahreszeit Wärme in das Gebäude abgegeben (Wärmepumpenbetrieb). Das Arbeitsprinzip entspricht dem der Luft-Wärmepumpe, jedoch wird für diese aktive Kühlung ein Kompressor und somit viel Strom benötigt. Stammt dieser Strom aus erneuerbaren Energien, kann man von einer EE-basierten Kühlung sprechen.

Gerade in südlichen Ländern geht der sommerliche Kühlbedarf mit hoher Sonneneinstrahlung einher. Für eine EE-basierte Kühlung bietet sich besonders die Kombination mit einer Photovoltaikanlage an, die zumindest über den Tag einen erheblichen Teil des Strombedarfs für die Kühlung beisteuern kann. Besteht Kühlbedarf auch in den Abend- und Nachtstunden, muss der Strom aus anderen Quellen oder wiederaufladbaren Batteriespeichern bezogen werden.

[303] Diese Klimaanlagen sind in warmen Ländern in vielen Hotels und Bürogebäuden zu sehen.

6.2.3 Gebäudekühlung mit Kollektorwärme (Sorptionskälteprozesse)

Auch wenn es auf den ersten Blick paradox scheint, kann Solarwärme auch zur Kühlung genutzt werden. Die zum Betrieb der Kältemaschine (Sorptionskältemaschinen) notwendige Energiezufuhr erfolgt hierbei nicht als mechanische Energie (wie bei elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschinen), sondern direkt als Wärmeenergie[304] aus den Solarkollektoren. Insbesondere Absorptionskältemaschinen werden häufig genutzt. Dabei handelt es sich um den ältesten bekannten Prozess zur Kälteerzeugung (vgl. Kapitel 6.1). Er kommt überwiegend dort zum Einsatz, wo preisgünstig große Wärmemengen zwischen 60° und 150°C zur Verfügung stehen (in der Regel Abwärme aus Prozessen oder BHKW, Fernwärme) und zugleich ein Kältebedarf besteht. Verbreitet ist dieser Sorptionskühlprozess auch in Ländern, wo das elektrische Stromnetz zu den Tagesspitzenzeiten überlastet ist, denn dann ist die Kühlanlage weitgehend unabhängig von Strom bzw. Stromausfällen. Die Wärmezufuhr erfolgt dort jedoch in der Regel mit Gas, so wie es auch bei Camping-Kühlschränken oft der Fall ist.

Im Vergleich zu den marktbeherrschenden elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschinen benötigen die Sorptionskältemaschinen wesentlich mehr Raumvolumen, da ihre spezifische Kälteleistung deutlich niedriger ist. Zudem sind diese Anlagen investiv deutlich teuer und stellen wegen der großen Volumenströme auch hohe Anforderungen an die sogenannte Rückkühlung, d. h. Wärmeabfuhr aus dem System. Große Anlagen haben wegen der dann großen Volumenströme zudem einen erheblichen Pumpenergiebedarf. Es wird jedoch erfolgreich an der Weiterentwicklung von Absorptionskältemaschinen gearbeitet, um diese Nachteile zu mindern (TU Berlin Pressestelle 12.08.2013). Zudem muss sowohl ein Wärme- als auch Kühlbedarf bestehen und die Solar- und die Kälteanlage müssen von vornherein gemeinsam geplant und aufeinander abgestimmt werden. Thermodynamisch sind solche Anlagen gegenüber elektrisch angetriebenen Kompressionskältemaschinen im Vorteil, da der mit Umwandlungsverlusten verbundene Umweg über die Stromerzeugung (sofern die Energie aus Wärmekraftwerken und nicht aus Photovoltaik gewonnen wird) vermieden wird.

Auch Kälte aus der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK) in Heizkraftwerken kann erneuerbar erzeugte Kälte sein, wenn der im Kraftwerk zur Wärmeerzeugung eingesetzte Brennstoff biogenen Ursprungs ist, z. B. Biomethan oder Holz. Trotz der deutlich höheren Investition im Vergleich zu einer Kompressionskältemaschine kann die KWKK-Anlage wirtschaftlich betrieben werden, weil sich durch die Wärmenutzung zur Klimatisierung im Sommer die Laufzeiten verlängern.

In der Regel handelt es sich bei KWKK-Anlagen jedoch um gewöhnliche Blockheizkraftwerke, deren Brennstoff konventionelles Erdgas ist, und deren Abwärme im Sommer für die Kühlung genutzt werden kann. Durch die längeren Laufzeiten verbessert sich die Wirtschaftlichkeit des BHKW.

Weiterhin kann auch erneuerbare Wärme aus Tiefengeothermieanlagen als Quelle für die Sorptionskälteanlage dienen, da auch hier insbesondere im Sommer kaum Wärmeabnahme besteht. In Deutschland sind bislang keine Anwendungen dieser Art umgesetzt worden.

6.2.4 Kühlung über das Erdreich (Wärmepumpenprozess)

Eine Kühlung ist in Deutschland auch möglich, wenn Erdwärmesonden oder Grundwasser mit einem relativ konstanten Temperaturniveau um 10° C als Kältequelle genutzt werden können. Wie bei allen Wärmepumpensystemen sind der Strombedarf und die Herkunft des Stroms für den Klimaschutzbeitrag ausschlaggebend. Als eine der effizientesten Arten der Gebäudekühlung gilt daher der

[304] Dies kann auch Abwärme aus industriellen Prozessen und Motoren oder Fernwärme sein.

sogenannte freie oder passive Kühlbetrieb. Dabei wird die Wärme, durch Umwälzpumpen angetrieben, vom Gebäudekreislauf aufgenommen und an den Solekreislauf abgegeben. Neben dem Pumpstrom besteht kein weiterer Strombedarf. Die Kühlleistung ist in der Regel jedoch geringer als bei der aktiven Kühlung mit Kompressorbetrieb. Bislang ist die passive Kühlung mit Erdwärmesonden noch wenig verbreitet. Da bei der Gebäudeheizung mit Wärmepumpen in Neubauten der Trend klar zu den preisgünstigeren Luftwärmepumpen geht (vgl. Kapitel 5.5.1.1), dürfte der Anwendungsbereich der passiven Kühlung mit Erdwärme auch in Zukunft wohl eher eine Randerscheinung bleiben.

6.3 Politische Impulse, Förderung und rechtlicher Rahmen

6.3.1 Kontext Klimaschutz

Unmittelbar nach dem Kyoto-Gipfel im Dezember 1997 erschien 1998 in der Zeitschrift International Journal of Refrigeration ein „Special Issue on Solar Cooling“ (Volume 21, Number 2). Im Editorial dieser Ausgabe betonte der frühere Direktor des International Institute Of Refrigeration (IIR), Louis Lucas, die Relevanz und Bedeutung vor allem der solaren Kühlungstechniken für den Kyoto-Prozess. Einerseits wirkten die Kühlmittel in beträchtlichem Umfang als Treibhausgas, wenn sie in die Atmosphäre gelangten. Das Hauptproblem aber war der steigende Energiebedarf für Kühlung von 78 TWh im Jahre 1999 auf 85 TWh im Jahre 2009 (König et al. 2012, 72), der (auch heute noch) überwiegend aus fossilen Quellen gedeckt wird und dadurch einen hohen CO_2-Ausstoß verursacht (Lucas 1998, 87f.) Von den verschiedenen Möglichkeiten der regenerativen Kühlung wurde in den 1990er Jahren der Beitrag *solarer Kühlung* in den Kontext der Klimaschutzdebatte gestellt.

6.3.2 Forschung und Förderung

Die anlagenbezogene Förderung innovativer Technologien zur solaren Kälteerzeugung war erstmals ab 2007 über das MAP (Richtlinien vom 12. Januar 2007) möglich. Eine Förderung kam bei Erstinstallation von Anlagen bis 40 m^2 Kollektorfläche in Frage. Sie betrug bis zu 70 Euro pro angefangenen Quadratmeter Bruttokollektorfläche. Die Basisförderung wurde bereits in der Richtlinien-Änderung vom 25. Juli 2007 auf 105 Euro pro angefangenen Quadratmeter erhöht.

Nach den Richtlinien vom 5. Dezember 2008 wurden Kollektoranlagen von 20 bis 40 Quadratmeter Bruttokollektorfläche mit 210 Euro pro angefangenen Quadratmeter gefördert (Basisförderung). Große Solarkollektoranlagen und Anlagen zur solaren Kälteerzeugung ab 40 m^2 Bruttokollektorfläche wurden über die KfW gefördert.

Mit der Einführung des EEWärmeG wurde die Förderung in den Richtlinien 2009 auch bei Anlagen zur Kälteerzeugung auf den Anteil begrenzt, der eine Übererfüllung der Nutzungspflicht darstellte. Die Fördersätze blieben die gleichen wie im Jahre 2007. Mit den Richtlinien 2010 wurden entsprechend der Weiterschreibung des EEWärmeG nur noch Kälteanlagen im Gebäudebestand gefördert. Hierbei wurde allerdings die Förderhöhe für solare Kühlung auf 180 Euro pro angefangenen Quadratmeter Bruttokollektorfläche erhöht. Dafür wurden die Boni für besonders innovative Anlagen gestrichen.

Zwischen 2008 und 2011 wurden insgesamt 135 solare Kollektoranlagen zur Kälteerzeugung über den BAFA-Teil gefördert. Hinzu kam eine weitere Anlage (40 kW) über den KfW-Teil des MAP (Langniß et al. 2012, 23f).

Eine Förderung von Pilotanlagen erfolgte über das Forschungsförderungsprogramm Solarthermie2000plus. Im Rahmen dieses Programms, das auf die Diffusion von großen Solarthermieanlagen ausgerichtet war, wurden auch fünf Anlagen zur Kühlung mit Kollektorwärme gefördert und wissenschaftlich begleitet. Gesonderte Förderprogramme zur Erforschung und Optimierung der EE-

Kühltechnologien gab es nicht, jedoch wurden einzelne Projekte über die Ressortforschung des Bundeswirtschaftsministeriums gefördert (Ziegler 16.01.2014).

6.3.3 Rechtlicher Rahmen

Im Rahmen der Fortschreibung des EEWärmeG 2011 wurde die Zielformulierung zur Steigerung der Anteile erneuerbarer Energien auch auf den Bereich EE-Kälte ausgedehnt. Welche Techniken im Einzelnen darunter verstanden werden, ist im Gesetz nicht näher präzisiert. Es ist anzunehmen, dass nähere Ausführungen dazu im Rahmen einer weiteren Fortschreibung erfolgen sollen. Im MAP finden bisher fast ausschließlich solarthermische Kältetechnologien Berücksichtigung. Sollen weitere EE-Kälte- bzw. Kühlungstechniken berücksichtigt werden, müsste das Förderinstrument entsprechend ergänzt werden. Bislang entwickelt weder das EEWärmeG noch das MAP (vgl. Kapitel 6.3.2) treibende Kraft für den Innovationsprozess im Bereich EE-Kälte.

6.4 Akteure

Das Feld der Akteure im Bereich solarer Kühlung ist recht überschaubar, zumal die Anwendung dieser Technik auf Pilot- und Demonstrationsprojekte beschränkt ist. Insofern dominieren Forschungsakteure und Hersteller und deren Vertreter den Innovationsprozess.

6.4.1 Solare Kühlung – ein Thema für Forschungsakteure

Bisher ist die Optimierung und Anwendung von Anlagen zur EE-basierten Gebäudekühlung nahezu ausschließlich ein Forschungsthema. Im internationalen Kontext sind vor allem Forschungsinstitute aus Ländern der heißen Klimazonen wie USA, Japan, Süd-Korea und Israel[305] führend. In Europa kommen namhafte Forschungsvertreter aus Spanien, Italien und Frankreich, einige auch aus Deutschland, Großbritannien und den Niederlanden.[306] Im Folgenden werden vor allem die auf nationaler Ebene aktiven Forschungsakteure beleuchtet.

Das Fachgebiet *Maschinen- und Energieanlagentechnik der TU Berlin* (Prof. Dr. Felix Ziegler) betreibt seit 2002 sowohl grundlagen- als auch anlagentechnisch orientierte Forschung u. a. im Bereich der alternativen Kälteerzeugung, wobei Absorptionskälteanlagen mit thermischem Antrieb im Vordergrund stehen.[307] Die Energie hierfür wird durch solare Kälteerzeugung bzw. solares Kühlen oder durch Abwärme, z. B. von BHKW, HKW (Kraft-Wärme-Kältekopplung/KWKK) bzw. Industrieprozessen bereitgestellt. Am genannten Fachgebiet werden u. a. eine Reihe von Forschungsprojekten bearbeitet, die im Rahmen der Ressortforschung des Bundeswirtschaftsministeriums zur Energieeffizienz finanziert wurden und werden.[308]

Das *Fraunhofer ISE* war unter der Leitung von Prof. Dr. Hans-Martin Henning[309] mit der wissenschaftlichen Programmbegleitung und Begleitforschung des Programms Solarthermie 2000plus befasst. In diesem Rahmen ist u. a. der „Planungsleitfaden Solare Kühlung“ (Wiemken et al. 2012) entstanden, der einen aktuellen Überblick über den Stand der Technik und die Anwendungsmöglichkeiten bietet.

---

305 Hier nimmt Prof. Gershon Grossman, Haifa, eine hervorgehobene Stellung ein.

306 Diese Verteilung spiegelt sich auch in der Besetzung des ISHPC 14.

307 http://www.eta.tu-berlin.de/menue/fachgebiet/

308 Die Zuständigkeit für die Förderung für Solare Kühlung war vor 1990 im BMF angesiedelt. Seit den 1990er Jahren fördert das Bundeswirtschaftsministerium anwendungsbezogene Pilot- und Demonstrationsvorhaben mit wissenschaftlicher Begleitung im Rahmen der Energieeffizienz-Ressortforschung.

309 Zugleich stellvertretender Institutsleiter des Fraunhofer ISE.

In Kooperation mit dem ILK Dresden und dem ZAE Bayern hat das Fraunhofer ISE auch die wirtschaftlichen Aspekte des Einsatzes solarer Kühlung untersucht.[310] Ein weiterer Forschungsschwerpunkt für solare Kühlung befindet sich an der Hochschule Stuttgart. Unter der Fachgebietsleitung von Prof. Ursula Eicker wurden seit 2000 Forschungsergebnisse u. a. über solarthermisch betriebene Diffusions-Absorptionskältemaschinen veröffentlicht.[311]

Für die deutschen Forscher bieten in erster Linie internationale Konferenzen eine Austauschplattform für den Forschungsstand. In den USA richtet z. B. das CEEE (*Center für Environmental Energy Engeneering*) an der University of Maryland regelmäßig eine Konferenz „*International Sorption Heat Pump Conference*“ aus.[312]

6.4.2 Nutzer

Einen größeren Nutzerkreis – wie etwa bei den Wärmetechnologien – gibt es derzeit noch nicht, da sich die Anwendung der Technik bisher weitgehend auf Pilot- und Demonstrationsprojekte beschränkt. Beispiele für derartige Pilotanwendungen sind CUT (Osnabrück, 2005), FESTO AG (Esslingen, 2007), iba AG (Fürth, 2007), Hofmühl-Brauerei (Eichstätt, 2009), Hütt-Brauerei (Kassel, 2010), sowie das Bundespresseamt (Berlin).

6.4.3 Verbände

In Deutschland gibt es eine Reihe von Verbänden[313], die sich mit Kälte und Klimatechnik befassen. Jedoch haben die von ihnen vertretenen Branchen für die vorliegende Fragestellung keine Bedeutung. Lediglich ein 2009 gegründeter und damit noch relativ junger Verband für Sorptionskälte, „greenchiller“[314], setzt sich für die breite Markteinführung der thermisch angetriebenen Kältetechnik ein. Gegenwärtig bietet er ein Austausch- und Diskussionsforum für anwendungsbezogene Fragen.

6.4.4 Hersteller und Installateure

In Deutschland gibt es nur wenige Unternehmen, die wärmegetriebene Sorptionskälteanlagen herstellen. Der Markt für Sorptionskälteanlagen wird vielmehr von süd-ostasiatische Firmen wie *Samsung* (Korea), *Mitsubishi*, *Hitachi, Kawasaki* und *Sanyo* (alle Japan), *Ebara* (China) und *Thermax* (Indien) beherrscht. Für deutsche Unternehmen besteht nach Ziegler (16.01.2014, mdl.) angesichts dieser Marktdominanz kaum eine Chance, über das Nischengeschäft hinaus Markterfolge zu erzielen. Nur wenige deutsche Firmen wie z.B. *SOLARNEXT*, *SorTech* oder *InvenSor* bieten Sorptionskältemaschinen im kleinen Leistungsbereich an.

Die Planung und Installation derartiger Anlagen ist ein Sonderfall. Bei der Installation von EE-basierten Kühlungsanlagen müssen verschiedene Komponenten (Solarthermische Kollektoren, Block-

---

310 Projekt EVASOLK – Evaluierung der Chancen und Grenzen Solarer Kühlung im Vergleich zu Referenztechnologien. Förderkennzeichen 0325966A. Laufzeit: 2010 bis 2012.

311 Zum Stand und den Aussichten solarer Kühlung vgl. Eicker (2012); Eicker et al. (2012).

312 Im Forschungsbeirat der Konferenz sind zahlreiche international renommierte Wissenschaftler der Forschergemeinde vertreten, aus Deutschland Prof. Felix Ziegler (TU Berlin) und Prof. Christian Schweigler (WZ Straubing).

313 Vgl. Verbände KÄLTE UND KLIMATECHNIK (Kälte- und Klimatechnischer Verein e.V. (DKV); Zentralverband Kälte Klima Wärmepumpen; Verband Deutscher Kälte-Klima-Fachbetriebe (VDFK); Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e. V. (AGFW)).

314 Gründungsmitglieder sind die sieben Firmen SolarNext AG, EAW Energieanlagenbau Westenfeld GmbH, SorTechAG, InvenSor GmbH, Pink GmbH, AGO AG, Sonnenklima GmbH sowie die zwei Forschungseinrichtungen Fraunhofer ISE und ILK Dresden. Vgl. HTTP://WWW.SOLARNEXT.EU/PDF/GER/PUBLICATIONS_PRESENTATIONS/JAKOB/09EE_GREENCHILLER.PDF und WWW.GREENCHILLER.DE

heizkraftwerke, Wärmepumpensysteme) miteinander kombiniert werden. Solche kombinierten Systeme stellen hohe Anforderungen an Anlagenauslegung und die Auswahl geeigneter Komponenten. Sie werden in der Regel von spezialisierten Fachplanungsbüros geplant und unter ihrer Anleitung von Handwerksbetrieben installiert.

6.5 Markt und Kostenentwicklung

Die Schätzungen über den globalen Bestand solarthermisch angetriebener Kühlanlagen weisen eine große Bandbreite auf und reichen von 500 (Eicker 2011, 2) bis 2.000 Anlagen (EE-News 28.03.2013). In Deutschland sind mit Solarwärme betriebene Kälteanlagen eher selten und vielfach nur in geförderten Pilot- oder Demonstrationsvorhaben (vgl. Kapitel 6.4.2) mit Begleitforschung[315] im in gewerblicher/industrieller Umgebung umgesetzt worden. Die spezifischen Kosten der Anlagen lagen dort mit 3.000 bis 4.000 Euro pro kW im Vergleich zu Kompressionskälteanlagen sehr hoch, die Betriebserfahrungen bei größeren Anlagen sind jedoch nicht zuletzt wegen des hohen Planungs- und Begleitungsaufwandes zumeist gut (Eicker 2011, 3; 5) und Einsparungen beim Strombedarf führen zu einer (teilweisen) Refinanzierung der Mehrkosten. Die Amortisationszeiten werden je nach Größe der Anlage mit unter 10 bis 18 Jahre angegeben (Jakob 2008, 53).

Insbesondere für solar betriebene Kühlsysteme gibt es weltweit noch kaum eine relevante Marktnachfrage. Der Grund dafür liegt vor allem in den hohen spezifischen Kosten von bis zu 8.000 Euro/kW inkl. USt. (Jakob 2010, 13) bzw. den grundsätzlich hohen planerischen Anforderungen für solare Sorptionskälteanlagen. Für einen wirtschaftlichen Betrieb sind zudem lange Laufzeiten der Kältemaschine bei möglichst vollständiger Wärmebedarfsdeckung durch Solarkollektoren eine wesentliche Voraussetzung. Ideal ist eine ganzjährige Abnahme der Solarwärme, z. B. durch einen im Sommerhalbjahr ausreichend hohen Kühlbedarf und/oder zusätzliche Deckung eines ganzjährig bestehenden Wärmebedarfs. Im Wohnungsbau treten in Mitteleuropa nur 50 bis 200 Kühlstunden pro Jahr auf, in Bürogebäuden bzw. im Mittelmeerraum sind es bis zu 1.000 Stunden (Jakob 2010, 13).

Kostenvergleiche sind in hohem Maße von den spezifischen Randbedingungen, d. h. Höhe des Kälte- und Wärmebedarfs bzw. deren zeitliche Verläufe innerhalb eines Jahres abhängig. Folglich gibt es kaum Angaben bzw. aussagefähige Kostenangaben. In (Lazzarin 2012, 44) werden Angaben zu den geschätzten Investitionskosten für verschiedene solar unterstützte Kälteanlagen gemacht. Die Investitionskosten werden dort mit rund 2.000 Euro pro 10 kWh Kältebedarf/Tag angegeben. Doch besteht eine große Bandbreite in Abhängigkeit von Einstrahlungsverhältnissen und Art der Kälteübertragung (Wasser oder Luft).

Mit Solarstrom betriebene Kompressionskältemaschinen sind in Folge des starken Preisverfalls bei Photovoltaikanlagen als zweite Variante für eine solare Kühlung in jüngerer Zeit verstärkt in den Fokus gekommen. Es ist zu erwarten, dass bei einem weiteren Kostenrückgang der PV-Anlagen sich der Kostenvorteil für mit PV-Strom betriebene Kälteanlagen vergrößern wird, da die Kosten für Solarkollektoren nur ein geringes Kostensenkungspotenzial aufweisen. Bei den großen Kompressions- wie Sorptionskälteanlagen selbst sind keine markanten Kostensenkungen zu erwarten, sodass primär die Systemkosten der Anschaffung und der solare Deckungsgrad im Betrieb bestimmend sind. Derzeit liegen mit PV-Strom betriebene und Sorptionskälteanlagen hinsichtlich der spezifischen Kosten relativ nahe beieinander (Eicker 2012, 44).

