



## Stromeinsatz zu Heizzwecken

- I. Elektrische Wärmepumpen
- II. Power-to-Heat

Februar 2016

# Inhalt

<b>Vorwort</b>	<b>3</b>
<b>Teil I: Elektrische Wärmepumpen</b>	<b>4</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
1. Energiepolitische Ziele	5
2. Der Markt für Raumheizungs- und Warmwasserbereitungsanlagen	6
3. Wärmepumpentechnik, Kosten und Einsatzfelder	7
4. Praktische Erfahrungen	11
5. Wärmepumpenmarkt und Förderung	14
6. Marktprognosen und energiewirtschaftliche Erwartungen an die Wärmepumpen	18
7. Forderungen des BUND	19
<b>Teil II: „Power to Heat“</b>	<b>19</b>
<b>Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien</b>	<b>19</b>
<b>„Überschussstrom“ aus erneuerbaren Energien</b>	<b>19</b>
<b>Handhabung des EE-Überschussstroms</b>	<b>20</b>
<b>Einsatztechniken für „Power to Heat“</b>	<b>22</b>
<b>Bewertung</b>	<b>23</b>
<b>Fazit</b>	<b>24</b>
<b>Quellenangaben</b>	<b>25</b>

## Impressum:

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (BUND) · Friends of the Earth Germany · Am Köllnischen Park 1 · 10179 Berlin · Tel.: (0 30)27 58 64-0  
Fax: (0 30)27 58 64-40 · [www.bund.net](http://www.bund.net) · [info@bund.net](mailto:info@bund.net) · Autoren: Gabriele Purper, Falk Auer (BUND Bundesarbeitskreis Energie) · Gestaltung: N & U GmbH  
Berlin 2016

# 1 Vorwort

Elektrischer Strom wird in verschiedener Weise zu Heizzwecken eingesetzt. Der BUND hat immer diesen Einsatz kritisiert, da Strom – ob mit hohen Verlusten aus gefährlichen Atomkraftwerken oder das Klima schädigenden Kraftwerken fossiler Energieträger erzeugt – eine exergetisch höherwertige Energie ist. Der BUND hat daher den Einsatz von Strom insbesondere in Nachtspeicherheizungen immer abgelehnt und bessere Lösungen propagiert.

Seit einigen Jahrzehnten, aber auch im Rahmen der Energiewende wird zunehmend der Einsatz von Strom in Wärmepumpen oder die Wandlung von zeitweiligem Überschussstrom aus erneuerbaren Energien in Wärme („Power to Heat“) diskutiert. Der BUND legt hiermit seinen Standpunkt vor, in dem Anforderungen über die erforderliche Effizienz dieser Techniken sowie die Rahmenbedingungen benannt werden, bei denen diese Stromverwendung sinnvoll sein kann. Zugleich spricht sich der BUND gegen jegliche ineffiziente Verwendung von Strom zu Heizzwecken aus.

# Teil I : Elektrische Wärmepumpen

## Zusammenfassung

Wärmepumpen werden heute gerne als Allheilmittel zur Lösung von Heizproblemen beworben. Sie dienen sogar dazu, die Anforderungen an die Wärmedämmung von Gebäuden zu unterlaufen, wenn man sie einsetzt. Da Wärmepumpen aber Strom als Antriebsenergie verbrauchen, erhebt sich die Frage, ob und in welchem Maße sie in der Lage sind, das klimaschädliche Treibhausgas Kohlenstoffdioxid einzusparen. Der BUND hat deshalb den Stand der Wärmepumpentechnik untersucht, Felduntersuchungen analysiert und sie im Hinblick auf den Beitrag zum Klimaschutz bewertet.

Das Ergebnis: Der BUND empfiehlt keinen Einsatz von Luft-Wärmepumpen, weil sie unter realistischen Betriebsbedingungen weitgehend energieineffizient arbeiten. Sehr wohl können aber erdgekoppelte Wärmepumpen zum Klimaschutz beitragen, wenn die Rahmenbedingungen stimmen und alles fachgerecht eingebaut und betrieben wird. Zusätzlich müssen Planer, Hersteller und Handwerker auch noch mehr in die Qualitätsverbesserung investieren und eine unabhängige Überwachung akzeptieren.