[315] In der Regel über Solarthermie2000plus (http://www.solarthermie2000plus.de) oder Deutsche Bundesstiftung Umwelt (Antragsschluss war 31.12.2008).

6.6 Ausblick

Zwar geben sich Industrievertreter und Forscher optimistisch, dass es für solarthermische Kühlung mit Sorptionskältemaschinen wegen des großen potenziellen Markts weltweit eine Zukunft gibt (Henning 2009). Doch sind die Anwendungsfelder technologisch bedingt eng auf gleichzeitige Kühlungs-/Heizungsbedarfe begrenzt. Zudem bringt der rasante Preisverfall bei Photovoltaikanlagen solarthermische Kühlanlagen unter erheblichen Wettbewerbsdruck, da mit Photovoltaikstrom betriebene Kompressionskälteanlagen in der Anschaffung sehr viel kostengünstiger (etwa ein Drittel der Kosten einer Sorptionskältemaschine) und im Betriebsverhalten auch sehr viel flexibler sind.

Im Bereich solarunterstützter Kühlung verfolgt die Forschung nach Albers & Ziegler (2014) weitgehend übereinstimmende Ziele: Zum einen soll für jede Anwendung von Kühlung eine optimale Kombination aus Kollektor und Kühlungssystem gefunden werden, die die spezifischen Ansprüche an das Kühlen bei eingeschränkter Verfügbarkeit von solarer Strahlung im bestmöglichen Maße erfüllt. Im Fokus steht die Weiterentwicklung der speziell für den europäischen Markt entwickelten kompakten solarbetriebenen Sorptionskälteanlagen (sog. Solar Cooling Kits) mit Kälteleistungen unterhalb von 20 kW, die aus aufeinander abgestimmten Komponenten (Solarkollektoren, Warmwasserspeicher, Pumpen, Kältemaschine, Rückkühler und Regelung) bestehen. Der Bedarf an fossiler Unterstützung (Pumpenstrom) soll dabei minimiert werden. Zum anderen steht die Kostensenkung zur Verbesserung der ökonomischen Wettbewerbsfähigkeit dieser Systeme im Vergleich zu den Standard-Kühlsystemen sowie zur Konkurrenz-Technologie Photovoltaik auf der Forschungsagenda (ebda.). Benötigt werden hocheffiziente Kälteanlagen, sonst können selbst bei günstigen „solaren“ Rahmenbedingungen keine Einsparungen erzielt werden (ebda.). Bei den Systemkosten für standardisierte solare Cooling Kits werden für Kompaktanlagen mit kleiner Kälteleistung deutliche Kostensenkungen auf etwa 3.000 Euro/kW angestrebt (Jakob 2008, 53).

Innovationen werden vor allem im Bereich der Kälteanlagen erwartet, dort bestehen mehrere konkurrierende Konzepte. Eine Kombination von EE-basierten Kälteanlagen mit einer Zimmerheizung im Winter könnte die Installation einer Kälteanlage sehr viel kostengünstiger machen (ebda.).

7 Treibende und hemmende Kräfte der Innovationsverläufe

Im Folgenden werden die wesentlichen Einflussfaktoren und Rahmenbedingungen für technische Innovationen sowie für die Markteinführung zusammengefasst. Kapitel 7.1 stellt die Ausgangssituation zu Beginn der 1990er Jahre dar und beschreibt technologieübergreifend Einflussfaktoren und Impulse für EE-Innovationen im Wärmemarkt. Anschließend geht Kapitel 7.2 auf die technologiespezifisch wirkenden treibenden und hemmenden Kräfte ein. Das Kapitel schließt mit einem Ausblick auf zukünftige Herausforderungen.

Seit 1990 steigerte sich der Anteil der EE-Wärmetechnologien an der Wärmebereitstellung von 2,1 % auf 9,1 %[316] im Jahr 2013 (BMU 2014, 15). Der EE-Anteil an der Wärmebereitstellung für die Gebäudewärme lag mit etwa 6 % niedriger.[317] Bei der Wahl der Heiztechnologie in Neubauten erreichten EE-Wärmetechnologien nach Angaben des Statistischen Bundesamtes im Jahr 2011 bereits einen Anteil von rund 37 % (vgl. EE-Wärme-Info). Die Zahlen zeigen, dass der Wärmemarkt trotz erfolgreicher technischer Innovationen und gestiegener EE-Anteile an der Wärmeversorgung noch deutlich öl- und gasdominiert ist.

7.1 Zentrale übergreifende treibende und hemmende Kräfte im Wärmemarkt

Die Analyse des Innovationsprozesses beginnt in den 1990er Jahren. Zu dem Zeitpunkt waren die Techniken zur EE-Wärmeerzeugung mit Einzelheizungen – mit Ausnahme automatischer Holzheizungen – im Wesentlichen bereits entwickelt. Seither ist der Innovationsprozess vor allem inkrementell vorangeschritten und die Anwendung der EE-Wärmeerzeugungstechniken hat langsam, aber stetig zugenommen. Die Entwicklungen wurden durch ein Zusammenwirken verschiedener Kräfte vorangetrieben.

Ausgelöst durch die Empfehlungen der Enquête-Kommission „Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre“ (vgl. Kapitel 2.2.2.2) gelangte der Klimaschutz auf die politische Agenda. Neben der Verankerung eines handlungsleitenden Klimaschutzziels brachte der Bundestag mit dem StrEG (1991) zunächst ein Förderinstrument für erneuerbaren Strom auf den Weg. In dieser Zeit verstärkten schwankende und in der Tendenz steigende Öl- und Gaspreise das Interesse am Einsatz von EE-Wärmetechniken. 1994 wurden schließlich „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ beschlossen, die neben EE-Stromerzeugungsanlagen auch eine Markteinführung von EE-Wärmetechnologien im Haushalts- und z. T. auch im Gewerbereich unterstützen sollten. Die geringe Finanzausstattung und breite Streuung der Technologien ermöglichten nur eine bescheidene Förderung, so dass die Richtlinien die Marktentwicklung von EE-Wärmetechniken in dieser ersten Förderepoche allenfalls symbolisch beeinflusste.

Der *Regierungswechsel zu Rot-Grün* (1998) ging mit der Bedeutungszunahme von umwelt- und klimapolitischen Strategien und Leitbildern einher. Damit eröffnete sich ein politisches Handlungsfenster für die verstärkte Förderung von erneuerbaren Energien sowohl im Strom- als auch im Wärmebereich. Ab 1999 wurden die „Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien“ (seither als MAP-Richtlinien bezeichnet) aufgestockt. Zur Finanzierung der Förderung wurden ein Teil der Einnahmen aus der zuvor eingeführten Stromsteuer (so genannte Ökosteuer) eingesetzt. Die Aufstockung ließ die Absatzzahlen zwar ansteigen. Die Branche litt aber dennoch

[316] Inkl. EE-Wärme in der Industrie

[317] Der EE-Anteil am Endenergieverbrauch Wärme (2013) durch Holzbrennstoffe betrug 4,5 %, der von Solarthermie 0,5 % und von Umweltwärme 0,6 % (BMU 2014, 15).

unter den Unsicherheiten, die die haushaltsabhängig schwankenden Absatzzahlen mit sich brachten. Ab 2006 wurde die administrative Abwicklung der Förderanträge vereinfacht, was die Förderquote der Richtlinien nochmals verbesserte. Die Fortschreibung der für die Förderung zu erfüllenden technischen Standards sorgte dafür, dass die MAP-Richtlinien wie ein „Qualitätssiegel“ wirkten. Sie reizten Hersteller zu technischen Innovationen, insbesondere zur Verbesserung der Effizienz sowie zur Verringerung schädlicher Emissionen an. Die MAP-Anforderungen einzuhalten oder sogar zu übertreffen brachte ihnen Wettbewerbsvorteile am Markt. Trotz der aus administrativer Sicht beachtlichen Erfolge bei der Etablierung einer verbraucherfreundlichen, Innovationen anreizenden Bundesförderung konnte die MAP-Förderung allein aber keinen Marktdurchbruch bewirken.

Das Land Baden-Württemberg nahm eine Vorreiterrolle für die Einführung einer Nutzungspflicht für erneuerbare Wärme ein: Es erließ 2007 ein Landesgesetz (EWärmeG) das eine Nutzungspflicht für erneuerbare Wärme im Neubaubereich *und* – für Solarthermie – darüber hinaus auch im Gebäudebestand vorsah. Wenngleich die an den Sanierungsfall gekoppelte Nutzungspflicht für EE-Wärme in ihren Effekten kritisiert wurde, beeinflusste der Vorstoß den Gesetzgebungsprozess auf Bundesebene, indem er die „Machbarkeit“ einer solchen Regelung aufzeigte.

Die 2007 verabschiedeten „Eckpunkte für ein integriertes Energie- und Klimaprogramm“ (IEKP) gaben schließlich den Anstoß, die Verabschiedung eines Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) und eine Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV) voranzutreiben. Nach langem Ringen wurde das EEWärmeG 2008 verabschiedet und trat 2009 in Kraft. Die Einführung einer anteiligen Nutzungspflicht von EE-Wärme ließ sich nur für den Neubau, nicht aber für den Gebäude*bestand* (Altbau) durchsetzen. Die Zustimmung der beteiligten Ressorts zur Einführung einer Nutzungspflicht im Neubau wurde durch ein Kostentragungsmodell erreicht, das als „Fordern und Fördern“ bezeichnet wurde. Für die Erfüllung der Nutzungspflichten des EEWärmeG („Fordern“) konnten MAP-Mittel („Fördern“) in Anspruch genommen werden. Dafür wurde das MAP 2009 aufgestockt. Die Förderung für Neubauten wurde jedoch bereits im Folgejahr (2010), nach einem zwischenzeitigen Förderstopp, gestrichen und blieb in der Folge auf Bestandsbauten beschränkt. Hier setzte die Bundesregierung weiterhin darauf, dass Einsparungseffekte gegenüber fossilen Brennstoffkosten in Kombination mit der MAP-Förderung ausreichend Anreize für Hausbesitzer bieten, EE-Technologien einzubauen. Die MAP-Zuschüsse glichen jedoch die Mehrkosten für den Einbau von EE-Wärmetechnologien sowie die unsichere Amortisation nicht vollständig aus, sodass die (ideell motivierte) Zahlungsbereitschaft und –fähigkeit der Anwender weiterhin eine Schlüsselrolle spielte (und spielt). Im Zuge der EEWärmeG-Novelle 2011 wurde die Nutzungspflicht auf öffentliche Bestandsgebäude erweitert – eine Maßnahme, die den Weg für die Ausdehnung auf den gesamten Gebäudebestand ebenen sollte. Bis heute kam eine entsprechende Gesetzesänderung jedoch nicht zustande.

Die Bundesländer zogen sich ab 1999, nach Inkrafttreten der aufgestockten MAP-Förderung, aus der Förderung von EE-Wärmetechnologien zurück bzw. beschränkten sich auf die nach MAP nicht förderfähigen Anlagen und Anwendungsbereiche. Zum Beispiel verlagerten einige Länder die Förderung auf Projekte für klimaneutrales oder energieeffizientes Bauen, um eine Doppelförderung zu vermeiden. In den geförderten Projekten (z. B. Niedrigenergiehaussiedlungen) wurden auch Wärmeerzeugungstechniken mit erneuerbaren Energien eingesetzt, sodass die Verbreitung der Techniken indirekt davon profitierte. Zu einer merklichen Nachfragesteigerung kam es dadurch jedoch nicht. Lediglich einzelne Länder wie Niedersachsen führten Förderprogramme noch bis 2003 fort.

Im Zuge der Föderalismusreform 2006 wurde klargestellt, dass es Aufgabe des Bundes ist, ordnungsrechtliche Maßgaben zum Einsatz erneuerbarer Energien und zur Energieeffizienz zu verabschieden. Die Ländern könnten zwar eigene, über das Bundesrecht hinausgehende EE-Wärmegesetze verab-

schieden. Jedoch haben sie davon bisher keinen Gebrauch gemacht, zumal sie sich mit dem Bund nicht über die Kostentragung einigen konnten. Außerdem befürchten Länder durch erweiterte Nutzungspflichten Wettbewerbsnachteile. Dass Länder im Hinblick auf eine Erweiterung der Nutzungspflicht aktiv werden, ist angesichts der ungelösten Finanzierungsfrage unwahrscheinlich.

Wie Einzelbeispiele belegen, können Kommunen durch ihre Vorbildfunktion ein wichtiger Impulsgeber für andere Kommunen (z. B. „Solarsatzung"; Modellprojekte zur Umsetzung klimafreundlicher Siedlungskonzepte) sowie für private Anwender sein. Jedoch sind ihre Handlungsspielräume mehrheitlich durch personelle und finanzielle Knappheit eingeschränkt. So sind sie in der Regel selbst auf Fördermittel für den EE-Heizungstausch in öffentlichen Bauten oder neue kommunale EE-Wärmeprojekte angewiesen.

Die 1990er Jahre sind durch Verbandsgründungen auf Bundesebene sowie von Fusionen zur Bündelung der Brancheninteressen gekennzeichnet. So fusionierten die Interessenvertretungen der Solarthermie in mehreren Schritten mit der Interessenvertretung der Photovoltaikbranche. Im gemeinsamen Bundesverband Solarwirtschaft (BSW) verlor die Solarthermiebranche jedoch an Einfluss und Unterstützung, während sich die Aufmerksamkeit auf die boomende Photovoltaik verlagerte. Die Wärmepumpenbranche etablierte mit dem Bundesverband Wärmepumpe (BWP) ab 2007 eine starke Vertretung auf Bundesebene. In Allianz mit den Stromerzeuger-Verbänden, für die Wärmepumpen auch aus Gründen der Absatzsicherung interessant sind, haben sie den Diffusionsprozess in den letzten Jahren maßgeblich unterstützt. Zu dieser Allianz gehören auch Vertreter der EE-Stromerzeuger, namentlich BWE und BSW, die z. B. in steuerbaren Wärmepumpen mit Wärmespeichern eine Option zur Glättung von Lastspitzen der EE-Stromerzeugung sehen. Im Zuge der Entwicklung von Kombinationslösungen haben sich allerdings auch neue Kooperationen entwickelt, z. B. zwischen der Solarthermie- und der Wärmepumpenbranche sowie den Gasheizungsherstellern. Für die Verbreitung von Holzheizungen spielt neben dem Bundesverband Bioenergie (BBE) heute der Deutsche Energieholz- und Pellet Verband (DEPV) eine treibende Rolle. Durch seinen Einsatz für die Normung und Zertifizierung als Voraussetzung für einen vereinfachten Handel mit Pellets hat er auf nationaler und europäischer Ebene für verbesserte Marktchancen von Pellets und damit indirekt auch für Pelletheizungen gesorgt.

Die Forschung unterstützte den Innovationsprozess der EE-Wärmetechnologien, indem sie sich in den 1990er Jahren auch anwendungsbezogenen Fragestellungen zuwandte, war aber kein unmittelbarer Treiber für die Marktintegration. So befassten sich Forschungseinrichtungen wie das ISFH, Uni Stuttgart in Kooperation mit Herstellern und Installateuren zwar auch mit der Beseitigung von Anwendungsproblemen der Solarthermie, jedoch wurde die wissenschaftliche Begleitung der Systemeinbindung und Vor-Ort-Optimierung installierter Anlagen insgesamt eher vernachlässigt. Erst mit der „Forschungsstrategie 2030" der Deutschen Solarthermie-Technologieplattform (DSTTP 2013) wurde die diesbezügliche Forschung stärker mit der Herstellerbranche verzahnt.

Bis in die 1990er Jahre hinein war es im Wesentlichen die Innovationsbereitschaft der Hersteller, die dafür sorgten, dass EE-Wärmetechniken salonfähig wurden. Die einsetzende Förderung zur Markteinführung hielt den inkrementellen Innovationsprozess (Optimierung) am Laufen. Am Beispiel der EE-Wärmetechnologien zeigt sich, dass ein Zusammenwirken von Förderung und Ordnungsrecht technische Innovationen befördert.

Jedoch standen und stehen der EE-Wärmenutzung auch vielfältige Widerstände entgegen, die ihre Konkurrenzfähigkeit einschränken und ihrer Verbreitung Grenzen setzen.

Die Investitionsentscheidung eines privaten Hauseigentümers für den Einsatz von EE-Wärme ist eng mit den zum Zeitpunkt der Sanierungsentscheidung aktuellen Heizungskosten verknüpft. Hohe fossile

Energiepreise sind ein Anreiz für eine Umstellung auf EE-Wärme, aber auch für den Einsatz von Effizienzmaßnahmen. Der Hauseigentümer muss somit entscheiden, ob er sowohl in Effizienzmaßnahmen als auch in EE-Wärme oder in nur eins von beidem investiert. Je höher der Wärmeenergieverbrauch ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass Effizienzmaßnahmen priorisiert werden. Da die Effizienzanforderungen technologieoffen formuliert sind, können sie auch mit effizienten Öl- oder Gasheizungen, in Kombination mit einer über die EnEV-Anforderungen hinausgehenden Dämmung der Gebäudehülle erfüllt werden. Dies ist zwar im Sinne des Klimaschutzes sinnvoll, unterstützt jedoch nicht die Diffusion von EE-Wärmetechnologien. Hinzu kommt ein weiterer Aspekt: Je geringer der verbleibende Restwärmebedarf ist, desto eher neigen Anwender dazu, diesen mit einer in der Investition kostengünstigeren, konventionellen Technik zu decken. Rückläufige Wärmebedarfe begünstigen demnach die Nachfrage nach EE-Wärmetechnologien nicht.

Auch die in der EnEV verankerte Austauschpflicht für Heizungsanlagen, die über 30 Jahre alt sind, ist technologieneutral formuliert. Sie verpflichtet ebenfalls nicht zum Einsatz einer EE-Wärmetechnologie. Somit ist weder eine Austauschpflicht noch die Steigerung von Gebäudesanierungsrate ein Garant für eine stärkere Diffusion der EE-Technologien. Dies könnte nur erreicht werden, wenn zugleich eine (anteilige) Nutzungspflicht im Gebäudebestand eingeführt würde.

Ein weiteres nicht eben förderliches Charakteristikum ist die Komplexität der verflochtenen Rechtsinstrumente, die für den Einsatz von EE-Wärme relevant sind. Hierzu gehören neben dem EEWärmeG und der EnEV auch das Bundesimmissionsschutzrecht, das Mietrecht und das Bauplanungsrecht. Die Zuständigkeiten sind auf verschiedene Ressorts verteilt. Dadurch entsteht ein hoher Abstimmungs- und Koordinationsaufwand, der die Spielräume für aussichtsreiche politische Steuerungsimpulse begrenzt.

Hemmend wirkte es sich für die Verbreitung der Techniken der erneuerbaren Wärme auch aus, dass ihr Einbau bis 2003 nicht zum regulären Ausbildungsinhalt des Installateurhandwerks (i. d. R. Zentralheizungs- und Lüftungsbauer sowie Gas-Wasser-Installateure) gehörte. Interessierte Installateure eigneten sich das Know-how in Eigeninitiative (z. B. Fortbildungen bei der DGS oder Herstellern) an. Trotz zunehmender Expertise des Handwerks blieben EE-Anlagen der „Sonderfall“, zumal die Installateure den Mehraufwand für die komplexe Aufgabe der Integration und Abstimmung der Komponenten, da dieser vom Kunden oft nur unzureichend honoriert wurde. Insofern propagierte anfangs nur eine kleine Zahl von Handwerksbetrieben aktiv den Einbau von EE-Wärme-Anlagen. Noch heute stellt die höhere technische Komplexität der EE-Heizanlagen für Installateure eine Herausforderung dar. Unsicherheiten bei der Prognose des Wärmeertrags sowie Herausforderungen bei der systemgerechten Einbindung bergen das Risiko, dass die Anlage eine schlechte Gesamtleistung aufweist. In der Folge werden häufig einfache, zuverlässige und bekannte „konventionelle“ Lösungen bevorzugt. Unsicherheiten über den Wärmeertrag unter Anwendungsbedingungen hemmen den Diffusionsprozess bis heute beträchtlich.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass sich Investitionen in EE-Wärmetechnologien bislang nur in bestimmten günstigen Konstellationen als wirtschaftlich vorteilhaft erweisen. Zwar ermöglichte die gestiegene Nachfrage eine schrittweise Kostensenkung, jedoch liegen die Investitionskosten einer EE-betriebenen Wärmeerzeugungsanlage immer noch deutlich über den Kosten einer konventionellen Gas- oder Ölheizung. Die langfristige Refinanzierung über niedrigere Brennstoffkosten ist in vielen Fällen unsicher. Das erreichte Marktwachstum dürfte in starkem Maße auf die Nachfrage von Anwendern zurückzuführen sein, denen es nicht allein um Kostenoptimierung bzw.-einsparung geht.

Die vorherrschenden Technologien – herkömmliche Öl- und Gas-Heizsysteme – haben aufgrund jahrzehntelanger Etablierung immer noch Wettbewerbsvorteile. Vor allem Gasheizkessel erweisen

sich hinsichtlich Effizienz und CO_2-Emissionsminderung als dominanter Konkurrent zu den EE-Wärmetechniken. Die gewachsenen Pfade haben auch aufgrund beständiger Akteursstrukturen, der verbreiteten Anwendung und der Vertrautheit der maßgeblichen Akteure mit diesen Technologien eine starke Beharrungsmacht.

7.2 Zentrale treibende und hemmende Kräfte für die Innovationsentwicklung bei Holzheizungen, Solarthermie und Wärmepumpen

Im Folgenden wird die Analyse der treibenden und hemmenden Kräfte für die Innovationsentwicklungen von Holzheizungen, Solarthermieanlagen sowie Wärmepumpen zusammengefasst. Dabei werden die technische Entwicklung, der Markt- und Diffusionsprozess und auch administrative, institutionelle, regulative und gesellschaftliche Entwicklungen und Innovationen in den Blick genommen.

Bei der Analyse der Innovationsbiographien der EE-Wärmetechnologien konnten oftmals keine singulären, unmittelbar wirkenden Triebkräfte oder Hemmnisse identifiziert werden, sondern eher Bündel verschiedener Kräfte, deren jeweiliger Anteil an der Wirkung auf die Innovationsentwicklung ohne einschlägige Effektanalysen schwer zu bemessen ist. Es können daher zwar Tendenzaussagen, aber kaum zugespitzte Aussagen über dominante treibende und hemmende Kräfte im Innovationsverlauf getroffen werden.

7.2.1 Holzheizungen

Verfügbare Holzressourcen und das wachsende Bewusstsein für die Endlichkeit und Klimaschädlichkeit fossiler Ressourcen führten seit Beginn der 1980er Jahre zu einer Rückbesinnung auf Holz, das als CO_2-neutraler Brennstoff gilt. Vor allem auf dem Land wurden Grundstücksflächen für die Holzbevorratung reaktiviert. Dies galt vorwiegend für Privatpersonen, die leichten Zugang zu Brennholzreserven in den Waldbeständen hatten. Die damaligen Kesseltechnologien galten jedoch als unmodern und unbequem, da die Holzzufuhr noch nicht automatisiert war – das Holz musste regelmäßig nachgelegt werden. Neben der Automatisierung war der Platzbedarf für die Brennstofflagerung ein wichtiges Wettbewerbskriterium für Holzheizkessel, weshalb sie vor allem als Substitut für Heizölkessel konkurrenzfähig wurden, die ebenfalls einen relativ hohen Platzbedarf haben.

Phase 1990 bis 2000: Renaissance einer traditionellen Heiztechnik

Die Phase der *Renaissance* umfasst die Dekade der 1990er Jahre, die durch ein verstärktes Interesse an der Holznutzung als Alternative zu Öl und Gas gekennzeichnet ist. Im Vergleich zu Öl und Gas waren Holzheizungen jedoch ein Nischenmarkt. 1990 betrug der Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Wärmebedarf 2,1 %. Innerhalb dieses kleinen Segments dominierten die Holzbrennstoffe: Rund 78 % der EE-Wärmeenergie in Haushalten wurde aus ihnen bereitgestellt. Der Klimaschutzgedanke und ein hohes Traditions- und Umweltbewusstsein trugen dazu bei, dass der nachwachsende Rohstoff Holz vor allem in Regionen mit hohen Waldanteilen eine Renaissance erlebte und wieder verstärkt zur Wärmeerzeugung genutzt wurde. Die einfache Verfügbarkeit, eigener Waldbesitz und kostengünstige Bereitstellung durch Eigenarbeit waren fördernde Einflussfaktoren. In Pilotprojekten wurde der Anbau von Energieholz auf dem Acker erprobt, um das Brennstoffangebot zu erhöhen und Möglichkeiten der Wertschöpfung im ländlichen Raum zu verbessern. Bis zum Jahr 2000 stieg der Anteil erneuerbarer Energien am gesamten Wärmebedarf auf 4 %. Die Holzverbrennung in Haushalten dominierte mit einem Anteil von 79 % dieses Segment.

Wichtigste treibende und hemmende Kräfte

In dieser Phase trieb vor allem eine kleine Anzahl von Kessel- bzw. Heizungsherstellern aus Österreich die technische Innovation voran. Ein ausgeprägtes Traditions- und Umweltbewusstsein in Verbindung mit hoher Holzverfügbarkeit aus Privatwaldbesitz und dem Wunsch nach Unabhängigkeit vom Öl- und Gaspreis förderte die Motivation, die traditionelle Holzkesseltechnik für Scheitholz zu modernisieren. Erklärtes Ziel war, eine hinsichtlich des Heizkomforts konkurrenzfähige Alternative zu den Öl- und Gasheizungen zu entwickeln. Insofern waren die gestiegenen Komforterwartungen der Anlagenbetreiber ein wichtiger Treiber für die Entwicklung neuer technischer Lösungen. So stand die automatisierte Beschickung, die einen Dauerbetrieb ohne „Nachlegen" ermöglichte, im Zentrum der Entwicklung. Sie konzentrierte sich auf Holzheizkessel, die mit den neuartigen und förderfähigen Holzbrennstoffen Hackschnitzel und Pellets betrieben wurden. Vor allem ging es darum, die Kesseleffizienz, Fördertechnik und Steuerung für die in Wohnhäusern üblichen geringen Wärmeleistungen zu entwickeln bzw. voranzubringen. Angesichts des in der Regel begrenzten Platzangebots galt es zudem praktikable Lösungen für die Lagerung des Brennmaterials zu finden. Ab Ende der 1990er lag der Schwerpunkt der Entwicklung auf Pelletheizungen. Die einsetzenden Normungsprozesse für diese Kesselbauformen und neue Holzbrennstoffe begleiteten den Markteintritt und unterstützten den Handel und die Akzeptanz.

Trotz des steigenden Interesses privater Anwender an modernen Hackschnitzel- und Pelletheizungen, das den Pionierunternehmen Wachstum in der Nische bescherte, war die Nachfrage regional begrenzt und blieb im Vergleich zu Gas- und Ölheizungen relativ klein. Ein Grund hierfür waren die Kosten: Vollautomatische Holzheizungen erfordern ein hohes Maß an manueller Fertigung. Zudem werden zusätzliche Komponenten wie Lagerbehälter, Fördertechnik und Brandschutz benötigt, die die Anlagen im Vergleich zu Gasheizungen verteuern. Anfangs war auch die automatisierte Brennstoffzuführung noch nicht ausgereift und zuverlässig. Potenzielle Anwender waren skeptisch, ob die angebotenen Holzheizkessel ihre Komforterwartungen erfüllen würden. Dies wirkte sich hemmend auf die Diffusion der modernisierten Technik aus.

Phase ab 2000: Von der Renaissance zur Moderne

In der zweiten Phase des Innovationsprozesses stieg die Nachfrage nach Energieholz in Deutschland aus verschiedenen Gründen (Holzheizwerke, mehr Zimmeröfen und Kamine, neue Holzheizkessel) deutlich an, was sich in steigenden Holzpreisen niederschlug. Auch die Landesforstverwaltungen propagierten die Energieholznutzung: Nach langer Zeit war sie nicht mehr nur Resteverwertung, sondern ein Geschäftsmodell geworden. Jedoch schlägt sich die steigende Holznachfrage seit einigen Jahren in einem Dissens nieder: Landesforstverwaltungen als Energieholzproduzenten, die Holznutzer (Holzindustrie und Brennholznutzer) sowie Umwelt- und Naturschutzorganisationen streiten sich über die jeweils verträglichen, d. h. nachhaltigen und die Biodiversität erhaltenden Holzentnahmemengen. Die Auseinandersetzungen verdeutlichen, dass die deutschen Festbrennstoffpotenziale aus dem Wald vor dem Hintergrund von Nachhaltigkeits- und Biodiversitätszielen sowie konkurrierenden Nutzungsansprüchen begrenzt sind.

Durch den Energieholzanbau auf landwirtschaftlichen Flächen sollten Nutzungskonkurrenzen zwischen energetischer und stofflicher Holznutzung gemindert, die Verfügbarkeit des Brennstoffs verbessert und die ländliche Entwicklung gefördert werden. Jedoch blieb der Energieholzanbau weitgehend auf geförderte Projekte beschränkt und erlangte keine kommerzielle Bedeutung.

Insgesamt blieb der Anteil der Holzheizungen im Vergleich zu Gas- und Ölheizungen gering. Im Jahr 2013 wurde durch Holzverbrennung in den Haushalten 4,5 % des gesamten deutschen Wärmeenergiebedarfs erzeugt. Innerhalb der Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien mit einem Anteil von

rund 10 % am Gesamtwärmebedarf ist die Holzverbrennung der Haushalte mit einem Anteil von rund 50 % (2013) nach wie vor die bedeutendste Ressource, ist aber in Relation zu den anderen erneuerbaren Wärmequellen deutlich geschrumpft.[318]

Wichtigste treibende und hemmende Kräfte

Ab 2002 waren – entsprechend der technischen Standards im MAP – Pelletkessel mit 90 % Wirkungsgrad auf dem Markt. Neben der vom MAP angereizten Effizienzsteigerung trieben verschärfte Umweltnormen zur Begrenzung von Feinstaub-Emissionen den technischen Innovationsprozess bei den Holzheizkesseln voran. Der Verbrennungsprozess von Pellets, der aufgrund sehr geringer Rindenanteile im Brennstoff bereits zu niedrigeren Feinstaubemissionen im Vergleich zur Verbrennung von Hackschnitzeln oder Scheitholz führt, wurde weiter verbessert. Auch die Zuverlässigkeit der automatischen Zuführung und damit der Bedienkomfort verbesserten sich deutlich. An der ab 2003 kontinuierlich steigenden Marktnachfrage hatte die MAP-Förderung einen maßgeblichen Anteil. Bis 2009 erhielt der weit überwiegende Teil neuer Pelletheizungen eine Förderung. Einen signifikanten Nachfrageeinbruch von rund 40 % gab es 2010 durch den zeitweisen Förderstopp und dem Ende der Neubauförderung. Bis zum Jahr 2013 hatte die Nachfrage jedoch wieder das alte Niveau erreicht, wobei nur noch etwa die Hälfte der abgesetzten einen MAP-Zuschuss erhält. Dies sind Anlagen für den Gebäudebestand.

Die sich sukzessive verschärfenden Umweltnormen zur Begrenzung der Feinstaub-Emissionen werden voraussichtlich Pelletheizungen begünstigen und solche Holzkessel, die zur Einhaltung der ab 2015 geforderten Staubgrenzwerte zusätzliche Filter oder Abscheider benötigen, vom Markt drängen. Sollten allerdings solche Filter oder Abscheider für kleine Kessel allerdings kostengünstig verfügbar sein, dürfte dieser Wettbewerbsnachteil sich erheblich verringern.

Die Beliebtheit von Holz als Brennstoff zeigt sich auch an der gestiegenen Verbreitung von technisch einfachen, wenig effizienten und emissionsintensiven Kaminöfen in privaten Häusern und Wohnungen. Diese befriedigen vor allem das Bedürfnis nach „Wohlfühlwärme“. Der damit verbundene Brennholzbedarf (vorwiegend Scheitholz) ist beträchtlich[319]: Er macht knapp 75 % des gesamten Holzbedarfs für Heizzwecke in Privathaushalten aus. Mit Blick auf das begrenzte deutsche Brennholzangebot (ohne Importholz) und steigende Holzpreise verschlechtert die wenig effiziente Wärmeerzeugung mit Kaminöfen letztlich die Marktbedingungen und das Image der „High-Tech“-Holzheizkessel. Auf einfache Holz-Einzelfeuerungen, die für den Großteil der Feinstaubemissionen in Deutschland verantwortlich sind, erstrecken sich die Feinstaub-Emissionsgrenzwerte jedoch erst seit 2010. Sie treten gestuft in Kraft und werden erst allmählich dadurch Wirkung zeigen, dass Kaminöfen ersetzt oder mit Filtern ausgerüstet werden müssen.

Bremsend auf die Diffusion moderner Pelletheizungen wirkt sich aus, dass sie zwar mit Ölheizungen wirtschaftlich konkurrieren können, in der Regel jedoch nicht mit Gasheizungen, da Erdgas schon seit längerer Zeit deutlich kostengünstiger als Heizöl ist. Auch die gestiegenen Holzpreise begrenzen die Marktaussichten, da die Refinanzierung der Mehrkosten schwieriger wird. Hinzu kommt die wachsende Konkurrenz zwischen energetischer und stofflicher Holznutzung.

---

[318] Erneuerbare Energien in Zahlen (BMU, Juli 2013), Erneuerbare Energien im Jahr 2013 (BMWi/AGEE Stat)

[319] Von 68,4 Mio. Festmetern, die insgesamt energetisch genutzt werden, werden rd. 34 Mio. FM in privaten Haushalten eingesetzt (FNR 2013, 10). Davon kam 2010 lt. Schornsteinfegerbefragung (2011, in Zusammenarbeit mit DBFZ) der weitaus größte Teil, 70 – 75 %, als Stückholz in Einzelfeuerungen zum Einsatz.

Während die Verbreitung von Holzheizkesseln an die regionale Ressourcenverfügbarkeit gekoppelt war, besteht eine derartige Restriktion für Pelletheizungen nicht mehr: Für Pellets wurden inzwischen bundesweite und vergleichsweise kostengünstige Lieferstrukturen aufgebaut.

Ausblick

Einem starken Marktwachstum von Holzheizungen stehen die in Deutschland begrenzten Holzpotenziale und wachsende Nutzungskonkurrenzen entgegen. Im Bestand kommt ihr Einsatz wegen des Platzbedarfs in der Regel nur im Austausch gegen Ölheizungen in Betracht. Hier stehen Pelletheizungen jedoch in starker Konkurrenz zu Gasheizungen. Im Neubaubereich begrenzt die eingeschränkte Wettbewerbsfähigkeit mit Gasheizungen die Perspektiven moderner Holzheizungen. Zudem stellen Wärmepumpensysteme eine steigende Konkurrenz im Neubau dar.

7.2.2 Solarthermie

Das CO_2-freie Heizen mit der Sonne hatte (und hat) ein positives Image, von dem die Technik profitierte. Die Diffusion der Solarthermie in Deutschland leidet jedoch unter dem grundlegenden Nachteil, dass sie den Wärmebedarf unter den hiesigen klimatischen Bedingungen nicht vollständig decken kann. Selbst in einem gut isolierten Neubau kann eine solarthermische Anlage den Jahreswärmebedarf nur zu etwa 20 bis 30 % decken. Solarthermieanlagen sind zur Deckung des vollständigen Wärmebedarfs demzufolge auf Heizungsunterstützung (Gas, Öl oder Holz) angewiesen. Die insgesamt höheren Investitionskosten amortisieren sich nur, wenn entsprechende Einsparungen fossiler Brennstoffe erzielt werden können. Das setzt wiederum eine hohe Effizienz und eine optimale Einbindung in das Gesamtsystem voraus. Ob alle Amortisationsvoraussetzungen erfüllt werden können, ist oftmals unsicher.

Eine „Stand-alone-Lösung“, die ausschließlich über Kollektoren und ein in das Gebäude integrierten Großspeicher eine ganzjährige Vollversorgung garantiert, ist wegen der hohen Anfangsinvestitionen bisher nur in wenigen Fällen realisiert worden. Die grundsätzlich erhöhten Kosten für Kombinationslösungen wirken sich hemmend auf die Verbreitung von Solarthermie-Anlagen aus.

Phase 1990 bis 1998: Allmählicher Aufschwung

Die Solarthermie trug 1990 mit einem Anteil von 0,4 % zur Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland bei (bzw. 0,01 % am gesamten Wärmebedarf). Die Solarthermiebranche bediente also einen kleinen Nischenmarkt. Der Innovationsprozess konnte in dieser Phase an den zuvor erreichten Entwicklungsstand anknüpfen. Röhren und Vakuumkollektoren waren bereits weitgehend entwickelt, es bestand aber Verbesserungsbedarf beim Wirkungsgrad und der Einbindung in Heizsysteme. Fortentwicklungen in diesen Bereichen leisteten im Wesentlichen die Hersteller. Die Forschungsförderung des Bundes (BMFT) konzentrierte sich ab 2000 mit dem Programm „Solarthermie 2000“ vor allem auf die Diffusion von Solarthermie-Großanlagen mit Kollektorflächen über 100 m^2. Das Programm unterstützte also die Entwicklung und Verbreitung von Anlagen für den privaten Anwendungsbereich nicht. Die Verbreitung dieser Anlagen wurde aber zu Beginn der 1990er Jahre durch haushaltsabhängige Programme in einigen Bundesländern unterstützt (vgl. Kapitel 2).

Im Jahr 1998 hatte die Solarthermie einen Anteil von ca. 1,5 % an der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland erreicht. Dies entsprach 0,05 % am gesamten Wärmebedarf.

Wichtigste treibende und hemmende Kräfte

Der Diffusionsprozess wurde dadurch erschwert, dass die erneuten Bemühungen um die Markteinführung der Solarthermie in dieser Phase von der parallel im Stromsektor einsetzenden Förderung

der Photovoltaik (100.000-Dächer-Programm, EEG mit kostendeckender Vergütung und Aussicht auf sichere Renditen) überlagert wurde. Solvente und investitionswillige Gebäudeeigentümer mussten sich aus finanziellen Gründen in der Regel zwischen PV- und Solarthermieanlagen entscheiden – so entwickelte sich eine Konkurrenz sowohl um geeignete Dachflächen als auch um verfügbare Investitionsmittel. PV-Anlagen waren aus Sicht des Hauseigentümers trotz deutlich höherer Investitionskosten wirtschaftlich oft vorteilhafter. Die Konkurrenz um Investitionsmittel verstärkte sich in der Phase ab 1999, weil die erforderlichen Investitionskosten für PV-Anlagen sanken.

Die zunehmende Professionalisierung, das Engagement innovativer Unternehmer und Anlagenbauer sowie das private Engagement der in der Umwelt- und der Anti-AKW-Bewegung verwurzelten Anwender und Eigenheimbesitzer wirkten sich belebend auf die Innovationsentwicklung aus. Die treibenden Motive für die Installation einer Solarthermie-Anlage waren eine Selbstversorgung mit Wärme, eine höhere Unabhängigkeit vom Preisdiktat der Öl- und Gasanbieter sowie die Klima- und Umweltverträglichkeit der solaren Wärmeversorgung.

Die Idee der Kollektor-Selbstbaugruppen der 1970er Jahre wurde ab 1994 zu einem Selbstinstallations-Konzept fortentwickelt. Durch günstige Beschaffung der notwendigen Komponenten (Kollektoren, Pumpen, Wasserspeicher, Leitungen) und die Installation der Anlage in Eigenarbeit sollte der Preissenkungsdruck vor allem auf Handel und Handwerk erhöht werden. Das vom Bund der Energieverbraucher initiierte Projekt „Phönix“ (1994 bis 2002) setzte dieses Konzept um: Über das Projekt wurden der Großeinkauf der Komponenten sowie Beratung für die Eigeninstallateure organisiert. Doch sind die Effekte des Phönix-Projekts umstritten: Zwar konnten die Investitionskosten gesenkt und die installierte Kollektorfläche deutlich vergrößert werden. Doch Fehler bei der Selbstinstallation und daraus resultierende Mängel (Mindererträge, hohe Stromkosten) erschütterten das Vertrauen in die Technologie. Dieser Effekt schmälerte letztlich den Erfolg des Projektes.

Phase 1999 bis 2008: Wachstum in der Nische

In dieser Phase gaben die ab 2000 erhöhten Förderquoten des MAP für Solarthermie-Anlagen maßgebliche Nachfrageimpulse,[320] wenn es auch keinen vollen Ausgleich für die Mehrkosten bot. So wurden immerhin rund 86 % der im Zeitraum von 1999 bis 2008 installierten Kollektorfläche durch das MAP gefördert.

In einigen Bundesländern wurden zudem Förderprogramme aufgelegt, die ebenfalls auf eine verbesserte Diffusion abzielten. Nordrhein-Westfalen förderte die Solarenergie mit dem Programm „Rationelle Energieverwendung und Nutzung unerschöpflicher Energiequellen“ (REN). Hier konnten Fördermittel aus verschiedenen Bereichen (z. B. Wohnungsbau, RENPlus) miteinander kombiniert werden. Niedersachsen förderte Solarthermie-Anlagen im Rahmen der „Solaroffensive“, die von 1999 bis 2003 durchgeführt wurde. Das MAP und Programme in den Ländern hielten den Nischenmarkt am Laufen. In Deutschland hatte die Solarthermie im Jahr 2008 einen Anteil von knapp 5 % an der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien. Ihr Anteil am gesamten Wärmebedarf lag bei 0,3 %.

Wichtigste treibende und hemmende Kräfte

Das Chrom VI-Verbot in elektronischen Geräten trieb die Entwicklung von alternativen Beschichtungen voran, obwohl es nicht für Solarkollektoren galt. Durch den (freiwilligen) Ersatz giftiger, Chrom VI-haltiger durch ungiftige Beschichtungen sicherten die Kollektorhersteller das Image der Umweltverträglichkeit und erreichten zugleich eine Wirkungsgradverbesserung der Kollektoren.

[320] So förderte Niedersachsen im Rahmen der „Solaroffensive“ (1999-2003) Solarthermie-Anlagen mit 3,8 Mio. Euro.

Die ab 2003 europaweit gültigen Normen und Zertifizierungen (Solar Keymark) vereinheitlichten die Effizienzstandards für die Anlagen. Ihre Einführung vereinfachte den grenzüberschreitenden Handel (Exportmarkt) mit Solarkollektoren. Seit 2007 wurde die Erfüllung des „Solar Keymark“ als Förderbedingung im MAP verankert. Die Weiterentwicklung des Produktangebotes in Richtung von Systemlösungen aus einer Hand, die sich aus Kollektor, Heizkessel und Wärmespeicher oder aus Kollektor, Wärmpumpe und Wärmespeicher zusammensetzten, verbesserte die Voraussetzungen für eine hohe Anlageneffizienz und größere Zuverlässigkeit. Überdies trugen steigende Öl- und Gaspreise sowie Solarkampagnen (wie z.B. „Solar - na klar“ der Deutschen Bundesstiftung Umwelt), dazu bei, die Absatzzahlen zu verbessern.

Ab 1999 wurden die technischen Mindestanforderungen des MAP sukzessive verschärft, um Anreize für die technische Weiterentwicklung zu setzen: Bei Kollektoren stieg der geforderte Mindestwärmeertrag von 350 auf 525 kWh/m²a (seit 2004), zusätzlich mussten ab 2004 Wärmemengenzähler eingebaut werden sowie die Anforderungen des Umweltzeichens Blauer Engel erfüllt werden.

Hemmend wirkte es sich hingegen auf die Technikdiffusion aus, dass die von den Anwendern erwarteten Einsparungen in der Praxis oft nicht im erwarteten Maße oder nicht innerhalb der für die Amortisation relevanten Zeiträume erreicht wurden, da die höheren Anlagenkosten nicht schnell genug durch Brennstoffeinsparungen refinanziert wurden.