Darüber hinaus werden Elektro-Wärmepumpen die energiewirtschaftlichen Erwartungen, die mit ihnen verbunden werden, nicht erfüllen können. Die Bundesregierung und verschiedene wissenschaftliche Institute gehen davon aus, dass der Bestand an Elektro-Wärmepumpen von heute ca. 600.000 auf bis zu 2 Mio. im Jahr 2030 ansteigen wird und sie einen substantiellen Beitrag zur Regelleistung leisten werden. Jedoch sind Wärmepumpen per se nicht geeignet, Überschussstrom aus erneuerbaren Energien in bedeutendem Umfang zu „absorbieren“. Der Wärmepumpenstrom wird auch künftig in erster Linie von konventionellen Mittellast- und Spitzenlastkraftwerken bereitgestellt werden müssen. Somit dienen Wärmepumpen nur in geringem Umfang dem Ziel der Bundesregierung, bis 2050 einen „nahezu klimaneutralen Gebäudebestand“ erreichen zu wollen. Sie erhöhen auch nicht in nennenswertem Umfang den Anteil der erneuerbaren Energien an der Wärmeversorgung. Die staatliche Förderung von Wärmepumpen sollte deshalb auf solche Wärmepumpen begrenzt werden, die eine Jahresarbeitszahl von mindestens 5 in der Praxis erreichen.

# 1. Energiepolitische Ziele

Die erneuerbaren Energien sind die Energieträger der Zukunft. Nur sie werden die erforderliche Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen um mindestens 80 %, besser 95 % bis 2050 gegenüber 1990 ermöglichen, die sich die Bundesregierung vorgenommen hat<sup>1</sup>. So sollten 2050 nicht nur 80 % der Energieversorgung durch erneuerbare Energien bereitgestellt werden, wie es die Bundesregierung vorsieht, sondern die Energieversorgung sollte bis zu diesem Zeitpunkt zu 100 % auf erneuerbare Energien umgestellt sein.

Die unabdingbare Voraussetzung, mittels der erneuerbaren Energien eine künftig sichere, kostengünstige und umweltfreundliche Energieversorgung zu garantieren, stellt die Halbierung des Primärenergieverbrauchs bis zu diesem Zeitpunkt dar. Neben CO<sub>2</sub>-Reduktion und Ausbau der erneuerbaren Energien umfassen die Zielsetzungen der politischen Entscheidungsträger deshalb auch den Primärenergieverbrauch: Nach der EU-Energieeffizienz-Richtlinie<sup>2</sup> soll er sich in der EU bis zum Jahr 2020 um 20 % gegenüber dem prognostizierten Verbrauch vermindern und nach den Vorstellungen der Bundesregierung bis zum Jahr 2050 um 50 % (gegenüber 2008) reduziert werden<sup>3</sup>. Dazu sind alle technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten, die Energieeffizienz zu steigern, nachdrücklich und dauerhaft auszunutzen<sup>4</sup>. Eines der hauptsächlichen, noch nicht ausgeschöpften Potenziale betrifft den Energieverbrauch im Gebäudebereich. Fast 35 % des Endenergieverbrauchs werden für Raumheizung und Warmwasserbereitung benötigt<sup>5</sup>; private Haushalte wendeten 2012 fast 84 % ihres Endenergieverbrauchs für Heizen und Warmwasser auf<sup>6</sup>. 2011 waren in Deutschland rund 18,2 Mio. Wohngebäude mit etwa 41 Mio. Wohnungen vorhanden. Ca. 75 % dieser Wohnungen befinden sich in Gebäuden, die vor 1979 errichtet wurden, also bevor in der ersten Wärmeschutzverordnung nennenswerte energetische Anforderungen an die Bauteile für den Neubau gesetzt wurden<sup>7</sup>. Rund 43 % der Wohnungen wurden zwischen 1949 und 1978 gebaut, sind also zu dem energetisch und bauphysikalisch schlechtesten Bestand zu zählen<sup>8</sup>. Die Gebäudemodernisierung stellt damit einen zentralen Punkt der Energiewende dar.