Hinzu kam, dass die Herstellungskosten für Kollektoren nicht mehr maßgeblich gesenkt werden konnten, Systemlösungen eher teurer waren und Kostensenkungspotenziale im Handel und beim Handwerk nicht an die Kunden weitergegeben wurden. Die hohen Investitionskosten und die fragliche Amortisation hemmten also weiterhin den Diffusionsprozess.

Phase ab 2009: Einbruch und Stagnation

In dieser Phase machte die rasant wachsende Attraktivität der solaren Stromerzeugung (Photovoltaik) der Solarthermie zunehmend Konkurrenz. Im Neubau traten darüber hinaus auch Wärmepumpen (vgl. Kapitel 5) in Konkurrenz zu solarthermischen Anlagen. Die Absatzzahlen stagnierten bzw. sanken. Der durch eine Haushaltssperre verursachte Förderstopp des MAP im Jahr 2010 traf die Branche daher empfindlich, obwohl die Unterbrechung nur von kurzer Dauer war. Die Hersteller versuchten, dem Absatzrückgang durch Systemlösungen zu begegnen. Neben der „klassischen“ Kombination ST-Anlage und Gasbrennwertkessel entwickelten die Hersteller auch reine EE-Kombilösungen (ST-PV-Hybridanlagen sowie Solarthermie-Wärmepumpensysteme).

Solarthermische Kollektoren gelten heute als technisch ausgereift und effizient. Ihr Einbau gehört heute zum „Tagesgeschäft“ zumindest bei den größeren SHK-Betrieben, doch stellt die Abstimmung des Heizsystems zur Gewährleistung eines effizienten Betriebs noch immer eine handwerkliche Herausforderung dar. Die Komplexität der Heizungstechnik und ihre Bewältigung durch das Fachhandwerk stellt so weiterhin ein Diffusionshemmnis im Vergleich zu einfacher regelbaren Techniken dar.

Insgesamt bleibt die Verbreitung der Anlagen auf einem noch immer sehr niedrigen Niveau: 2013 betrug der Solarthermie-Anteil am gesamten Wärmebedarf in Deutschland rund 0,5 Prozent.

Wichtigste treibende und hemmende Kräfte

Für den ab 2010 massiv einbrechenden Absatz gab es – neben der erwähnten Haushaltssperre – mehrere Gründe, die die Konkurrenzfähigkeit der Solarthermie auf dem Markt minderten: hohe Anlagenpreise in Verbindung mit relativ geringen Einsparungen. Hinzu kam die große Investitionskon-

kurrenz durch den massiven Preisverfall bei den PV-Anlagen. Zudem setzten sich im Neubaubereich Wärmepumpen verstärkt als Heiztechnik durch.

Ausblick

Die technische Entwicklung von Solarwärmeanlagen ist weitgehend ausgereift, wesentliche, die Wirtschaftlichkeit entscheidend verbessernde Innovationen sind nicht mehr zu erwarten. Gewisse Optimierungs- bzw. Kostensenkungspotenziale bestehen ggf. noch durch die Verwendung neuartiger Materialien und Produktionsverfahren, sowie bei Montage und Installation. Der Schwerpunkt dürfte zukünftig auf der Kostenoptimierung integrierter Systeme zur Wärmeerzeugung mit Solarthermie liegen. Ein aktives Engagement des Handwerks für die Solarthermietechnik scheint eine zentrale Bedingung für die Dynamisierung der Diffusion zu sein. Auch eine fortgesetzte Standardisierung und Zertifizierung von Komponenten sowie von Ausbildungs- und Schulungsinhalten kann zur verbesserten Wettbewerbsfähigkeit beitragen. Für die Zukunft ist jedoch zu vermuten, dass die Solarthermie zwar einen wichtigen Beitrag zum Klima-, Umwelt- und Ressourcenschutz leisten kann, dass sie jedoch in Deutschland hinter der Diffusion von Holzheizungen und Wärmepumpen zurückbleiben wird.

7.2.3 Wärmepumpe/ Umweltwärme (Geothermie)

Phase 1990 bis 2005: Wiederbelebung unter neuen Vorzeichen

Nachdem bereits in den 1970er Jahren große Hoffnungen in die Wärmepumpentechnik gesetzt wurden und größere deutsche Unternehmen in die Herstellung eingestiegen waren, bereitete die Anwendung der Technologie zur Raumwärmegewinnung jedoch noch technische Probleme. Auch aufgrund hoher Stromkosten und geringer Wirkungsgrade (Jahresarbeitszahlen) ging der Anlagenabsatz in den 1980er Jahren stark zurück.

Unter der einsetzenden Klimaschutzpolitik wendete sich das Blatt: Der Innovationsprozess der Wärmepumpe setzte in den 1990ern an der Verbesserung der Zuverlässigkeit und Effizienz an. Die auf Strom aus Kohle- oder Atomkraftwerken angewiesenen Wärmepumpen wurden jedoch zunächst nicht als Klimaschutztechnologie betrachtet. Aufgrund der Interessenverflechtung mit der Stromwirtschaft wurden sie von der umweltbewussten Klientel abgelehnt. Außerdem belastete der schlechte Ruf aus der Vorphase der Wärmepumpen (Unzuverlässigkeit, geringe Effizienz, unzureichende Wärmebereitstellung und hohe Betriebskosten) das Image der Technik. Diese Hemmnisse erschwerten den Neustart der Wärmepumpentechnik in den 1990er Jahren.

Die wenigen nach der Marktbereinigung verbliebenen Wärmepumpenanbieter gehörten als Hersteller von Elektroheizungen und elektrischen Warmwasserbereitern der Elektrobranche an und konnten auf ihrer „Marktmacht“ und den Erfahrungen der 1980er Jahre aufbauen. Mit Blick auf die in der Schweiz und Schweden erreichten vergleichsweise hohen Marktanteile von Wärmepumpen nahmen sie die Herstellung von Wärmepumpen in den 1990er Jahren wieder auf und optimierten die Technologie. Dabei hatten sie eine einflussreiche Branche hinter sich.

Trotz zunächst ungünstiger Voraussetzungen konnte der jährliche Absatz von Wärmepumpen in dieser Phase von ca. 500 verkauften Anlagen im Jahr 1990 auf über 20.000 im Jahr 2005 gesteigert werden. Ihr Anteil am gesamten Wärmeverbrauch stieg von 0,1 % zu Beginn der Phase (1990) auf 0,2 % am Ende der Phase (2005) (vgl. Kap. 5). Ihr Anteil an der Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energien halbierte sich dennoch in diesem Zeitraum von 5 % auf 2,5 %, da andere Technologien zur EE-Wärmeerzeugung (Holz, Biogas) stärker gewachsen waren.

Wichtigste treibende und hemmende Kräfte

Treibende Akteure für die Diffusion der Wärmepumpentechnik waren in dieser Phase die Hersteller von Elektroheizungen und elektrischen Warmwasserbereitern, die an die Entwicklung der 1970er Jahre anknüpfen konnten. Ein weiterer treibender Faktor waren spezielle Wärmepumpentarife, die Energieversorgungsunternehmen anboten, um ihren Stromabsatz zu fördern. Wegen des Preisvorteils gegenüber Heizöl und dem Wunsch, vom Ölpreis unabhängig zu sein, haben sich daraufhin viele Kunden für eine Wärmepumpeninstallation entschieden. Preisgünstige Wärmepumpentarife sowie die zur der Zeit höhere Preisbeständigkeit der Ressource Strom waren förderliche Einflussfaktoren für die Verbreitung der Technik. Der treibenden Interessenkoalition aus Wärmepumpenherstellern und Stromversorgern standen die Vertreter der Gaswirtschaft und Gaskesselhersteller gegenüber, die sich massiv für den Einbau von hocheffizienten Gaskesseln einsetzten – diese Konkurrenz stellte mithin ein Hemmnis für die Diffusion der Technik dar.

Wärmepumpen wurden ab 1995 bis 2000 über das MAP gefördert. Voraussetzung dafür war, dass die Wärmepumpe eine hohe Effizienz (Jahresarbeitszahl) erreicht. Dadurch sollte sichergestellt werden, dass durch Wärmepumpen rein rechnerisch ein höherer Klimaschutzbetrag als durch den Einbau einer Gasheizung erreicht wird. Ab 1995 musste die Jahresarbeitszahl mindestens 3,2 bei Luft-Wärmepumpen und mindestens 3,5 bei allen anderen WP betragen. Ab 1999 waren es mindestens 3,3 bzw. 3,8. Die Stromabhängigkeit sowie ein in der Praxis hoher Stromverbrauch, verstärkten die Zweifel an der Klimaschutzwirksamkeit der Technik. „Heizen mit Strom“ war klimapolitisch unerwünscht, Wärmepumpen waren daher von 2001 bis 2007 nicht förderfähig. Dies wirkte sich restriktiv auf die Diffusion aus, führte aber nicht zum Abbruch der Entwicklung.

Für das Image der Technologie bereiteten auch die FCKW-haltigen Wärmeübertragungsmedien Probleme, da diese im Störfall eine hohe Treibhauswirkung entfalten und – im Fall von Erdwärmepumpen – das Grundwasser verschmutzen können. Die Nutzung FCKW-freier Übertragungsmedien verteuert die Anlagenkosten und verringert somit die Konkurrenzfähigkeit. Hemmend für die Diffusion von Erdwärmepumpen wirkte es sich aus, dass diese aufgrund der o. g. Risiken eine wasserrechtliche Genehmigung benötigen. Der Genehmigungsaufwand für den Anlagenbetreiber und der Prozess bis zur Entwicklung einer einheitlichen Genehmigungspraxis in den Bundesländern verschlechterten die Marktchancen für Erdwärmepumpen. Luftwärmepumpen unterlagen hingegen keinen weiteren Genehmigungsvorbehalten und hatten dadurch Vorteile.

Phase ab 2006: Durchbruch bei Neubauten

Ab 2006 verstärkten auch die weiter steigenden Öl- und Gaspreise die Nachfrage nach Wärmepumpen deutlich. Bemerkenswert ist, dass die Nachfrage nach Wärmepumpen besonders sensibel auf die Preisentwicklungen bei Öl und Gas reagiert. Grund hierfür ist vermutlich, dass sie die einzige Technik ist, die – verglichen mit Öl- und Gasheizungen – ähnlich geringe Ansprüche an den Betreiber stellt und eine vollständige Unabhängigkeit von Öl und Gas ermöglicht.

Die EU verabschiedete 2009 die Richtlinie zur Förderung der Nutzung von erneuerbaren Energien (RL 2009/28/EG), die die Anerkennung von Wärmepumpen als gleichberechtigte „erneuerbare Energietechnologie“ ermöglichte. Die Förderung war allerdings an bestimmte Kriterien gebunden: Zum einen sollten die Mitgliedstaaten nur Wärmepumpen fördern, die den Anforderungen des EU-Umweltzeichens entsprachen. Zum anderen forderte die Richtlinie, dass bis zum Ende des Jahres 2012 zugelassene Ausbildungsprogramme oder -einrichtungen, Zertifizierungssysteme oder äquivalenter Qualifikationssysteme für Installateure von Wärmepumpen etabliert werden.

Noch vor der Verabschiedung der EU-Richtlinie wurden Wärmepumpen 2008 wieder in die bundespolitische Förderung des MAP aufgenommen. Seit 2009 ist die Förderung an die Erfüllung von hohen Effizienzanforderungen (Jahresarbeitszahl) gekoppelt. In der klimaschutzpolitischen Debatte profitierte das Image der Technik davon, dass Wärmepumpen durch steigende EE-Stromanteile im durchschnittlichen Strommix unweigerlich eine immer bessere CO_2-Bilanz aufweisen und dass sie als Lastmanagementoption bei einem Überangebot aus fluktuierender EE-Stromeinspeisung in Frage kommen.

Die Absatzzahlen für Wärmepumpen stiegen in dieser zweiten Phase auf einen Marktanteil von rund 37 %. Im Jahr 2013 war der Umweltwärmeanteil an der gesamten Wärmebereitstellung mit 0,6 % (6,5 % an der EE-Wärmebereitstellung) bereits höher als der Solarthermie, im Verhältnis zu Holz aber noch immer gering (AGEE-Stat 2013; AGEE-Stat 2014).

Wichtigste treibende und hemmende Kräfte

Zu den wichtigsten, den Diffusionsprozess der Wärmepumpe antreibenden Kräften dieser Phase gehören, wie schon in der Phase davor, steigende Ölpreise, der politische Prozess auf europäischer Ebene, der den Weg für die Anerkennung von Wärmepumpen als gleichberechtigte „erneuerbare Energietechnologie“ ebnete, die Wiederaufnahme in die bundespolitische Förderung (MAP) und das verbesserte Klimaschutzimage der Technik.

Darüber hinaus fand in dieser Phase auf Verbandsebene eine Institutionalisierung und Professionalisierung der Wärmepumpenbranche statt. Neben dem Bundesindustrieverband Haus-, Energie- und Umwelttechnik (BDH) wurde der Bundesverband Wärmepumpe (BWP) als Zusammenschluss der bis dato in den Ländern existierenden Initiativkreise gegründet. Der BWP schloss nicht nur Allianzen mit Industrieverbänden und Energiekonzernen, sondern auch mit Verbänden der EE-Branche (z. B. GtV, BWE). Ein verstärktes Marketing für die Technik (z. B. „Wärme.Pumpe.Aktionswochen“; Engagement der Verbände) unterstützte den Diffusionsprozess ebenso wie das wiedergewonnene Vertrauen in die Funktions- und Leistungsfähigkeit der Technik.

Überdies bestand eine Interessenkoalition zwischen Wärmepumpenbranche und Befürwortern der Gebäudeenergieeffizienz-Strategie (einschließlich Dämmindustrie) hinsichtlich der Verschärfung der Effizienzkriterien (EnEV 2007): Je geringer und gleichmäßiger der Wärmebedarf in Gebäuden ist, desto besser kann der verbleibende Wärmebedarf durch Wärmepumpen gedeckt werden. Dieser Aspekt ist von Bedeutung, da die Zweifel an der bedarfsgerechten Steuerbarkeit und der (weitgehenden bzw. vollständigen) Deckung des Wärmebedarfs bei potenziellen Anwendern nicht vollständig ausgeräumt sind.

Während sich die Marktanteile von Luftwärmepumpen sehr positiv entwickelt haben, gingen die Marktanteile von Erdwärmepumpen zurück. Zwar wurden durch eine Vereinheitlichung der wasserrechtlichen Anforderungen administrative Hemmnisse abgebaut. Jedoch bleiben Erdwärmepumpen aufgrund der aufwendigen Erdarbeiten deutlich teurer als Luftwärmepumpen. Höhere Kosten, im Vergleich zu Luftwärmepumpen geringere Effizienz sowie der Zusatzaufwand für die Genehmigung stellen wesentliche Hemmnisse für die Diffusion von Erdwärmepumpen dar. Im Freien aufgestellte Luftwärmepumpen können aufgrund ihrer Geräuschemissionen (Lüfter) zu Nachbarschaftskonflikten führen.

Nachteilig für die Diffusion sowohl von Erd- als auch von Luftwärmepumpen bleibt die eingeschränkte Vorhersagbarkeit der Effizienz (ausgedrückt in der Jahresarbeitszahl) des Gesamtsystems. Gute Prüfstand-Leistungszahlen (COP-Werte) von Wärmepumpen unter Normbedingungen garantieren nicht, dass diese unter Praxisbedingungen auch erreicht werden. Dieser prinzipielle Nachteil wurde

mit der 2013 in Kraft getretenen Öko-Design-Richtlinie vermindert. Der künftig von den Herstellern zu ermittelnde Saisonale COP (SCOP) berücksichtigt nun auch jahreszeitliche Unterschiede und kommt damit der JAZ näher. Überdies erhöhen die deutlich gestiegenen Strompreise die Kosten des Betriebs von Wärmepumpen. Insofern ist auch hier die Amortisation erhöhter Investitionskosten bzw. die Reduzierung des Preisvorteils ggü. Heizöl unsicherer geworden.

Ausblick

Es ist vorstellbar, dass ein weiterer Strompreisanstieg den Siegeszug der Wärmepumpe im Neubaubereich dämpfen wird. Allerdings hängt dies auch davon ab, wie viel Wärmebedarf dort insgesamt besteht. Bei geringem Wärmebedarf durch gute Wärmedämmung sind Wärmepumpen ggf. auch bei höheren Strompreisen eine geeignete Technik. Zukünftig könnte zudem Überschussstrom aus Photovoltaik-Anlagen in Spitzenzeiten für Wärmepumpen eingesetzt werden. Statt zu konkurrieren könnten sich Photovoltaik und Wärmepumpen auf diese Weise ergänzen. Der Rückgang des Marktanteils von Erdwärmepumpen dürfte sich jedoch aufgrund des abnehmenden Effizienzvorteils gegenüber Luftwärmepumpen, höherer Gesamtkosten und des zusätzlichen Genehmigungsaufwands künftig fortsetzen.

7.2.4 EE-Wärme im Vergleich: Übergreifende und spezifische Charakteristika der Innovationsverläufe

Innovationsverläufe im Vergleich

Ein Vergleich der drei wichtigsten EE-Wärmeerzeugungstechnologien auf Basis von biogenen Festbrennstoffen (Holz), Solarthermie und Umweltwärme zeigt, dass alle Innovationsbiographien in den 1970er Jahren in Folge der ersten Ölkrisen eine erste, zum Teil euphorische Pionierphase („Vorphase“ genannt) durchliefen. Die Entwicklung brach bei Wärmepumpen und Solarthermie aus unterschiedlichen Gründen stark ein (vgl. Kap. 7.2), bevor etwa ab dem Jahr 1990 bei allen drei Technologien eine Phase der Renaissance begann – allerdings auf sehr unterschiedlichem Niveau und mit unterschiedlichen Anknüpfungspunkten.

Die Dekade der 1990er Jahre war durch ein wiedererwachtes Interesse und eine zunehmende Etablierung der EE-Wärmetechnologien gekennzeichnet. Automatisierung und Steuerungstechniken verbesserten den Bedienkomfort, Zuverlässigkeit und Effizienz konnten erheblich gesteigert werden. Vor allem die ab Ende der 1990er Jahre steigenden Öl- und Gaspreise gaben in Verbindung mit erhöhten Zuschüssen aus dem Marktanreizprogramm der Nachfrage nach EE-Wärmeerzeugungstechniken Auftrieb. Insgesamt ist jedoch der Diffusionsprozess der EE-Wärmetechniken bisher eher langsam verlaufen. Wichtigste Gründe hierfür sind die Komplexität des EE-Wärme-Einsatzes, das begrenzte politische Förderregime und machtvolle Interessengruppen, die Hausbesitzern und Mietern Kosten ersparen und die traditionellen Branchen vor wirtschaftlichen Einbußen schützen wollen. Diejenigen Akteursgruppen (z. B. Bundesarchitektenkammer, Immobilien- und Eigentümerverbände, Bundesverband Heizung, Klima, Sanitär), für deren Klientel aus ambitionierten regulativen Vorgaben zur Nutzung von EE-Wärme zusätzliche Kosten entstehen, haben in der Vergangenheit erheblichen Widerstand gegen weitergehende ordnungsrechtliche Nutzungspflichten mobilisiert. Beispielsweise konnte sich die Immobilienwirtschaft im Rahmen der Gesetzgebungsprozesse auf Bundesebene erfolgreich dagegen wehren, dass das EEWärmeG auch auf den Gebäudebestand ausgedehnt und die anfallenden Mehrkosten den Eigentümern angelastet werden. Auch in den meisten Bundesländern konnten sich Gesetzesentwürfe, die hinsichtlich der Nutzungspflicht über das EEWärmeG hinausgehen, bisher nicht durchsetzen. Hinzu kommt, dass der Einsatz erneuerbarer Wärme auch durch

andere Technologien wie zum Beispiel Wärmedämmung substituiert werden kann. Auch diese Alternative begrenzt die Verbreitung der EE-Wärmetechniken.

Welche Unterschiede und Spezifika weisen die drei Innovationsverläufe auf?

Die Innovationsverläufe der drei Technologien ähnelten sich in den 1990er Jahren: Aufgrund des gestiegenen Interesses an der *Wärmeerzeugung mit Holz* Entwickelten die Pioniere unter den Kesselherstellern steuerbare und automatisierte Holzheizkessel mit Komforteigenschaften, die sich an Öl- und Gasheizungen messen lassen sollten. Es gelang, diese Anlagen bis zur Marktreife zu entwickeln. Im Vergleich zu Öl- und Gaskesseln blieben Holzheizkessel jedoch ein Nischenmarkt.

Bei der *Solarthermie* wurden die wesentlichen technischen Entwicklungen zwar bereits in den in den 1970er und 1980er Jahren abgeschlossen, in dieser Zeit blieben die Markterfolge aber bescheiden. Ab Anfang der 1990er Jahre nahmen etablierte Heizungshersteller in Erwartung einer steigenden Nachfrage Solarkollektoren vermehrt in ihr Produktangebot auf und die Diffusion nahm langsam zu. Jedoch lag der Fokus der politischen Aufmerksamkeit in dieser Phase bereits bei der Photovoltaik (Stromerzeugung). Politische Fördermaßnahmen verschoben sich im Verlauf der 1990er Jahre zunehmend von der solaren Wärme- auf die solare Stromerzeugung.

In die *Wärmepumpentechnik* waren bereits in den 1970er Jahren nach den beiden Ölpreiskrisen große Hoffnungen gesetzt worden (zu der Zeit vor allem als Luftwärmepumpen zur Brauchwassererwärmung bei gleichzeitiger Kellerentfeuchtung), jedoch brach der Anlagenabsatz in den 1980er Jahren aufgrund vielfach schlechter Betriebserfahrungen mit der noch unausgereiften Technologie bis 1990 massiv ein. Mit Beginn der 1990er Jahre wendete sich das Blatt. Mit technisch ausgereifteren Wärmepumpen stieg auch aufgrund spezieller günstiger Wärmepumpenstromtarife die Nachfrage kontinuierlich an. Insgesamt blieb der Anteil an der Wärmeerzeugung jedoch – ähnlich wie bei der Solarthermie – auf einem sehr niedrigen Niveau.