Die Bundesregierung hat folglich ein weiteres Ziel gesetzt, bis 2050 einen „nahezu klimaneutralen Gebäudebestand“<sup>9</sup> erreichen zu wollen. Bezüglich der erneuerbaren Energien wird in § 1 Abs. 2 des Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetzes<sup>10</sup> das Ziel formuliert, den Anteil der erneuerbaren Energien am Wärmemarkt bis 2020 auf 14 % zu erhöhen (derzeitiger Anteil im Jahr 2015 9,9 %).

## 2. Der Markt für Raumheizungs- und Warmwasserbereitungsanlagen

Innerhalb der Gebäudemodernisierung stellen die vorhandenen Heizungsanlagen einen besonderen Schwachpunkt dar. Nach den aktuellen Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks zu den messpflichtigen Öl- und Gasfeuerungsanlagen für das Jahr 2014<sup>11</sup> waren 61 % der Öl- und Gasfeuerungsanlagen älter als 15 Jahre, 15,3 % sogar älter als 25 Jahre. Damit entsprechen rund 70 % der zentralen Heizwärmeerzeuger nicht mehr dem Stand der Technik.<sup>12</sup>

Es besteht also nach wie vor ein erheblicher „Modernisierungstau“. Dies lässt sich auch an der Marktentwicklung festmachen. 2014 wurden 681.000 Heizungsanlagen neu installiert, was ein Minus von 4 % gegenüber dem Vorjahr bedeutete. Besonders rückläufig war die Anzahl der Biomassekessel (minus 25 %) und der Wärmepumpen (minus 3 %). Das zeigt, dass auch der Ausbau der erneuerbaren Energien auf dem Wärmemarkt nur zögerlich voranschreitet. Laut Bundesministerium für Wirtschaft und Energie<sup>13</sup> „hat sich der Anteil der erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte seit 2012 nur noch langsam weiterentwickelt und liegt derzeit bei 9,9 %“. Dabei ist die Biomasse mit einem Anteil von 86,7 % die dominante Größe, nur 5,3 % werden von der Solarthermie bereitgestellt, 8 % von Geothermie und Umweltwärme; davon wiederum sind 7,3 % oberflächennahe Geothermie und Umweltwärme mittels Wärmepumpen.

In dieser Situation werden von Verbändeseite, wissenschaftlichen Instituten, aber auch der Bundesregierung<sup>14</sup> Wärmepumpen als Option zur Heizungsmodernisierung empfohlen, um den Anteil erneuerbarer Energien auf dem Wärmemarkt signifikant zu erhöhen. Ob die Wärmepumpe dieser Erwartung entsprechen kann, wird im Folgenden untersucht.

### 3. Wärmepumpentechnik, Kosten und Einsatzfelder

#### 3.1 Funktionsprinzip Elektro-Wärmepumpen

Wärmepumpen funktionieren wie ein Kühlschrank. Der Unterschied: Während ein Kühlschrank den Innenraum abkühlt und die „Wärme“ mit Hilfe eines thermodynamischen Kältemittel-Kreislauf in den Außenraum abführt, kühlt eine Wärmepumpe den Außenraum eines Hauses ab und transportiert die „Wärme“ aus der Umgebungsluft, aus dem Grundwasser oder dem Erdreich in die Innenräume, um sie zu beheizen und den Bewohnern warmes Wasser bereit zu stellen. Dazu hebt („pumpt“) die Wärmepumpe mit dem gleichen Kältemittel-Kreislauf wie beim Kühlschrank die an und für sich nicht mehr nutzbare „Wärme“ aus dem Außenbereich mit Hilfe elektrischer Energie auf ein höheres und damit nutzbares Temperaturniveau an. Somit handelt es sich bei der Wärmepumpe um ein Kühlschrankprinzip, aber mit umgekehrtem Nutzen.