Etwa ab der Jahrtausendwende verliefen die Innovationswege jeweils unterschiedlich. Im Fall der mit *Holzbrennstoffen* betriebenen Wärmeanlagen war der Innovationsprozess ab 2000 zunächst durch eine fortschreitende Optimierung und Konsolidierung der Technik sowie eine dynamisierte Marktdiffusion gekennzeichnet. Als das Interesse privater Nutzer an der Brennholznutzung stieg, erwirtschafteten Waldbesitzer und Forstwirtschaft angesichts steigender Holzpreise nach langer Zeit wieder Gewinne mit der „Energieholzbereitstellung“. Ab 2006 trat jedoch Ernüchterung ein und die weitere Entwicklung wurde unbeständiger. Zum einen verschärfte sich die Nutzungskonkurrenz um Rohholz und machte die Potenzialgrenzen sichtbar, deren Überschreitung mit negativen Umwelteffekten für den Wald verbunden war. Zum anderen sorgte auch die Feinstaubproblematik für eine Dämpfung des Enthusiasmus. Stufenweise strengere Feinstaub-Richtlinien haben zwar Optimierungsprozesse befördert, aber auch die Grenzen der umweltverträglichen Holzverbrennung aufgezeigt.

Im Fall der *Solarthermie* hatte der Regierungswechsel zu Rot-Grün (1998) – wie auch bei den anderen beiden Techniken – für einen Nachfrageschub gesorgt: Das Marktanreizprogramm (MAP) und Solarkampagnen führten zunächst zu Absatzsteigerungen und Marktwachstum. Jedoch brach ab 2009 der Absatz deutlich ein und zeigt eine tendenziell fallende Nachfragetendenz. Eine der Ursachen für den Einbruch war die seit 2007 spürbar zunehmende Konkurrenz mit der solaren Stromerzeugung. Standen geeignete Dachflächen zur Verfügung, versprach eine Photovoltaik-Anlage durch die garantierten Verkaufserlöse im EEG eine Rendite, während sich eine Investition in eine Solarthermie-Anlage nur langfristig oder im ungünstigsten Fall gar nicht amortisierte. Ein weiterer Grund für den Einbruch waren der relativ hohe Preis und Installationsaufwand von ST-Anlagen. Zudem wuchs insbesondere

im Neubaubereich die Marktkonkurrenz mit der Wärmepumpentechnologie. In diesem Kontext dürfte auch die Beschränkung der Solarförderung auf den Bestand ein Betrag geleistet haben.

Die *Umweltwärmenutzung mit Luft- und Erdwärmepumpen* hingegen stieg ab 2006 im Neubaubereich sprunghaft an. Dies wurde allerdings weder durch die Stromtarifgestaltung noch durch eine spezifische MAP-Förderung ausgelöst. Bei geringem Gebäudewärmebedarf und verbesserter Effizienz (höhere Jahresarbeitszahl) war die Wärmepumpe angesichts der zu der Zeit deutlichen Öl- und Gaspreissteigerungen eine attraktive Alternative. Insbesondere die Marktanteile der *Luft*wärmepumpe stiegen signifikant.

7.3 Ausblick: Herausforderungen für die politische Steuerung

Die Erhöhung der Anteile erneuerbarer Energien am Wärmebedarf ist eine politisch hoch komplexe Steuerungsaufgabe, zumal die Entscheidung für ein Heizsystem aufgrund der Gebäudeeigenschaften und großen Auswahl verfügbarer Heizanlagentechniken grundsätzlich eine Individuallösung ist. Entsprechend komplex gestaltet sich die Umsetzung einer ausgewogenen Steuerung mit Anreizen und ordnungsrechtlichen Vorgaben.

Lange Zeit setzte die Bundesregierung zur Erhöhung der Anteile erneuerbarer Energien an der Wärmebereitstellung auf die Eigenverantwortung und Investitionskraft der Anwender sowie auf finanzielle Anreize (MAP-Richtlinien). Erst seit 2009 ist mit dem Inkrafttreten des EEWärmeG eine ordnungsrechtliche Komponenten, die anteilige Nutzungspflicht für erneuerbare Energien, hinzugekommen. Diese Verpflichtung erstreckt sich allerdings nur auf den Wohngebäudeneubau. Politik und Verwaltung stehen vor der Entscheidung, die Nutzungspflicht auch auf den privaten Wohngebäudebestand zu erweitern oder aber darauf zu setzen, dass das im EEWärmeG verankerte 14 %-Ziel durch ein Bündel von Anreizsystemen, u. a. zur Auflösung des Sanierungsstaus, erreicht wird.

Investitionsanreize durch weitere Investitionskostensenkungen

Der Preiswettbewerb im Bereich der Installateure und dem Handel mit Installationsbedarf ist vergleichsweise gering. Preissenkungen bei den Herstellern kommen somit nicht direkt am Endkundenmarkt an. Eine maßgebliche Herausforderung für die politische Steuerung liegt darin, nicht nur die Investitionsanreize zu verstärken (z. B. durch erhöhte Zuschüsse oder steuerliche Abschreibungen), sondern auch darauf hinzuwirken, dass sich Konkurrenz unter den Marktakteuren erhöht, um gerade hier mehr Preiswettbewerb zu bekommen. Dafür müsste u. a. die Verzahnung von Gewährleistungspflichten, Herstellergarantien sowie berufsständischen Einschränkungen reformiert werden, damit der Einbau der Anlagen für den Endkunden wirtschaftlich kostengünstiger wird. Davon dürften EE-Heiztechnologien vermutlich mehr profitieren, als konventionelle Heiztechnik.

Investitionsanreize für Vermieter verstärken

Bislang erreichte das Marktanreizprogramm vor allem die selbst nutzenden, modernisierungswilligen Privathaushalte, denen es bei der Entscheidung für eine EE-Wärmetechnologie nicht allein auf Wirtschaftlichkeit ankam. Die Motivationslage von Vermietern ist hingegen eine andere. Die absoluten Kosten der Investition sind viel bedeutender, da diese allein vom Vermieter zu tragen sind und die ggf. geringen Betriebskosten dem Mieter zu Gute kommen. Altruistische Motive spielen damit eine wesentlich geringere Rolle. Um Vermieter verstärkt zum Einbau von EE-Heizungsanlagen zu bewegen sind demnach spezifische Anreize erforderlich, die dem Vermieter über die Verpflichtung hinaus auch einen „Nutzen“ in Aussicht stellen (z. B. steuerliche Sonderabschreibungen).

Sanierungsstau auflösen

Eine Nutzungspflicht im Bestand kann auch zu unerwünschten Effekten führen. Zum einen könnten Hausbesitzer den verbleibenden Zeitraum unmittelbar *vor* Einführung der Nutzungspflicht dazu nutzen, neue Gasheizungen einzubauen, oder nachdem die Nutzungspflicht rechtskräftig geworden ist, die Sanierung so lange wie möglich hinauszuzögern.

Um dies zu vermeiden, sollte sich die Einführung einer Nutzungsverpflichtung nicht allein auf den Einsatz der Technik beziehen, sondern auch Vorgaben zum Zeitpunkt der Gebäudesanierung und den beschleunigten Austausch der Heizungsanlage machen sollte. Eine Verschärfung der Überprüfung von Heizungsanlagen durch Schornsteinfeger könnte ein Hinauszögern fälliger Sanierungen vermeiden.

Stärkung der Innovationsbereitschaft des Sanitär-Heizung-Klima-Handwerks

Neben den Gebäudeeigentümern als Investoren und Entscheidern kommt dem Sanitär-Heizung-Klima-Handwerk (SHK) eine bedeutende Rolle für die Diffusion zu. Die Mehrheit der Hauseigentümer lässt sich bei Investitionsbedarf von Installateuren beraten und folgt deren Empfehlungen. Grundsätzlich gilt das SHK-Handwerk als „technologieoffen. Doch empfehlen Installateure in der Regel die Technik, die sich nach ihren Erfahrungen als zuverlässig und problemlos erwiesen haben. Das Ziel des Installateurs ist ein zufriedener Kunde, der nach dem Einbau keine langwierigen Nachbesserungen und Feinjustierungen benötigt. Können die Installateure solchen Mehraufwand nicht an den Kunden weitergeben, unterbleiben die Justierungen und das Risiko der Kundenunzufriedenheit mit der EE-Anlage steigt. Diesem Problem ist politisch nur schwer beizukommen, allerdings bestehen Gestaltungsoptionen im Bereich der schon erwähnten Verzahnung von Gewährleistungspflichten, Herstellergarantien sowie berufsständischen Einschränkungen.

Heterogene sozio-ökonomische Bedingungen der Technologien beachten

Die Rahmenbedingungen für die Anwendung der erneuerbaren Wärme (Motive, ökonomischer Hintergrund) sind in Stadt und Land sowie für Eigenheimbesitzer und Vermieter unterschiedlich. Zudem kommen für eine nachhaltige Deckung des Wärmebedarfs immer mehrere Wärmeerzeugungstechniken sowie verschiedene Optimierungsmöglichkeiten der Gebäudeenergie- und Anlageneffizienz in Frage. Aufgrund der unterschiedlichen Rahmenbedingungen müssen Förderanreize differenziert gestaltet werden. Eine besondere Herausforderung besteht darin, Regelungen für den Gebäudebestand zu entwickeln, die den verschiedenen sozio-ökonomischen Bedingungen und Perspektiven gerecht werden und die auch in einkommensschwachen Regionen durchsetzbar sind. Notwendig sind differenzierte und auf die jeweilige sozio-ökonomische Situation angepasste Maßnahmen. Der Aufwand, entsprechende Anreize durch Gesetzesänderungen zu schaffen, ist vergleichsweise hoch.

8 Literatur

ACK (21. Amtschefkonferenz am 21./22. April 1998 in Friedrichshafen) (2014). Endgültige Ergebnisniederschrift. Online verfügbar unter https://www.umweltministerkonferenz.de/documents/21ack.pdf, zuletzt geprüft am 18.08.2014.

AEE (Agentur für Erneuerbare Energien) (2012): Intelligente Verknüpfung von Strom- und Wärmemarkt. Die Wärmepumpe als Schlüsseltechnologie für Lastmanagement im Haushalt. In: Renews Special, H. Ausgabe 59. Online verfügbar unter http://www.unendlich-viel-energie.de, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

AEE (Agentur für Erneuerbare Energien) (2013): Reststoffe für Bioenergie nutzen. Potenziale, Mobilisierung und Umweltbilanz. (Renews Spezial, 64). Online verfügbar unter http://www.unendlich-viel-energie.de, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

AEE (Agentur für Erneuerbare Energien) (2014): Holzenergie in Deutschland. Status Quo und Potenziale. Sonderausgabe. (Renews Spezial, Februar 2014). Online verfügbar unter http://www.unendlich-viel-energie.de, zuletzt geprüft am 31.03.2014.

AGEE-Stat (Arbeitsgruppe Erneuerbare Energien-Statistik) (2014): Erneuerbare Energien im Jahr 2013 (Februar 2014). Online verfügbar http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/A/agee-stat-bericht-ee-2013,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf, zuletzt geprüft am 04.06.2014.

AGR (Arbeitsgemeinschaft Rohholzverbraucher) (27.01.2013): Brennholz wird knapp und teuer. Pressemitteilung vom 27.01.2013. Online verfügbar unter http://www.rohholzverbraucher.de/downloads/getfile.php?id=2748, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Albers, Jan & Ziegler, Felix (2014): Editorial. In: International Journal of Refrigeration, H. 39, S. 1–3.

Auer, Falk; Schote, Herbert (2013): Wärme aus der Umwelt auch gut für die Umwelt ? Ergebnisse einer siebenjährigen Praxisuntersuchung. Herausgegeben von Lokale Agende 21 – Gruppe Energie Lahr. Online verfügbar unter http://www.agenda-energie-lahr.de/WP-Schlussbericht_2006-13.html.

Autor unbekannt (1988): Klima und Entwicklung. Der Hamburger Aktionsplan. Weltkongress 7.-10. November 1988. Hamburg.

BAK (Bundesarchitektenkammer) (Hg.) (2007): Stellungnahme der BAK zum Gesetzentwurf zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich EEWärmeG. Unter Mitarbeit von Barbara Chr. Schlesinger. Online verfügbar unter http://www.bakcms.de/site/ItemID=491/mid=836/844/default.aspx, zuletzt geprüft am 13.08.2014.

BASF (22.06.2010): UV-Absorber für langlebige Außenanwendungen. Gegen vorzeitige Alterung. P 305/10. Pressemitteilung vom 22.06.2010. Online verfügbar unter http://www.plasticsportal.net/wa/plasticsEU~de_portal/show/common/plasticsportal_news/2010/10_305, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Baumann, Frank-Michael (2000): Wärmepumpen-Wochen NRW. Vom 11. bis 29. Januar 2000 heizten Wärmepumpen Nordrhein-Westfalen kräftig ein. In: Wärmepumpe Aktuell, Jg. 2, H. 1, S. 3. Online verfügbar unter http://www.izw-online.de/berichte/WP_aktuell.php?file=1&sort=1, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

BauNetz (12.12.1996): Solar City. Berliner Bausenator verweigert Solaranlagenverordnung. Online verfügbar unter http://www.baunetz.de/meldungen/Meldungen_Berliner_Bausenator_verweigert_Solaranlagenverordnung_1863.html, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

BDE (Bund der Energieverbraucher) (2002): Solarprojekt Phönix. Online verfügbar unter http://www.energieverbraucher.de /de/site/Verein/Erfolge/Solarprojekt-Phoenix__219/, zuletzt geprüft am 11.12.2013.

BDE (Bund der Energieverbraucher) (2012): Sonnenwärme für die Zukunft. Online verfügbar unter http://www.energieverbraucher.de/de/Erneuerbare/Sonnenwaerme/Technische-Grundlagen__765, zuletzt geprüft am 11.12.2013.

BDH (Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V.) (2012): Marktentwicklung bei Wärmeerzeugern 2002 bis 2012. Pressegrafik zur 5. Deutschen Wärmekonferenz. Online verfügbar unter http://bdh-koeln.de/uploads/media/Pressegrafik_Marktentwicklung_2002-2012.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Becken, Katja; de Graaf, Daniel; Elsner, Cornelia (2012): Fluorierte Treibhausgase vermeiden. Wege zum Ausstieg. UBA (Umweltbundesamt).

Becker, D. & Leprich, U. (2008): Ist das Wärmegesetz der richtige Weg? Pro & Contra Wärmegesetz. In: Sonne Wind & Wärme, H. 4, S. 8–9.

BEE (Bundesverband Erneuerbare Energie e.V.) (2008): Stellungnahme zum Gesetzentwurf des EEWärmeG. Online verfügbar unter http://www.bee-ev.de/_downloads/publikationen/stellungnahmen/2008/080421_BEE-Stellungnahme_EEWaermegesetz_Bund.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2014.

Bemmann, Albrecht et al. (2012): Dresdner Erklärung: "Mit Bäumen Wald retten – Holz aus Kurzumtriebsplantagen für eine energetische Nutzung". Online verfügbar unter http://www.energieholz-portal.de/files/dresdner_erklaerung.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Berner, Joachim (2011): Die sauberste Pelletsheizung begeistert den Markt. Interview mit Erwin Stubenschrott (KWB). Pelletshome. Online verfügbar unter http://www.pelletshome.com/pellets-news/interview-stubenschrott, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Berner, Joachim (2012): Brennwerttechnik wird zum Standard. Interview mit Andreas Zahrhuber (Marketingleiter Fröling GmbH). Pelletshome. Online verfügbar unter http://www.pelletshome.com/pellets-news/interview-froeling, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

BINE Informationsdienst (1987): Sonnenenergie zur Warmwasserbereitung und Raumheizung. Herausgegeben vom Fachinformationszentrum Energie-Physik-Mathematik GmbH. Karlsruhe: Verl. TÜV Rheinland.

BINE Informationsdienst (1999): Selektive Absorberbeschichtungen in Solarkollektoren. Karlsruhe. (Projektinfo). Online verfügbar unter http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/1999/Projekt-Info_05-1999/projekt_0599internetx.pdf, zuletzt geprüft am 02.04.2014.

BINE Informationsdienst (2000): CO_2 als Kältemittel für Wärmepumpe und Kältemaschine. (Projektinfo, 10/00). Online verfügbar unter http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/2000/Projekt-Info_10-2000/projekt_1000internetx.pdf, zuletzt geprüft am 14.02.2014.

BINE Informationsdienst (2012): Solardächer doppelt nutzen. Hybrid-Kollektoren auf dem Dach liefern Strom und Wärme. (Projektinfo, 10/2012). Online verfügbar unter http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/2012/Projekt_10-2012/ProjektInfo_1012_internetx.pdf, zuletzt aktualisiert am 11.09.2012, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

BINE Informationsdienst (2013): Fassadenkollektoren mit Durchblick. (Projektinfo, 07/2013). Online verfügbar unter http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/2013/Projekt_07-2013/ProjektInfo_0713_internetx.pdf, zuletzt aktualisiert am 27.05.2013, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

BINE Informationsdienst (2014): Energie sparen-bei der Kaelteerzeugung. (basisEnergie, 20). Online verfügbar unter http://www.bine.info/publikationen/basisenergie/publikation/energie-sparen-bei-der-kaelteerzeugung/, zuletzt geprüft am 02.04.2014.

Bloos, Robert (19.03.2013): Interview mit Robert Bloos, Geschäftsführer der Heizomat Gerätebau GmbH, am 19.03.2013.

BLU: Bayerisches Landesamt für Umwelt (2014): Lärmprobleme bei Luftwärmepumpen. Online verfügbar unter http://www.lfu.bayern.de/laerm/luftwaermepumpen/index.htm, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

BLWF: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hg.) (1996): Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung. Beiträge eines Fachgespräches.

BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) (2004): Verstärkte Holznutzung. Zugunsten von Klima, Lebensqualität, Innovationen und Arbeitsplätzen (Charta für Holz). Online verfügbar unter http://www.bmelv.de/SharedDocs/Downloads/Landwirtschaft/Wald-Jagd/ChartaFuerHolz.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

BMFT (Bundesministerium für Forschung und Technik) (1977): Programm Energieforschung und Energietechnologien 1977-1980. Bonn.

BMFT (Bundesministerium für Forschung und Technik) (1990): 3. Programm Energieforschung und Energietechnologien. Bonn.

BMFT (Bundesministerium für Forschung und Technik) (1996): 4. Programm Energieforschung und Energietechnologien. Bonn.

BMFT (Bundesministerium für Forschung und Technologie) (1981): Zweites Programm Energieforschung und Energietechnologien. Bonn.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2005): Nationales Klimaschutzprogramm 2005. Berlin. Online verfügbar unter http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/klimaschutz/downloads/application/pdf/klimaschutzprogramm_2005_lang.pdf, zuletzt geprüft am 13.08.2014.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2010): Anwendungshinweise zum Vollzug des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes. Hier: Nutzung von Wärme aus Müllverbrennungsanlagen. Berlin. Online verfügbar unter https://www.blag-

klina.de/uploads/EE_Waerme_G_Nutzung_von_Waerme_aus_Muellverbrennungsanlagen_9b6.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2012a): Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG-Erfahrungsbericht). Gemäß § 18 EEWärmeG vorzulegen dem Deutschen Bundestag durch die Bundesregierung. Berlin. Online verfügbar unter http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/119/1711957.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2014.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2012b): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Online verfügbar unter http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/broschuere_ee_zahlen_bf.pdf, zuletzt geprüft am 17.01.2013.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2014): Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Stand: Oktober 2014. Online verfügbar unter http://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/erneuerbare-energien-in-zahlen.pdf?__blob=publicationFile&v=5, zuletzt geprüft am 11.01.2015.

BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) (2014a): Solarthermie 2000plus. Online verfügbar unter http://www.solarthermie2000plus.de/, zuletzt geprüft am 03.03.2014.

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit) (2005): Innovation und neue Energietechnologien. 5. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Berlin.

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (1993): Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien.

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (2011): Forschung für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung. Berlin.

BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie) (Hg.) (2011): ZIM-Erfolgsbeispiel: Nachhaltige Biomassewirtschaft. Schnell wachsende Bäume im Netzwerk KUP. Online verfügbar unter http://www.ttz-bremerhaven.de/images/ttzdateien/pdf/publikationen/ZIM_Nemo_KUP-Netzwerk_Erfolgsbeispiel.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Böcher, Michael & Töller, Annette Elisabeth (2012): Umweltpolitik in Deutschland. Eine politikfeldanalytische Einführung. Wiesbaden: Springer VS (Grundwissen Politik Lehrbuch, Band 50).

Bruns, Elke; Futterlieb, Matthias; Ohlhorst, Dörte; Wenzel, Bernd (2012): Netze als Rückgrat der Energiewende. Hemmnisse für die Integration erneuerbarer Energien in Strom-, Gas- und Wärmenetze. Unter Mitarbeit von Frank Sailer und Thorsten Müller. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.

Bruns, Elke; Ohlhorst, Dörte; Wenzel, Bernd; Köppel, Johann (2009): Erneuerbare Energien in Deutschland. Eine Biographie des Innovationsgeschehens. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin.

BSW (Bundesverband Solarwirtschaft e. V.) (2012): Fahrplan Solarwärme. Strategie und Maßnahmen der Solarwärme-Branche für ein beschleunigtes Marktwachstum bis 2030. Kurzfassung. Berlin.

BSW (Bundesverband Solarwirtschaft e. V.) (2012): Fahrplan Solarwärme. Strategie und Maßnahmen der Solarwärme-Branche für ein beschleunigtes Marktwachstum bis 2030. Langfassung Juni 2012. Berlin. Online verfügbar unter http://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/media/pdf/120854_bsw_studie_st.pdf, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Bundesrat (2011): Empfehlungen der Ausschüsse zum Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie 2009/28/EG zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen (Europarechtsanpassungsgesetz Erneuerbare Energien – EAG EE). Drucksache 105/1/11. 881. Sitzung am 18. März 2011. Online verfügbar unter http://www.bundesrat.de/cln_319/nn_1934482/SharedDocs/Drucksachen/2011/0101-200/105-1-11,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/105-1-11.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2014.

Bundesregierung (1999): Richtlinien zur Förderung von Maßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien.

Bundesregierung (2010): Das Energiekonzept – Beschluss des Bundeskabinetts vom 28. September 2010.

BWP (Bundesverband Wärmepumpe) (2012): Leitfaden Schall. Online verfügbar unter http://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bwppublication/2012-08-23_MK_Leitfaden_Schall.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

BWP (Bundesverband Wärmepumpe) (2013): BWP-Branchenstudie 2013. Szenarien und politische Handlungsempfehlungen. Online verfügbar unter http://www.waermepumpe.de/uploads/tx_bwppublication/ 2013-11-20_Branchenprognose_2013.pdf, zuletzt geprüft am 14.02.2014.

CDU/CSU/FDP (1991): Koalitionsvertrag 12. Legislaturperiode. (CDU-Dokumentation 2/1991, 2/1991). Online verfügbar unter http://www.kas.de/wf/doc/kas_27202-544-1-30.pdf?110826092653, zuletzt geprüft am 13.08.2014.

CDU/CSU; SPD (2005): Gemeinsam für Deutschland. Mit Mut und Menschlichkeit. Koalitionsvertrag. Online verfügbar unter http://www.cdu.de/sites/default/files/media/dokumente/05_11_11_Koalitionsvertrag_Langfassung_navigierbar_0.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2014.

Coordes, Gesa (2013): Kommt Solarpflicht doch? In: HNA online, 02.12.2013. Online verfügbar unter http://www.hna.de/nachrichten/hessen/kommt-solarpflicht-doch-795371.html, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Daebeler, Steffen (2012): Grußwort. In: Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (NW-FVA) (Hg.): Züchtung und Ertragsleistung schnellwachsender Baumarten im Kurzumtrieb. Erkenntnisse aus drei Jahren FastWOOD, ProLoc und Weidenzüchtung. Fachtagung vom 21. bis 22.09.2011 in Hann.Münden: Universitätsverlag Göttingen (Beiträge aus der Nordwestdeutschen Forstlichen Versuchsanstalt, 8).

DBU (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) (Hg.) (2013): Innovationen für die Energiewende. DBU-Projekte zu Energieeffizienz und Klimaschutz. Online verfügbar unter http://www.dbu.de/phpTemplates/publikationen/pdf/020413110129a6u4.pdf, zuletzt aktualisiert am 02.04.2013, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Debertshäuser, Erik (13.03.2014): Interview mit Erik Debertshäuser, Geschäftsführer des Fachverband Sanitär Heizung Klempner Klima, Potsdam, am 13.03.2014.

dena (Deutsche Energieagentur GmbH) (2013): Thema Energie: Selektive Absorberbeschichtungen in Solarkollektoren. Online verfügbar unter http://www.thema-energie.de/energie-erzeugen/erneuerbare-energien/solarwaerme/aufbau-bauteile/selektive-absorberbeschichtungen-in-solarkollektoren.html, zuletzt aktualisiert am 11.10.2013, zuletzt geprüft am 11.12.2013.

Deutsche Physikalische Gesellschaft (DPG) (2005): Klimaschutz und Energieversorgung in Deutschland 1990 – 2020. Eine Studie der Deutschen Gesellschaft. Bad Honnef. Online verfügbar unter https://www.dpg-physik.de/dpg/gliederung/ak/ake/studien/energiestudie.pdf, zuletzt geprüft am 02.04.2014.

Deutscher Bundestag (1976): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage betr. energie- und wirtschaftspolitische Zielsetzungen für das Vierjahresprogramm „Energieforschung und -technologie" für die Jahre 1977 bis 1980. BT-Drs. 7/5582. Online verfügbar unter http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/07/055/0705582.pdf, zuletzt geprüft am 13.08.2014.

Deutscher Bundestag (1980a): Bericht der Bundesregierung über die Förderung der Solartechnik in der Bundesrepublik Deutschland. Drucksache 8/3789 vom 13.03.1980.

Deutscher Bundestag (1980b): Bericht der Enquête-Kommission „Zukünftige Kernenergie-Politik“. Drucksache 8/4341.

Deutscher Bundestag (1980c): Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage: Förderung der alternativen Energiefragen. Drucksache 8/4443.

Deutscher Bundestag (2000): Nationales Klimaschutzprogramm 2000. Drs. 14/4729. Berlin. Online verfügbar unter http://dipbt.bundestag.de/doc/btd/14/047/1404729.pdf, zuletzt geprüft am 13.08.2014.

Deutscher Bundestag (2008): Öffentliche Anhörung zum […] Entwurf eines Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich. Protokoll 16/63 vom 23.04.2008. Online verfügbar unter http://www.energiecontracting.de/2-politik-recht/energiepolitik/EEWaermeG/2008-4-23-Protokoll.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2014.

Deutscher Bundestag (2011a): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Ulrich Kelber, Dr. Matthias Miersch, Dirk Becker, weiterer Abgeordneter und der Fraktion der SPD. Zur Umsetzung der umweltpolitischen Ziele der Bundesregierung. Bundestagsdrucksache 17/6819 vom 22.08.2011. Online verfügbar unter http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/068/1706819.pdf, zuletzt geprüft am 13.04.2014.

Deutscher Bundestag (2011b): Zur Umsetzung der umweltpolitischen Ziele der Bundesregierung. Antwort der Bundesregierung auf eine Kleine Anfrage. Bundestagsdrucksache 17/6819 vom 22.08.2011. Online verfügbar unter http://dip21.bundestag.de/dip21/btd/17/068/1706819.pdf, zuletzt geprüft am 13.08.2014.

Die Welt (19.04.2010): Dem Heizungsmarkt droht Zusammenbruch. In: Die Welt, 19.04.2010, S. 10.

Diefenbach, Nikolaus; Cischinsky, Holger; Rodenfeld, Markus; Clausnitzer, Klaus-Dieter (2010): Datenbasis Gebäudebestand. Datenerhebung zur energetischen Qualität und zu den Modernisierungstrends im deutschen Wohngebäudebestand. Institut für Wohnen und Umwelt; Bremer Energie Institut. Online verfügbar unter http://datenbasis.iwu.de/dl/Endbericht_Datenbasis.pdf, zuletzt geprüft am 31.03.2014.

Diekmann, P.; Vogel-Sperl, A.; Hartmann, C.; Langniß, O.; Mayer, J.; Peter, S. (2008): Vergleich der Bundesländer: Anstrengungen zur Nutzung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich. Indikatoren und Ranking. Kurzbericht des DIW Berlin und des ZSW Stuttgart im Auftrag und in Kooperation mit der Agentur für Erneuerbare Energien e.V., Berlin. Herausgegeben von DIW Berlin (Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung). Berlin. Online verfügbar unter http://www.unendlich-viel-energie.de/uploads/media/Waermestudie.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Dienel, Hans-Liudger (Hg.) (2004): Der DKV und die Geschichte der deutschen Kälte- und Klimatechnik. Stuttgart: Gentner.

Dieter, Matthias & Englert, Hermann (2001): Abschätzung des Rohholzpotentials für die energetische Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland. Unter Mitarbeit von Markus Klein. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; Universität Hamburg. (Arbeitsbericht, 11). Online verfügbar unter http://www.bfafh.de/bibl/pdf/iii_01_11.pdf, zuletzt geprüft am 06.02.2013.

Dieter, Matthias & Englert, Hermann (2005): Gegenüberstellung und forstpolitische Diskussion unterschiedlicher Holzeinschlagsschätzungen für die Bundesrepublik Deutschland. Arbeitsbericht des Instituts für Ökonomie 2005 / 2. Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft; Universität Hamburg. Online verfügbar unter http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/bitv/dk040226.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Dieter, Matthias (2005): Kohlenstoffspeicherung in Holzprodukten. Vorschläge zur Anrechnung auf die rationalen Reduktionsverpflichtungen. In: Landbauforschung Völkenrode – Sonderheft, H. 280, S. 45–52.

Döring, Stefan (2011): Pellets als Energieträger. Technologie und Anwendung. Berlin, Heidelberg: Springer.

DSTTP (Deutsche Solarthermie-Technologie Plattform) (2013): Forschungsstrategie Niedertemperatur-Solarthermie 2030 für eine nachhaltige Wärme- und Kälteversorgung Deutschlands. Online verfügbar unter http://www.solarthermietechnologie.de/fileadmin/img/Service/PDF/Studien/DSTTP_strategiepapier_web.pdf, zuletzt geprüft am 21.05.2014.

Ecofys; Fraunhofer ISI (Institut für System- und Innovationsforschung); Energy Economics Group; Lithuanian Energy Institute; Seven (2008): Progress – Promotion and Growth of Renewable Energy Sources and Systems. Final Report. Utrecht. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/energy/renewables/studies/doc/renewables/2008_03_progress.pdf.

EE-News (28.03.2013): Statusworkshop Solare Kühlung. International führende Stellung der deutschen Branche. Pressemitteilung vom 28.03.2013. Online verfügbar unter http://www.ee-news.ch/de/article/26270/statusworkshop-solare-kuehlung-international-fuehrende-stellung-der-deutschen-branche, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

EG-Kommission (1978): Vergleich und Koordinierung nationaler Politiken und Programme auf dem Sektor der Energieforschung und -entwicklung. Luxemburg: Komm. der Europäischen Gemeinschaften (Kat, CD-NW-77-004-DE-C).

Ehringer, H. & Hoyaux, G. (Hg.) (1979): First results of Energy Conservation R&D projects funded by the European Community. Tagung über Wärmepumpen-Forschung, Entwicklung und Anwendung.

Eicker, Ursula (2011): Technologien und Betriebserfahrungen mit solarer Kühlung im Nichtwohnungsbau. Online verfügbar unter http://www.hft-stuttgart.de/Forschung/Kompetenzen/zafh/Publikationen/publikationen_download/2011/Eicker_Kaelte_Luft_Klimatechnik_2011.pdf, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Eicker, Ursula (2012): Renewable Energy Cooling Systems: Technological Developments and Market Perspectives. In: EuroHeat&Power, H. Vol. III, S. 1–11.

Eicker, Ursula; Henning, Hans-Martin; Safarik, Matthias; Waschull, Jörg (2012): Quo Vadis solare Kühlung. In: KI Kälte Luft Klimatechnik, H. Ausgabe 4, S. 26–29.

Energie & Management (2003): Niedersachsen fördert Solarthermie. In: Energie & Management.

Energie & Management (2006a): Europa soll mehr Solarwärme sammeln. In: Energie & Management.

Energie & Management (2006b): Nachfrage größer als erwartet. In: Energie & Management.

Energie & Management (2010): Haushaltssperre für Marktanreizprogramm aufgehoben. In: Energie & Management.

Englisch, Michael (2007): Ökologische Grenzen der Biomassenutzung in Wäldern. In: BFW-Praxisinformation, H. 13, S. 8–10. Online verfügbar unter http://www.waldwissen.net/wald/boden/bfw_grenzen_biomassenutzung/index_DE, zuletzt geprüft am 08.02.2013.

Enquête Kommission (1990): Vorsorge zum Schutz der Erdatmosphäre. Dritter Bericht "Schutz der Erde - eine Bestandsaufnahme mit Vorschlägen zu einer neuen Energiepolitik". Bonn.

Epp, Bärbel; Banse, Stephanie (2013): Das verflixte siebte Jahr. In: Sonne Wind & Wärme, H. 12, S. 52–63.

Erler, Jörn et al. (2012): Einseitig, widersprüchlich und teilweise falsch. Forstwissenschaftler bemängeln Umweltgutachten 2012 des SRU. Online verfügbar unter http://www.anw-bayern.de/images/stories/artikel/forstwissenschaftliche_stellungnahme_umweltgutachten_2012.pdf, zuletzt aktualisiert am 01.12.2012, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Europäische Kommission (1995): Eine Energiepolitik für die Europäische Union. Weißbuch KOM (95) 682. Online verfügbar unter http://europa.eu/documentation/official-docs/white-papers/pdf/energy_white_paper_com_95_682.pdf, zuletzt geprüft am 03.09.2013.

Europäische Kommission (1996): Die Energie in Europa bis zum Jahre 2020. Ein Szenarien-Ansatz. Online verfügbar unter http://bookshop.europa.eu/de/die-energie-in-europa-bis-zum-jahre-2020-ein-szenarien-ansatz-pbCMBR95002/downloads/CM-BR-95-002-DE-C/CMBR95002DEC_001.pdf?FileName=CMBR95002DEC_001.pdf&SKU=CMBR95002DEC_PDF&CatalogueNumber=CM-BR-95-002-DE-C, zuletzt geprüft am 03.09.2013.

Europäische Kommission (1997a): Die energiepolitische Dimension der Klimaänderungen. Mitteilung der Kommission. KOM (97) 196. Online verfügbar unter http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:1997:0196:FIN:DE:PDF, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Europäische Kommission (1997b): Energie für die Zukunft: Erneuerbare Energieträger. Weißbuch für eine Gemeinschaftsstrategie und Aktionsplan. KOM (97) 599. Online verfügbar unter http://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com97_599_de.pdf, zuletzt geprüft am 03.09.2013.

Europäische Kommission (1997c): Gemeinschaftsstrategie zur Förderung der Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) und zum Abbau von Hindernissen, der ihrer Entwicklung im Wege stehen. Mitteilung der Kommission. KOM (97) 514. Online verfügbar unter http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:1997:0514:FIN:DE:PDF, zuletzt geprüft am 06.12.2013.

Europäische Kommission (2000): Hin zu einer europäischen Strategie für Energieversorgungssicherheit. Grünbuch. KOM (2000) 769. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/energy/green-paper-energy-supply/doc/green_paper_energy_supply_de.pdf, zuletzt geprüft am 03.09.2013.

Europäische Kommission (2007): Fahrplan für Erneuerbare Energien. Erneuerbare Energien im 21. Jahrhundert: Größere Nachhaltigkeit in der Zukunft. Mitteilung der Kommission, KOM (2007) 848.

Europäische Kommission (2013): Fortschrittsbericht "Erneuerbare Energien". COM (2013) 175. Online verfügbar unter http://ec.europa.eu/energy/renewables/reports/doc/com_2013_0175_res_en.pdf, zuletzt geprüft am 13.02.2014.

Europäischer Rat (2007): Schlussfolgerungen des Vorsitzes, 7224/1/07. Brüssel. Online verfügbar unter http://register.consilium.europa.eu/doc/srv?l=EN&t=PDF&gc=true&sc=false&f=ST%207224%202007%20REV%201, zuletzt geprüft am 09.04.2014.

Eurostat (2012): Shares 2012 Results. Online verfügbar unter http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/documents/SHARES2012results.xlsx, zuletzt geprüft am 13.08.2014.

faz (14.11.1988) (Frankfurter Allgemeine Zeitung): Es wird wärmer auf der Erde. In: FAZ, 14.11.1988, S. 9.

Fischer, Joachim (2002): Der Holzpelletsmarkt in Deutschland: Stand und Perspektiven auf dem Weg zur Markteinführung eines neuen Holzbrennstoffs. (DEPV Publikationen, Juli 2002). Online verfügbar unter http://www.depv.de/uploads/media/Holzpelletmarkt.pdf, zuletzt geprüft am 17.01.2013.

Flaig, Holger; Leuchtweis, Christian; von Lüneburg, Ernst ; Ortmaier, Erich; Seeger, Christian (1998): Biomasse – nachwachsende Energie: Expert (Kontakt & Studium, 539).

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (2010): Marktübersicht. Hackschnitzel-Heizungen. 3. Aufl. Online verfügbar unter http://www.bio-energie.de/fileadmin/bioenergie-beratung/sachsen-anhalt/dateien/Presse/100721_Hackschnitzelheizungen_2010.pdf, zuletzt geprüft am 06.02.2013.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (2012): Marktübersicht Scheitholzvergaser-/Kombikessel. Gülzow-Prüzen. Online verfügbar unter http://mediathek.fnr.de/media/downloadable/files/samples/m/_/m_scheitholz-2012web_1.pdf.

FNR (Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V.) (Hg.) (2007): Leitfaden Bioenergie. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen. 3. Aufl.

Fraunhofer ISE (Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme) (2013): Energiesystem Deutschland 2050. Sektor- und Energieträgerübergreifende, modellbasierte, ganzheitliche Untersuchung zur langfristigen Reduktion energiebedingter CO_2-Emissionen durch Energieeffizienz und den Einsatz Erneuerbarer Energien. Freiburg.

Online verfügbar unter http://www.ise.fraunhofer.de/de/veroeffentlichungen/veroeffentlichungen-pdf-dateien/studien-und-konzeptpapiere/studie-energiesystem-deutschland-2050.pdf, zuletzt geprüft am 21.05.2014.

Fraunhofer IWM (Institut für Werkstoffmechanik) (2013): ZuMo. Eigenforschungsprojekt "Zuverlässiger alpha-Stirlingmotor". Online verfügbar unter http://www.iwm.fraunhofer.de/kompetenzen/vernetzung/oeffentliche-verbundvorhaben/zumo/, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Frei, U. & Frey, R. (o.J.): Neue Technologien für leistungsfähige und kostengünstige thermische Kollektoren am Beispiel des Absorbers. Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle SPF-ITR. Online verfügbar unter http://www.solarenergy.ch/fileadmin/daten/publ/cisbat.pdf, zuletzt geprüft am 02.04.2014.

Frischenschlager, Helmut (2012): Öko-Innovation und Forschung. Betrachtung des Zeithorizonts anhand von drei ausgewählten Öko-Innovationen. Umweltbundesamt Wien. Wien. (REP-0406). Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0406.pdf, zuletzt geprüft am 22.03.2014.

Fürst, Wolfgang (2011): Tieffrequente Geräusche bei "Luftwärmepumpen". Ein Leitfaden (Auszug Teil III). Herausgegeben von Bayerisches Landesamt für Umwelt. Online verfügbar unter http://www.lfu.bayern.de/laerm/luftwaermepumpen/doc/tieffrequente_geraeusche_teil3_luftwaermepumpen.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

Futterlieb, Matthias (2011): Solarthermische Wärmeerzeugung. Rahmenbedingungen und Förderstrategien im regenerativen Wärmesektor in Deutschland und Spanien. Berlin. FU Berlin, Otto-Suhr-Institut für Politikwissenschaft. Online verfügbar unter http://opus.kobv.de/tuberlin/volltexte/2011/3112/, zuletzt geprüft am 15.07.2014.

GAB (03.03.2007)(General Anzeiger Bonn): Stadt Bonn setzt weiter auf Kraft durch Sonne. In: General Anzeiger Bonn, 03.03.2007.

GAB (06.10.2007) (General Anzeiger Bonn): Fördertopf ist ausgeschöpft. In: General Anzeiger Bonn, 06.10.2007, S. 8.

GAB (09.03.2013)(General Anzeiger Bonn): Unterstützung für die Heizung. In: General Anzeiger Bonn, 09.03.2013, S. 57.

GAB (17.07.2007) (General Anzeiger Bonn): Programm wird genutzt. In: General Anzeiger Bonn, 17.07.2007, S. 8.

GAB (25.06.2006) (General Anzeiger Bonn): Stadt will Solarthermie fördern. In: General Anzeiger Bonn, 25.09.2006.

GAB (27.12.2008) (General Anzeiger Bonn): Keine neue Förderung für Solarthermie. In: General Anzeiger Bonn, 27.12.2008, S. 17.

Geden, Oliver & Fischer, Severin (2014): EU-Gipfel: Konsensformeln verdecken Richtungsstreit in der Energie- und Klimapolitik. Online verfügbar unter http://www.swp-berlin.org/de/publikationen/kurz-gesagt/eu-gipfel-konsensformeln-verdecken-richtungsstreit-in-der-energie-und-klimapolitik.html, zuletzt geprüft am 04.06.2014.

Gorris, Verena (26.11.2013): Mündliches Interview mit Verena Gorris, Bundesverband Wärmepumpe e.V., stellv. Geschäftsführung, am 26.11.2013 in Berlin.

Goy, Georg; Wittke, Franz; Ziesing, Hans-Joachim; Jäger, Fredy; Kunz, Peter; Mannsbart, Wilhelm; Poppke, Helmut (1987): Erneuerbare Energiequellen. Abschätzung des Potentials in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahr 2000. München: Oldenbourg.

Hahn, Jürgen & Wolf, Bettina (2007): Marktentwicklung im Energieholzsektor. In: LWF-aktuell, Jg. 61, S. 10–11.

Hahn, Jürgen (2010): Aktuelle Entwicklungen im Energieholzsektor. Energieträger Holz bleibt der Brennstoff der Zukunft. In: LWF-aktuell, H. 74, S. 13–15. Online verfügbar unter http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-aktuell/74-holzenergie/brennholzpreise-aktuelle-entwicklungen.pdf, zuletzt geprüft am 08.02.2013.

Hahne, Erich (2005): Solarthermie – im Lauf der Zeiten. In: Jannsen, Sigrid (Hg.): Auf dem Weg in die solare Zukunft. Festschrift 30 Jahre DGS. München: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, S. 127–150.

Hartmann, Hans; Nussbaum, Thomas; Hofbauer, Hermann (2009): Handbeschickte Feuerungsanlagen. In: Kaltschmitt, Martin; Hartmann, Hans; Hofbauer, Hermann (Hg.): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Aufl.: Springer, S. 468–491.

Heizungsjournal (2013): Wärmepumpen im Heizungsmarkt fest etabliert. Einschätzungen führender Hersteller über aktuelle Fragen der Branche. In: Heizungsjournal, H. 3, S. 130–139. Online verfügbar unter

http://www.heizungsjournal.de/themenarchiv/HZJ-3-2013-Interview-W%C3%A4rmepumpentechnik.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

Henning, Hans-Martin & Palzer, Andreas (2013): Energiesystem Deutschland 2050. Herausgegeben von Fraunhofer ISE. Freiburg.

Henning, Hans-Martin (2009): Kühlen und Klimatisieren mit Wärme. 1. Aufl. Berlin: Verl. Solarpraxis (BINE-Informationspaket).

Henning, Hans-Martin; Ragwitz, Mario; Bürger, Veit (2012): Erarbeitung einer Integrierten Wärme- und Kältestrategie. Arbeitspaket 2 – Bestandsaufnahme und Strukturierung der Akteure des Wärme- und Kältebereichs. Herausgegeben von BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). Online verfügbar unter http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/Daten_EE/Dokumente__PDFs_/WuK-AP2-Abschlussbericht_BMUFormat_bf.pdf.