Je höher die Temperaturdifferenz zwischen dem abzukühlendem Medium und der Nutztemperatur für Heizung und Warmwasser ist, desto energieineffizienter arbeiten Wärmepumpen. Wärmequellen mit hohen Temperaturen (Grundwasser und Erdreich) und Wärmesenken mit niedrigen Temperaturen (Flächenheizungen) kommen deshalb eine große Bedeutung zu.

#### 3.2 Wärmequellen und Wärmepumpentypen

- **Luft-Wärmepumpen:** Sie kühlen die Umgebungsluft ab. Diese schwankt in der Heizperiode zwischen  $-15^{\circ}\text{C}$  und  $+15^{\circ}\text{C}$ . Das ist ein sehr großer Temperaturbereich und führt zu einem Problem: Gerade dann, wenn die Umgebungstemperatur am tiefsten ist, braucht das Haus naturgemäß die meiste Heizenergie – und das auch noch auf einem hohen Temperaturniveau! Deshalb arbeiten im Mittel alle Luft-Wärmepumpen energieineffizient. Diese Feststellung gilt auch für die viel beworbenen kleinen Warmwasser-Wärmepumpen und die Abluft-Wärmepumpen<sup>15</sup>.
- **Grundwasser-Wärmepumpen:** Sie nutzen die „Wärme“ des Grundwassers bei Temperaturen zwischen  $7$  und  $13^{\circ}\text{C}$ . Eine Pumpe fördert das Wasser aus einer Tiefe von

$3\text{--}15\text{ m}$  aus einem Saugbrunnen zur Wärmepumpe. Diese kühlt das Wasser etwas ab und gibt es über einen Schluckbrunnen wieder an das Grundwasser zurück. Der Vorteil seiner Nutzung liegt im ganzjährig hohen Temperaturbereich. Ein Nachteil ist dagegen, dass es nicht überall nutzbar ist und der Wasserqualität eine große Bedeutung zukommt. Eisen- und Manganverbindungen (Verockerung) können ein Problem werden. Außerdem müssen Planer auf ein günstiges Verhältnis der Leistung der Förderpumpe zur Wärmepumpe selbst achten, um die elektrische Hilfsenergie zu minimieren<sup>16</sup>.

- **Erdreich-Wärmepumpen:** Sie kühlen mit Hilfe von vertikalen Erdsonden, oft bis in  $100\text{ m}$  Tiefe, oder Erdkollektoren, als horizontales Register in gut  $1\text{ m}$  Tiefe verlegt, das Erdreich ab. Ein Wärmeträger, bestehend aus einem Wasser-Glykol-Gemisch in einem geschlossenen Kreislauf, übergibt die „Wärme“ mit einem Temperaturbereich von  $4\text{--}10^{\circ}\text{C}$  über einen Wärmetauscher an den Kältemittelkreislauf der Wärmepumpen. Der Vorteil liegt darin, dass das Erdreich nicht nur über eine relativ hohe Temperatur verfügt, sondern dass es im Sommer auch noch direkt, also ohne die Wärmepumpe, der Klimatisierung dienen kann (Naturkühlung).



Abb. 1: „Da kommt Freude auf: Service bei einer Erdsonden-Wärmepumpe mit hoher Energieeffizienz.“ Foto: Falk Auer

In Wasserschutzgebieten sind Erdsonden nur eingeschränkt einsetzbar, sehr wohl aber Erdkollektoren. Und dies gilt nicht nur bei Neubauten, sondern wegen einer neuartigen, horizontalen Bohrtechnik auch in Bestandsgebäuden. Um das Haus platzierte Korb- und Grabenkollektoren sind dagegen nicht geeignet. Das abzukühlende Volumen des Erdreichs ist viel zu gering.

- **Solar-unterstützte Wärmepumpen:** Eine solarthermische Unterstützung von Wärmepumpen ist möglich. Ein solches System kann, wie Feldtests gezeigt haben<sup>17</sup>, hoch-energieeffizient arbeiten – freilich auch zu hohen Kosten. Darüber hinaus stellt es große Anforderungen an die Planung, die Regelstrategie und einen fachgerechten Einbau und Betrieb<sup>18</sup>.