Hessisches Ministerium des Inneren (1984): Richtlinien für die Förderung von Modernisierungs-, Energieeinsparungs- und Instandsetzungsmaßnahmen an Wohngebäuden mit Landesmitteln (Modernisierungsmaßnahmen – Land),. In: Staatsanzeiger für das Land Hessen, zuletzt aktualisiert am 1984.

Hilz, Wolfram (02.12.2012): Planungsbüro Solar- und Heizungstechnik. Schriftliche Antwort von Wolfram Hilz, Inhaber, am 02.12.2012.

Hirschl, Bernd (2008): Erneuerbare Energien-Politik. Eine Multi-Level Policy-Analyse mit Fokus auf den deutschen Strommarkt. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.

Holzforschung Austria (2009): Pellet@tlas – Pellet market country report AUSTRIA. Development and promotion of a transparent European Pellets Market. Online verfügbar unter http://www.pelletsatlas.info/pelletsatlas_docs/showdoc.asp?id=090909154850&type=doc&pdf=true, zuletzt geprüft am 17.01.2013.

Hummelsberger (Hummelsberger Schlosserei GmbH) (2013): Pufferspeicher für die Solarthermie. Online verfügbar unter http://www.vakuum-pufferspeicher.de/info.htm, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Icha, Petra (2013): Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix in den Jahren 1990 bis 2012. Herausgegeben von Umweltbundesamt. Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/461/publikationen/climate_change_07_2013_icha_co2emissionen_des_dt_strommixes_webfassung_barrierefrei.pdf, zuletzt geprüft am 17.6.2014.

IEA (International Energy Agency) (2012): World Energy Outlook 2012. Paris.

Industriemagazin (Hg.) (2011): Kesselbau: Feuer und Flamme. Online verfügbar unter http://www.industriemagazin.net/home/artikel/Biomasse/Kesselbau_Feuer_und_Flamme/aid/5712?analytics_from=archiv, zuletzt aktualisiert am 15.02.2011.

Initiative Solarwärme Plus (2005): Auf einen Blick. Online verfügbar unter http://www.schwall-heizung.de/download/solar-factsheet.pdf, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

IWP (Initiativkreis Wärmepumpe) (2000): Die Sonnenheizung. Das harmonische Wärmeprinzip. Online verfügbar unter http://www.gebr-roesch.de/pdf/bauherrn.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

IZW (Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik) (2000a): "Energieexperten" gegen Wärmepumpen. In: Wärmepumpe Aktuell, Jg. 2, H. 4, S. 1f. Online verfügbar unter http://www.izw-online.de/berichte/WP_aktuell.php?file=1&sort=1, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

IZW (Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik) (2000b): Landesinitiative zur Förderung der Wärmepumpe in Baden-Württemberg. In: Wärmepumpe Aktuell, Jg. 2, H. 1, S. 4. Online verfügbar unter http://www.izw-online.de/berichte/WP_aktuell.php?file=1&sort=1, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

IZW (Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik) (2001): Zukunftsenergie Wärmepumpe. In: Wärmepumpe Aktuell, Jg. 3, H. 1, S. 1. Online verfügbar unter http://www.izw-online.de/berichte/WP_aktuell.php?file=2&sort=1, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

IZW (Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik) (2002a): Beteiligung Deutschlands am IEA Heat Pump Programme. In: Wärmepumpe Aktuell, Jg. 4, H. 2, S. 4. Online verfügbar unter http://www.izw-online.de/berichte/WP_aktuell.php?file=3&sort=1, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

IZW (Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik) (2002b): Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWG). In: Wärmepumpe Aktuell, Jg. 4, H. 3, S. 4. Online verfügbar unter http://www.izw-online.de/berichte/WP_aktuell.php?file=3&sort=1.

IZW (Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik) (2002c): Zur Wahl steht die Wärmepumpe. In: Wärmepumpe Aktuell, Jg. 4, H. 1, S. 1. Online verfügbar unter http://www.izw-online.de/berichte/WP_aktuell.php?file=3&sort=1, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

IZW (Informationszentrum Wärmepumpen + Kältetechnik) (2006): Marktanteil von Wärmepumpen soll vervielfacht werden. In: Wärmepumpe Aktuell, Jg. 8, H. 1. Online verfügbar unter http://www.izw-online.de/berichte/WP_aktuell.php?file=5&sort=1, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

Jakob, Uli (2008): Mit Wärme kühlen. In: zeno, H. 2, S. 50–53.

Jakob, Uli (2010): Starke Argumente für die solare Kühlung. In: KI Kälte Luft Klimatechnik, H. 5, S. 12–13. Online verfügbar unter http://www.solem-consulting.de/english/gear/Jakob_KI%20_5_10_S_02.pdf, zuletzt geprüft am 03.06.2014.

Jannsen, Sigrid (Hg.) (2005): Auf dem Weg in die solare Zukunft. Festschrift 30 Jahre DGS. München: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie.

Janzing, Bernward (2004): Der Holzofen aus der Werkstatt eines Flugingenieurs. In: Pellets - Markt und Trends, H. 1, S. 10–12.

Janzing, Bernward (2009): Rumoren in der Tiefe. In: neue energie, H. 1, S. 41–43.

Janzing, Bernward (2011): Wärmepumpen werden teuer. EnBW hebt Strompreis. In: TAZ, 22.07.2011. Online verfügbar unter http://www.ews-schoenau.de/fileadmin/content/documents/runterladen/Waermepumpen/taz_2011-07-22_Waermepumpen_werden_teuer.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

Jochem, Eberhard (1988): Technikfolgen-Abschätzung am Beispiel der Solarenergienutzung. Hrsg. vom Fraunhofer ISI. Frankfurt am Main, New York: Peter Lang.

Kaltschmitt, Martin; Hartmann, Hans; Hofbauer, Hermann (Hg.) (2009): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Aufl.: Springer.

KEA (Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH) (2013): Konzeption und technische Abwicklung des Förderprogramms „Klimaschutz-Plus“ (aktiv). Online verfügbar unter http://www.kea-bw.de/fileadmin/user_upload/pdf/referenzen/Foerderprogramme_KlimaschutzPlus_120130_frei.pdf, zuletzt geprüft am 13.08.2014.

KEA (Klimaschutz- und Energieagentur Baden-Württemberg GmbH) (2014): CO_2-Emissionsfaktoren. Online verfügbar unter http://www.kea-bw.de/service/emissionsfaktoren/, zuletzt geprüft am 17.02.2014.

Kelm, Tobias; Drück, Harald; Langniß, Ole (2008): Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien (Marktanreizprogramm) im Zeitraum Januar 2007 bis Dezember 2008. Kurzbericht für den Zeitraum Januar bis Dezember 2007. Forschungsvorhaben im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Stuttgart. Online verfügbar unter http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/ee-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/evaluation_map__2007.pdf, zuletzt geprüft am 02.04.2014.

Khammas, Achmed (2012): Die Geschichte der Solarenergie. Das Buch der Synergie - Teil C. Online verfügbar unter http://www.buch-der-synergie.de/c_neu_html/c_04_02_sonne_geschichte_2.htm, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Kirn, H. (1978): Nutzung der Wärme aus der Umwelt durch Wärmepumpen. In: et - Energiewirtschaftliche Tagesfragen, H. 9-10, S. 581–585.

Köbbemann-Rengers, Rolf (2007): Schichten auf Strahlenfang. Bei der Beschichtung von Solarkollektoren kommen zwei Verfahren zum Einsatz. In: IKZ-Haustechnik, H. 4, S. 42–47. Online verfügbar unter http://www.ikz.de/uploads/media/IKZH_200704_782_Heizungstechnik.pdf, zuletzt geprüft am 11.12.2013.

Kohnke, Hans-Jürgen (11.11.2013): Interview mit Hans-Jürgen Kohnke, ehemals Leiter Entwicklung bei Stiebel Eltron, am 11.11.2013 in Stadtoldendorf.

König, Holger; Henning, Hans-Martin; Kalz, Doreen (2012): Wege einer effizienten Kältetechnik und solare Kühlung. FVEE (Forschungs Verbund Erneuerbare Energien).

Köpke, Ralf (2001): Wärmepumpe bleibt umstritten. In: Energie & Management, H. 20.03.2001.

Langer, Edmund (20.10.2013): Interview mit Edmund Langer, Geschäftsführer bei C.A.R.M.E.N. e.V., am 20.10.2013 in Straubing.

Langniß, Ole & Ziesing, Hans-Joachim (2005): 30 Jahre Politik zur Förderung erneuerbarer Energien. In: Jannsen, Sigrid (Hg.): Auf dem Weg in die solare Zukunft. Festschrift 30 Jahre DGS. München: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, S. 209–221.

Langniß, Ole (2010): Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011. Evaluierung des Förderjahres 2009. Zwischenbericht vom Dezember 2010. Stuttgart. Online verfügbar unter http://www.fichtner.de/pdf/MAP-Evaluationsbericht_2009.pdf, zuletzt geprüft am 22.08.2011.

Langniß, Ole; Kohberg, Tjark; Wülbeck, Hans-Friedrich; Nast, Michael; Pehnt, Martin; Frick, Stefanie et al. (2011): Evaluierung des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien: Ergebnisse der Förderung für das Jahr 2010. Auszug aus dem Gutachten „Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011“. Online verfügbar unter http://elib.dlr.de/78520/1/Evaluation_MAP_2010.pdf, zuletzt geprüft am 11.12.2013.

Langniß, Ole; Kohberg, Tjark; Wülbeck, Hans-Friedrich; Nast, Michael; Pehnt, Martin; Korenke, Ruben et al. (2012): Evaluierung des Marktanreizprogramms für erneuerbare Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011. Evaluierung des Förderjahres 2011. Online verfügbar unter www.fichtner.de/fileadmin/pdf/MAP-Evaluierungsbericht_2011.PDF, zuletzt geprüft am 06.05.2014.

Langniß, Ole; Schüller, Markus; Wülbeck, Hans-Friedrich; Nast, Michael; Pehnt, Martin; Frick, Stefanie et al. (2010): Evaluierung von Einzelmaßnahmen zur Nutzung erneuerbarer Energien im Wärmemarkt (Marktanreizprogramm) für den Zeitraum 2009 bis 2011. Evaluierung des Förderjahres 2009. Zwischenbericht.

LAWA (2002): Anforderungen an Erdwärmepumpen. Gemeinsamer Unterausschuss „Erdwärmepumpen" der ständigen Ausschüsse „A" und „G" der LAWA. Annahme auf 119. Sitzung der LAWA VV am 16./17.9.2002.

Lazzarin, Renato (2014): Solar cooling: PV or thermal? A thermodynamic and economical analysis. In: International Journal of Refrigeration, Jg. 2014, H. 39, S. 38-47.

Liebhard, Peter (2010): Energieholz im Kurzumtrieb. Rohstoff der Zukunft. 2. Aufl. Graz: Stocker.

Lopper Kesselbau: Der neue Timber. Online verfügbar unter http://www.lopper.ch/index.php/de/produkte/der-neue-timber, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Lorinser, Bruno (17.03.2014): Interview mit Bruno Lorinser, Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, Baden-Württemberg., am 17.03.2014.

Lucas, Louis (1998): A word from the Director. In: International Journal of Refrigeration, Jg. Volume 21, H. Issue 2, S. 87–88.

Mandl, Christoph & Obernberger, Ingwald (08.03.2012): Studie zum Stand der Technik von Partikelabscheidern für häusliche Biomassefeuerungen. Vorstellung der IEA-Studie im Rahmen des Dritten Fachgesprächs „Partikelabscheider in häuslichen Feuerungen“. Veranstaltung vom 08.03.2012. Leipzig. Online verfügbar unter http://www.waermeausholz.de/fileadmin/user_upload/Download/VortraegeAFG/2_IEA-Mandl.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Mangold, Dirk & Peuser, Felix A. (2003): 10 Jahre Solarthermie-2000. 13. Symposium Thermische Solarenergie im Kloster Banz, Staffelstein, vom 14-16.05.2003. Online verfügbar unter http://www.solites.de/download/literatur/03-02.pdf, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Mangold, Dirk (2006): Erfahrungen und Ergebnisse aus der Umsetzung der Bundesforschungsprogramme Solarthermie-2000 und Solarthermie2000plus. Solites - Steinbeis Forschungsinstitut für solare und zukunftsfähige thermische Energiesysteme. Online verfügbar unter http://www.solites.de/download/literatur/06-Mangold-Target.pdf, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Mantau, Udo (2012): Energieholzverwendung in privaten Haushalten 2010. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Abschlussbericht. Hamburg.

Marks, Holger (2001): Solarenergie im Wohnungsbau. Marburg: Tectum-Verlag.

Mautz, R.; Byzio, A. (2005): Die soziale Dynamik der regenerativen Energien – am Beispiel der Fotovoltaik, der Biogasverstromung und der Windenergie. DFG-Projekt RO 465/8-1: Soziale Dynamik der Energiewende. Zwischenbericht. Herausgegeben von SOFI (Soziologisches Forschungsinstitut) Göttingen. Göttingen. Online verfügbar unter http://www.sofi-goettingen.de/index.php?id=574, zuletzt geprüft am 02.04.2014.

Meiwes, Karl Josef; Asche, Norbert; Block, Joachim; Kallweit, Reinhard; Kölling, Christian; Raben, Gerhard; von Wilpert, Klaus (2008): Potenziale und Restriktionen der Biomassenutzung im Wald. In: AFZ - Der Wald, H. 10-11, S. 598–603. Online verfügbar unter http://www.wald-rlp.de/fileadmin/website/fawfseiten/fawf/downloads/Projekte/naehrstoffentzug_Potenziale.pdf, zuletzt geprüft am 08.04.2014.

Mener, Gerhard (2001): Zwischen Labor und Markt. Geschichte der Sonnenenergienutzung in Deutschland und den USA 1860-1986. Dissertation an der Universität München. Baldham: LK-Verlag.

Meng, W.; Glatzel, W.-D.; Weil, W. (1992): Die Wärmenutzungs-Verordnung als Instrument zur CO_2-Minderung. In: Energieanwendung + Energietechnik, Jg. 41, S. 369–373.

Miara, Marek; Günther, Danny; Kramer, Thomas; Oltersdorf, Thore (2011): Wärmepumpen Effizienz. Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb - Kurzfassung. Fraunhofer ISE. Freiburg. Online verfügbar unter http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de/download/wp_effizienz_endbericht_kurzfassung.pdf.

microsol Solarsysteme (2012): microsol - Innovative Solartechnik. Online verfügbar unter http://www.sydneysolar.de/produkte/kollektor/index.htm, zuletzt aktualisiert am 09.01.2012, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

MKULNV (Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (2014): Richtlinie über die Gewährung von Zuwendungen aus dem „Programm für Rationelle Energieverwendung, Regenerative Energien und Energiesparen“ (progres.nrw) – Programmbereich Markteinführung. RdErl. des Ministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein Westfalens-VII - 4 - 43.00 vom 13.01.2014.

MUKE (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg) (2011): Erfahrungsbericht zum Erneuerbare-Wärmegesetz Baden-Württemberg. Stuttgart. Online verfügbar unter http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/85287/, zuletzt geprüft am 26.10.2011.

MWV (Mineralölwirtschaftsverband) (2008): Stellungnahme zum Kabinettsbeschluss vom 05.12.2007 für ein Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG). Stand: 10.04.2008.

Neubert, Florian P.; Boll, Thiemen; Zimmermann, Klaus; Bergfeld, Annedore (22.02.2013): Constraints on & recommendations for the expansion of SRC plantations in Germany. Results of an online survey of practitioners. Vortrag im Rahmen der Agrarholztagung Berlin 2013. Veranstaltung vom 22.02.2013. Online verfügbar unter http://veranstaltungen.fnr.de/fileadmin/veranstaltungen/Agrarholz2013/Neubert_TU_Dresden_Agrarholz_2013.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Niedersächsischer Landtag (2000): Unterrichtung - Förderung der Solarenergie. Beschluss des Landtags vom 11.11.1999. Drs. 14/2024.

Niedersächsischer Landtag (2005): Antwort auf eine Große Anfrage. Drs. 15/2150.

Nussbaum, Thomas; Hartmann, Hans (2009): Direkte thermo-chemische Umwandlung (Verbrennung) – Anforderung und Besonderheiten. In: Kaltschmitt, Martin; Hartmann, Hans; Hofbauer, Hermann (Hg.): Energie aus Biomasse. Grundlagen, Techniken und Verfahren. 2. Aufl.: Springer, S. 463–476.

Oberzig, Klaus (2012): Roadmap Solarthermie. Der Fahrplan für die Solarwärme: Zielführend oder die Road To Nowhere. In: Sonnenenergie, H. 3. Online verfügbar unter www.sonnenenergie.de/index.php?id=30&no_cache=1&tx_ttnews[tt_news]=202, zuletzt geprüft am 18.08.2014.

Ochsner, Karl (23.12.2012): Interview mit Karl Ochsner, Geschäftsführer der Ochsner Wärmepumpen GmbH, Österreich: am 23.12.2012.

ÖkoFEN (2012): Pressetexte. Online verfügbar unter http://www.pelletsheizung.de/de/news/pressetexte/action.view/entity.detail/key.772.html#1, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

ÖkoFEN (2013): Meilensteine in der Entwicklung der stromproduzierenden Pelletsheizung. Online verfügbar unter http://www.okofen-e.com/de/meilensteine/, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Öko-Institut; Hochschule für Forstwirtschaft Rottenburg; Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz (2012): Umsetzung der Biodiversitätsziele bei der nachhaltigen Bioenergienutzung (Kurztitel: BfN-Biodiv-Ziele). Abschlussbericht. Darmstadt, Freiburg, Rottenburg, Singen. Online verfügbar unter http://www.hs-rottenburg.net/fileadmin/data/Hochschule/Forschung_Projekte/IAF/Forschungsprojekte/2012/Biodiv/Abschlussbericht_Biodiv-Ziele_13.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Osteroth, Bernd (1992): Biomasse. Rückkehr zum ökologischen Gleichgewicht. Berlin: Springer.

Paradigma (Paradigma Deutschland GmbH) (2013): Energiebedarf Frostschutz AquaSystem. Online verfügbar unter http://www.paradigma.de/lexikon/frostschutzaqua2/, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Pecka, Michael (2005): Mehr Geothermie im Südwesten. In: Energie & Management, H. 09.03.2005.

Pecka, Michael (2009): Geballte Erdwärme-Forschung in Bochum. In: Energie & Management, H. 25.03.2009.

Pecka, Michael (2013): Optimismus im Pelletmarkt. In: Energie & Management, H. 6, S. 9.

Phoenix Solar (2013): Unsere Firmengeschichte. Online verfügbar unter http://www.phoenixsolar-group.com/de/unternehmen/firmengeschichte.html, zuletzt aktualisiert am 10.12.2013, zuletzt geprüft am 11.12.2013.

PHÖNIX SonnenWärme AG (online): PHÖNIX - eine Marke, die Geschichte schreibt. Online verfügbar unter http://www.sonnenwaermeag.de/index.php/ueber-uns/firmengeschichte, zuletzt geprüft am 11.12.2013.

Platt, Michael; Exner, Stephan; Bracke, Rolf (2010): Analyse des deutschen Wärmepumpenmarktes. Bestandsaufnahme und Trends. GeothermieZentrum Bochum. Online verfügbar unter http://www.geothermie-

zentrum.de/fileadmin/media/geothermiezentrum/Projekte/WP-Studie/Abschlussbericht_WP-Marktstudie_Mar2010.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

Poetter, Bernhard (1995): Sonnenuntergang am Senatstisch. In: taz, 17.10.1995.

Priebe, Hermann (1982): Leben in der Stadt oder auf dem Land. Mehr Lebensqualität durch sinnvolle Raumgestaltung. Düsseldorf: Econ.

Prognos (2006): Zukunft Handwerk! Der Beitrag des Handwerks im Innovationsprozess. Studie. Unter Mitarbeit von Michael Astor, Matthias Bucksteeg, Iris Pfeiffer. Online verfügbar unter http://www.hwk-dresden.de/Portals/0/pdfs/beratung/2007_prognos-studie.pdf, zuletzt geprüft am 22.05.2014.

Quaschning, Volker (2006): Renaissance der Wärmepumpe. In: Sonne Wind & Wärme, H. 9, S. 28–31. Online verfügbar unter http://www.volker-quaschning.de/artikel/waermepumpe/index.php, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

Ragwitz, Mario; Resch, Gustav; Busch, Sebastian; Rudolf, Florian; Rosende, Daniel; Held, Anne; Schubert, Gerda (2011): Assessment of National Renewable Energy Action Plans. REPAP 2020. Online verfügbar unter http://www.repap2020.eu/fileadmin/user_upload/Roadmaps/Assessment_of_NREAPs__REPAP_report_-_interim_status_.pdf, zuletzt geprüft am 31.03.2014.

Reiter, Christoph; Trinkl, Christoph; Zörner, Wilfried (2011): Solarthermie2000plus. Kunststoffe in solarthermischen Kollektoren - Anforderungsdefinition, Konzeptentwicklung und Machbarkeitsbewertung. Abschlussbericht. Online verfügbar unter http://www.thi.de/fileadmin/daten/forschung/Kompetenzfeld/Erneuerbare_Energien/2011-05_Abschlussbericht_komp.pdf, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Remmers, Karl-Heinz (2000): Der Motor des Sonnenkollektors. Solarabsorber und Absorberbeschichtungen. In: sbz, H. 19, S. 94–102. Online verfügbar unter http://www.sbz-online.de/gentner.dll/Der-Motor-des-Sonnenkollektors_MTQ4Njc2.PDF, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

RHC-Platform (2012): Strategic Research Priorities for Biomass Technology. Brüssel. Online verfügbar unter http://www.rhc-platform.org/fileadmin/Publications/Biomass_SRA.pdf, zuletzt geprüft am 06.02.2013.

Riesenhuber, Heinz (1987): Fossile Energieträger bleiben Grundlage der Energieversorgung. Eine Stellungnahme des Bundesforschungsministers. In: Sonnenenergie, Jg. 1987, H. 2. Online verfügbar unter http://www.dgs.de/fileadmin/sonnenenergie/SE-1987-2/02-Fossile-Energietraeger-bleiben-Grundlage-der_Energieversorgung.PDF.

Schaber-Schoor, Gerhard (2009): Produktion von Waldenergieholz und Nachhaltigkeit von Totholz unter Berücksichtigung der Biodiversität. In: FORST und HOLZ, H. 2, S. 14–17.

Schadauer, Klemens (2012): Hilft die Holznutzung dem Klima? In: BFW-Praxisinformation, Jg. Online-Ausgabe, H. 28, S. 3–4. Online verfügbar unter http://www.waldwissen.net/wald/klima/wandel_co2/bfw_hilft_holznutzung/index_DE, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Schaefer, H.; Bressler, G. (1994): Energetische Bewertung der Wärmenutzungsverordnung. In: et - Energiewirtschaftliche Tagesfragen, Jg. 44, S. 347–353.

Schallenberg, Gerhard (15.01.2015): Interview mit Gerhard Schallenberg, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle, Unterabteilungsleiter Erneuerbare Energien, MAP, Wärmepumpen, Kältetechnik, Mini-KWK, am 15.01.2015.

Schirmer, Ulrich (2002): Ergebnisse und Zielsetzung. TU Chemnitz. Online verfügbar unter http://www.solarthermie2000plus.de/, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Schmidtchen, M. & Kahl, W. (2013): Kommunaler Klimaschutz durch Erneuerbare Energien: Mohr Siebeck (Recht der Nachhaltigen Entwicklung, 11).

Schöler, Frank (2002): Markt für Wärmepumpen in Deutschland und NRW – Strukturen und Entwicklungsmöglichkeiten. Abschlussbericht der Marktstudie Wärmepumpe. Frey, Schöler & Scheuber Managementberatung. Online verfügbar unter http://www.geothermie-zent-rum.de/fileadmin/media/geothermiezentrum/Downloads/Literatur_Waermepumpen/Marktstudie_Waermepumpen_in_Deutschland.pdf, zuletzt geprüft am 31.03.2014.

Schuberth, Jens (2007): Elektrische Wärmepumpen – eine erneuerbare Energie? Warum werden Wärmepumpen im Marktanreizprogramm für erneuerbare Energien nicht berücksichtigt? UBA (Umweltbundesamt).

Seidler, Dieter (31.01.2014): Interview mit Dieter Seidler. Am 31.01.2014.

Siegert, Günther (11.08.2011): Empfehlungen der LAWA für wasserwirtschaftliche Anforderungen an Erdwärmesonden und Erdwärmekollektoren. Veranstaltung vom 11.08.2011, aus der Reihe "HLUG - Fachgespräch

Erdwärmesonden. Wiesbaden. Online verfügbar unter http://www.hlug.de/fileadmin/dokumente/geologie/erdwaerme/fachgespraech/2011/Fachgespraech_Erdwaerme_2011_Siegert.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

Sinner, Hans-Ulrich (1996): Aufgaben und Ziele des Projektes "Anbauversuche mit schnellwachsenden Baumarten im Kurzumtrieb". In: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hg.): Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung. Beiträge eines Fachgespräches .

Solarserver (2006): Prof. Holger Rogall erhält Deutschen Solarpreis für Berliner Solar-Verordnung. Online verfügbar unter http://www.solarserver.de/news/news-6112.html, zuletzt aktualisiert am 20.07.2010, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Solarserver (2010): Lexikon: Selektive Beschichtung (Absorber). Online verfügbar unter http://www.solarserver.de/wissen/lexikon/s/selektive-beschichtung-absorber.html, zuletzt aktualisiert am 01.07.2011, zuletzt geprüft am 11.12.2013.

SRU (Sachverständigenrat für Umweltfragen) (2012): Umweltgutachten 2012. Verantwortung in einer begrenzten Welt. Kurzfassung für Entscheidungsträger. Online verfügbar unter http://www.umweltrat.de/SharedDocs/Downloads/DE/01_Umweltgutachten/2012_Umweltgutachten_2012_KFE.pdf?__blob=publicationFile, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

S-Solar (2009): Sunstrip absorber strips for collectors. Online verfügbar unter http://en.ssolar.com/ProductApplicationAreas/SunstripStripsforcollectors/tabid/307/Default.aspx, zuletzt aktualisiert am 02.12.2013, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Stahl, Silke (26.06.2013): Interview mit Silke Stahl, Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referentin im Referat „Solarenergie, Biomasse, Geothermie“, am 26.06.2013.

Staiß, Frithjof (2000): Jahrbuch erneuerbare Energien 2000. Radebeul: Bieberstein.

Staiß, Frithjof (2003): Jahrbuch erneuerbare Energien 2002/2003. Radebeul: Bieberstein.

Statistisches Bundesamt (2013): Baugenehmigungen / Baufertigstellungen von Wohn- und Nichtwohngebäuden (Neubau) nach Art der Beheizung und Art der verwendeten Heizenergie, Fachserie 5 Reihe 1. Erschienen am 17. September 2013. (Lange Reihen ab 1980).

Steinmann, Walter (19.06.2009): Energieforschung und Unternehmen – dank Zusammenspiel zum Erfolg. Vortrag im Rahmen des energie-cluster.ch - Fachtag Energie. Veranstaltung vom 19.06.2009. Bern. Online verfügbar unter http://www.energie-cluster.ch/fachtag-energie/referate/p3_waltersteinmann.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

Stiftung Warentest (2009): Sonne statt Öl und Gas., H. 3, S. 59–65.

Stiftung Warentest (Hg.) (1984): Energiesparen, Solaranlagen, Wärmepumpen, 1.

StMWV: Bayerisches Staatsministerium für Wirtschaft und Verkehr (1991): Impulse für regenerative Energien in Bayern. (Tagungsberichte, 9).

strom-magazin.de (2003): Bundesverband Solarindustrie setzt sich für eine nachhaltige Solarwirtschaft ein. Online verfügbar unter http://www.strom-magazin.de/strommarkt/bundesverband-solarindustrie-setzt-sich-fuer-eine-nachhaltige-solarwirtschaft-ein_9253.html, zuletzt geprüft am 11.12.2013.

Stryi-Hipp, Gerhard (2005): Die Entwicklung des Solarthermie-Marktes in Deutschland. In: Jannsen, Sigrid (Hg.): Auf dem Weg in die solare Zukunft. Festschrift 30 Jahre DGS. München: Deutsche Gesellschaft für Sonnenenergie, S. 171–208.

Stryi-Hipp, Gerhard (21.11.2013): Interview mit Gerhard Stryi-Hipp, Fraunhofer ISE, Leiter Energiewirtschaft, am 21.11.2013.

Stubenschrott, Erwin (22.12.2012): KWB GmbH, Österreich. Mündliches Interview mit Erwin Stubenschrott, Geschäftsführer am 22.12.2012.

Suck, André (2008): Erneuerbare Energien und Wettbewerb in der Elektrizitätswirtschaft. Wiesbaden: Springer VS.

Taafel, Klaus (06.02.2013): Paradigma Deutschland GmbH. Mündliches Interview mit Klaus Taafel, Geschäftsführer, am 06.02.2013.

taz (1988): Laues Klima-Manifest. In: TAZ, 11.11.1988.

taz (2003): Solarboom boomt nicht mehr. In: TAZ, 04.01.2003, S. 8.

TFZ Bayern (Technologie- und Förderzentrum) (2014): Entwicklung der Brennstoffpreise 2001 bis 2014. TFZ-Merkblatt 14EBr002. Online verfügbar unter http://www.tfz.bayern.de/mam/cms08/festbrennstoffe/dateien/entwicklung-der-brennstoffpreise-2001-bis-2014.pdf, zuletzt aktualisiert am Januar 2014, zuletzt geprüft am 18.08.2014.

TGA Fachplaner (2007): Immobilienwirtschaft gegen EE-Nutzungspflicht. Online verfügbar unter http://www.tga-fachplaner.de/Newsarchiv/2007/11/Immobilienwirtschaft-gegen-EE-Nutzungspflicht,QUlEPTE3NjkyNyZNSUQ9MTA4MDM0.html, zuletzt geprüft am 13.08.2014.

TU Berlin Pressestelle (12.08.2013): Kleiner, leichter, flinker. Wissenschaftler entwickeln optimierte Absorptionskälteanlagen. Medieninformation 167/2013. Pressemitteilung vom 12.08.2013. Online verfügbar unter http://www.tu-berlin.de/?137325, zuletzt geprüft am 02.12.2013.

Turrent, David (1987): Thermische Solarenergie in Europa. Eine Evaluierungsstudie. Köln: Verlag TÜV Rheinland GmbH.

UBA (Umweltbundesamt) (2006): Die Nebenwirkungen der Behaglichkeit: Feinstaub aus Kamin und Holzofen. Hintergrundpapier.

UBA (Umweltbundesamt) (2013): Feinstaubbelastung in Deutschland. Online verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3565.pdf, zuletzt aktualisiert am 06.05.2013, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

UM (Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg) (2013): Heizen und Wärmenetze mit regenerativen Energien. Online verfügbar unter http://www.um.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/45560/, zuletzt geprüft am 03.09.2013.

UM (Umweltministerium Baden-Württemberg) (2005): Leitfaden zur Nutzung von Erdwärme mit Erdwärmesonden. 4. Aufl. Stuttgart. Online verfügbar unter http://www.lgrb.uni-freiburg.de/lgrb/download_pool/Leitfaden_-_Nutzung_von_Erdwaerme.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2014.

UN General Assembly (1987): Report of the World Commission on Environment and Development. "Our Common Future".

Urbanek, Axel (1976): Die erste Sonnenenergietagung. In: Sonnenenergie, Jg. 1, H. 2, S. 14–15. Online verfügbar unter http://www.dgs.de/fileadmin/sonnenenergie/SE-2-1976-ganz/erste-Sonnenenergietagung.PDF, zuletzt geprüft am 11.12.2013.

Urbanek, Axel (1989): Nur in SPD-regierten Ländern breite Förderung erneuerbarer Energien. In: Sonnenenergie & Wärmepumpe, H. 1, S. 5–6.

Urbanek, Axel (1991): Förderprogramme für Energie-Sparen und erneuerbare Energien. In: Sonnenenergie & Wärmepumpe, H. 4, S. 23–29.

Wagner, Andreas (20.12.2012): Wagner & Co Solartechnik GmbH. Mündliches Interview mit Andreas Wagner, Vorstand. Am 20.12.2012.

Weinreich, Axel; Redmann, Martin; Aust, Cisco (20.02.2012): Flächenverfügbarkeit für KUPs vor dem Hintergrund wirtschaftlicher Rahmenbedingungen. Ein Regionen - Vergleich. Vortrag im Rahmen der Agrarholztagung Berlin 2013. Veranstaltung vom 20.02.2012. Online verfügbar unter http://veranstaltungen.fnr.de/fileadmin/veranstaltungen/Agrarholz2013/Weinreich_UNIQUE_Agrarholz_2013.pdf, zuletzt geprüft am 28.11.2013.

Whitfield, Jerry (06.02.2013): Whitfield Biochar LLC, USA. Schriftliche Antwort von Jerry Whitfield, Begründer von ehemals Pyro Industries, am 06.02.2013.

Wiemken, Edo; Morgenstern, Alexander; Schicktanz, Matthias; Nienborg, Björn (2012): Planungsleitfaden Solare Kühlung. Erstellt im Rahmen des Programms Solarthermie 2000plus: Solarthermische Anlagen zur Raumkühlung in Einzelgebäuden bzw. Gebäudegruppen. Wissenschaftliche Programmbegleitung und Begleitforschung Solarthermische Gebäudeklimatisierung. Fraunhofer ISE. Online verfügbar unter http://www.solare-kuehlung.info/Projekte/Projekte/Planungsleitfaden_V12_18092013.pdf, zuletzt geprüft am 22.03.2014.

Ziegler, Felix (16.01.2014): Technische Universität Berlin. Interview mit Prof. Dr. Felix Ziegler, am 16.01.2014.

Zogg, Martin (2008): Geschichte der Wärmepumpe. Schweizer Beiträge und internationale Meilensteine. Oberburg. Online verfügbar unter http://www.zogg-engineering.ch/publi/GeschichteWP.pdf.

9 Rechtsquellen

Energierecht national

BEnSpG: Gesetz zur Förderung der sparsamen sowie umwelt- und sozialverträglichen Energieversorgung und Energienutzung im Land Berlin (Berliner Energiespargesetz – BEnSpG) vom 2.10.1990.

EEG 2011: Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) vom 25.10.2008, BGBl. I, S. 2074, zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 69 des Gesetzes vom 22.12.2011, BGBl. I S. 3044.

EEWärmeG 2009: Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 07.08.2008, BGBl. I, S. 1658, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 15.07.2009, BGBl. I, S. 1804.

EEWärmeG – Begründung: Konsolidierte Fassung der Begründung zu dem Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 18.08.2008. BGBl. I, S. 1658.

EEWärmeG 2011: Gesetz zur Förderung erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 07.08.2008, BGBl. I, S. 1658, zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 68 des Gesetzes vom 22.12.2011 BGBl. I S. 3044.

EnEG 2013: Viertes Gesetz zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes vom 04.07.2013, BGBl. I S. 2197 vom 12.07.2013.

EnEV 2002: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 16.11.2001, BGBl. I S. 3085.

EnEV 2009: Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung - EnEV) vom 24.07.2007, BGBl. I S. 1519, geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 29.04.2009, BGBl. I S. 954.

EnEV 2014: Zweite Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18.11.2013, BGBl. I S. 3951 vom 21.11.2013.

Hamburgisches Klimaschutzgesetz: Hamburgisches Gesetz zum Schutz des Klimas durch Energieeinsparung (HmbKliSchG) vom 25. Juni 1997 (Hamb.GVBl. Nr. 28 vom 30.06.1997, S. 261; ber. Hamb.GVBl. Nr. 28 vom 07.08.1998, S. 188); zul. geändert am 16. November 1999 durch Artikel 2 des Gesetzes zur Änderung des Bauleitplanfeststellungsgesetzes und über weitere Gesetzesänderungen zur Ermächtigung des Senats zur Weiterübertragung von zusätzlichen Befugnissen im Rahmen von Bebauungsplanverfahren (Hamb.GVBl. Nr. 32 vom 22.11.1999, S. 255).

HeizAnlV 1998: Verordnung über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen und Warmwasseranlagen (Heizungsanlagen-Verordnung - HeizAnlV -) vom 22. September 1978 (BGBl I S. 1581). Neufassung gemäß Bekanntmachung vom 4. Mai 1998 (BGBl. I 1998 S. 851). Vorläufer vgl. EE-Wärme-Infoplattform.

HEnG 1985: Gesetz über sparsame, rationelle, sozial- und umweltverträgliche Energienutzung in Hessen (Energiespargesetz) (Staatsanzeiger für das Land Hessen, Nr. 48; S. 2310-2314).

Hessisches Energiezukunftsgesetz vom 21.11.2012 (Gesetz- und Verordnungsblatt für das Land Hessen, 30.11.2012, S. 444-448).

EWärmeG 2007: Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (EWärmeG) vom 20.11.2007 (GBl. Nr. 19, S. 531).

ModEnG: Gesetz zur Förderung der Modernisierung von Wohnungen und von Maßnahmen zur Einsparung von Heizenergie (Modernisierungs- und Energieeinsparungsgesetz - ModEnG) vom 27.06.1978, BGBl I S. 878.

KWKModG: Gesetz für die Eraltung, die Modernisierung und den Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung (Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz - KWKModG) vom 19.03.2002, BGBl. I, S. 1092, zuletzt geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 21.08.2009, BGBl. I S. 2870.

WärmeschutzVO 1994: Verordnung über einen Energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung) in der Fassung der Bekanntmachung vom 16. August 1994 (BGBl. I 1994 S. 2121). Vorläufer vgl. EE-Wärme-Infoplattform.

WärmeLV: Verordnung über die Umstellung auf gewerbliche Wärmelieferung für Mietwohnraum (Wärmelieferverordnung - WärmeLV) vom 07.06.2013, BGBl. I S. 1509.

Umwelt-, Planungs- und Baurecht

BauGB 2011: Baugesetzbuch in der Fassung der Bekanntmachung vom 23.09.2004, BGBl. I S. 2414, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 22.07.2011, BGBl. I S. 1509. Vorläufer vgl. EE-Wärme-Infoplattform

BImSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz - BImSchG) vom 26.09.2002, BGBl. I S. 3830, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 01.03.2011, BGBl. I S. 282.

1. BImSchV 2003: Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Artikel 1 der Verordnung zur Neufassung der Ersten und Änderung der Vierten Verordnung zur Durchführung des BundesImmissionsschutzgesetzes) (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1.BImSchV), zul. geändert zuletzt durch Artikel 4 der Verordnung vom 14. August 2003 (BGBl. I S. 1614)

1. BImSchV 2010: Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1. BImSchV) vom 26.01.2010, BGBl. I S. 38.

22. BImSchV 2002: 22. Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes. Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft. Vom 11.Septmeber 2002, BGBl. I S. 3626.

39. BImSchV 2010: Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065)

BNatSchG 2010: Bundesnaturschutzgesetz vom 29.07.2009, BGBl. I S. 2542, zuletzt geändert durch Artikel 7 des Gesetzes vom 21.01.2013, BGBl. I S. 95.

BWaldG: Gesetz zur Erhaltung des Waldes und zur Förderung der Forstwirtschaft (Bundeswaldgesetz) vom 02.05.1975, BGBl. I S. 1037, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 31.07.2010, BGBl. I S. 1050.

Elektro- und Elektronikgerätegesetz: Gesetz über das Inverkehrbringen, die Rücknahme und die umweltverträgliche Entsorgung von Elektro- und Elektronikgeräten vom 16.03.2005, BGBl. I S. 762, zuletzt geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 03.05.2013, BGBl. I S. 1110.

Gesetz zum Einstieg in die ökologische Steuerreform vom 24.03.1999, BGBl. I S. 378 vom 29.03.1999.

InvZulG 1975: Investitionszulagengesetz vom 24.02.1975, BGBl. I S. 29 ff. vom 25.02.1975.

KrWG 2012: Gesetz zur Förderung der Kreislaufwirtschaft und Sicherung der umweltverträglichen Bewirtschaftung von Abfällen (Kreislaufwirtschaftsgesetz - KrWG) vom 24.02.2012, BGBl. I S. 212, zuletzt geändert durch Artikel 3 des Gesetzes vom 08.04.2013, BGBl. I S. 734.

UVPG: Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung in der Fassung der Bekanntmachung vom 24.02.2010, BGBl. I S. 94, zuletzt geändert am 18.05.2011, BGBl. I S. 892.

VwVfG: Verwaltungsverfahrensgesetz vom 23.01.2003, BGBl. I, S. 102, zuletzt geändert durch Artikel 2 Absatz 1 des Gesetzes vom 14.08.2009, BGBl. I, S. 2827.

EU-Richtlinien, Entscheidungen und Verordnungen

Verordnung (EEC) 1302/78/EWG vom 12. Juni 1978 on the granting of financial support for projects to exploit alternative energy sources, ABl. Nr. L 158, S. 3-5 vom 16.06.1978.

Richtlinie 79/409/EWG des Rates vom 02.04.1979 über die Erhaltung der wildlebenden Vogelarten (Vogelschutz-RL), geändert durch die Verordnung 807/2003/EG des Rates vom 14.04.2003, ABl. Nr. L 122/36 vom 16.05.2003.

Richtlinie 92/43/EWG des Rates vom 21.05.1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (FFH-Richtlinie), ABl. Nr. L 206 vom 22.07.1992.

Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22.04.1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. ABl. Nr. L 163/41 vom 29.06.1999.

Richtlinie 2001/77/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27.09.2001 zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen im Elektrizitätsbinnenmarkt, ABl. Nr. L 283/33 vom 27.10.2001.

Richtlinie 2002/91/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 16.12.2002 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, ABl. Nr. L 1/65 vom 04.01.2003.

Richtlinie 2002/95/EG (RoHS 1) zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, ABl. Nr. L 37/19 vom 13.02.2003.

Richtlinie 2003/30/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 08.05.2003 zur Förderung der Verwendung von Biokraftstoffen oder anderen erneuerbaren Kraftstoffen im Verkehrssektor, ABl. Nr. L 123/42 vom 17.05.2003.

Richtlinie 2003/54/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 26.06.2003 über gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt und zur Aufhebung der Richtlinie 96/92/EG, ABl. Nr. L 176/37 vom 15.07.2003.

Richtlinie 2004/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11.02.2004 über die Förderung einer am Nutzwärmebedarf orientierten Kraft-Wärme-Kopplung im Energiebinnenmarkt und zur Änderung der Richtlinie 92/42/EWG, ABl. Nr. L 52/50 vom 21.02.2004.

Entscheidung 2007/742/EG: Entscheidung der Kommission vom 09.11.2007 zur Festlegung der Umweltkriterien für die Vergabe des EG-Umweltzeichens an Elektro-, Gasmotor- oder Gasabsorptionswärmepumpen, ABl. EG L 301 S. 14, zuletzt geändert am 30.10.2013, ABl. L 292 S. 18.

Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates zur Förderung und Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen; KOM(2008)19 endgültig.

Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21.05.2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, ABl. Nr. L 152/1 vom 11.06.2008.

Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.04.2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG, ABl. Nr. L 140/16 vom 05.06.2009.

Richtlinie 2009/72/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 13.07.2009 über gemeinsame Vorschriften für den Elektrizitätsbinnenmarkt und zur Aufhebung der Richtlinie 2003/54/EG, ABl. Nr. L 211/55 vom 14.08.2009.

Richtlinie 2010/31/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 19.05.2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden, ABl. L 153/13, ber. 22. Juni 2010, ABl. L 155/61.

Richtlinie 2011/65/EG (RoHS 2) des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, ABl. L 174/88 vom 01.07.2011.

Sonstige Rechtsquellen:

Gesetz über das Wohnungseigentum und das Dauerwohnrecht (Wohnungseigentumsgesetz - WoEigG) in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 403-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, zuletzt geändert durch Artikel 4 Absatz 6 des Gesetzes vom 1. Oktober 2013 (BGBl. I S. 3719).

Gesetz zur Regelung der Miethöhe (Miethöhegesetz - MHG) vom 18.12.1974, BGBl. I S. 3603, aufgehoben durch Gesetz vom 19.06.2001, BGBl. I S. 1149, m.W.v. 01.09.2001.

Einkommensteuer-Durchführungsverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. Mai 2000 (BGBl. I S. 717), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 24. Juni 2013 (BGBl. I S. 1679).