### 3.3 Kältemittel und Probleme

Beim Kühlschrank und bei der Wärmepumpe nutzt man die Zustandsänderung Gas/Flüssigkeit und umgekehrt eines Kältemittels aus, um mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Verdichters „Wärme“ von der kalten auf die warme Seite zu „pumpen“. Als Arbeitsmittel dienen Fluorkohlenwasserstoffe (FKW). Sie sind nicht giftig, unbrennbar und kostengünstig. Ein wichtiger Nachteil jedoch: Ihr Treibhausgaspotential ist extrem hoch, so dass bei einer Undichtigkeit, einem Nachfüllen oder bei der Entsorgung unvermeidlich gasförmiges Kältemittel in die Atmosphäre gelangt. Allein die Undichtigkeit verursacht einen Verlust von jährlich etwa 2,5 % des eingefüllten Kältemittels.

Es wird deshalb nach „natürlichen“ Kältemitteln gesucht. In Frage kommen Wasser, Ammoniak, Kohlenstoffdioxid und Kohlenwasserstoffe, z. B. Propan. Die haben aber auch ihre Probleme. Bei Wasser stimmt der Temperaturbereich nicht mit den Anforderungen bei Heizungs-Wärmepumpen überein, und Ammoniak ist giftig und somit nur für Großanlagen mit Fachpersonal zulässig. Kohlenstoffdioxid ist dagegen durchaus möglich, die Energieeffizienz ist jedoch deutlich niedriger und der Beitrag zum Treibhaus-effekt höher im Vergleich zu den FKW. Verbleibt noch das Gas Propan. Es ist ökologisch interessant, aber brennbar.

Bis zu einer Füllmenge von 2 kg sind aber die Sicherheitsanforderungen wirtschaftlich noch vertretbar, so dass Propan als Kältemittel in Wärmepumpen für bis zu Dreifamilienhäusern durchaus in Frage kommt.

### 3.4 Maß für Energieeffizienz und Bewertung

Zur Beurteilung der Energieeffizienz von Elektro-Wärmepumpen ist die Jahresarbeitszahl (JAZ) die wichtigste Kenngröße. Sie ist definiert als das Verhältnis von erzeugter Wärme am Ausgang der Wärmepumpe zur notwendigen elektrischen Energie an deren Eingang. Man unterscheidet die Erzeuger-Jahresarbeitszahl EJAZ, gemessen direkt am Ausgang einer Wärmepumpe, und die System-Jahresarbeitszahl SJAZ, die auch noch die Verluste eines eventuell vorhandenen Heizungspuffer- und Warmwasserspeichers berücksichtigt. Die für den Klimaschutz wichtigere Kenngröße ist die SJAZ, weil sie die Nutzwärmen am Ausgang des Wärmepumpensystems bilanziert.

Laut der Deutschen Energieagentur (dena) in Berlin, des RWE in Essen und des Erneuerbaren-Energien-Wärme-gesetzes (EEWärmeG) muss die Jahresarbeitszahl größer als 3,0 sein, um Wärmepumpen als „energieeffizient“ und größer als 3,5 sein, um sie als „nennenswert energieeffizient“ bezeichnen zu können. Das sind schwache Energieeffizienzziele. Die Werbung verspricht eine JAZ von 4, was auch der BUND als Mindestgröße fordert<sup>19</sup>.

Das Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz fordert für Luft-Wasser- und Luft-Luft-Wärmepumpen eine Jahresarbeitszahl von 3,5, für alle anderen Wärmepumpen von 4,0<sup>20</sup>, wenn die Installation und der Betrieb einer Wärmepumpe der Nutzungspflicht für erneuerbare Energien genügen sollen. Laut einer BINE-Themeninfo zu Wärmepumpen halten aber 90 % der Luft-Wärmepumpen diese Forderung in der Praxis nicht ein<sup>21</sup>.

### 3.5 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Wärmepumpen erfordern im Vergleich zu Öl- oder Gaskesseln erst einmal hohe Investitionen. Je nach Energieeffizienz ist aber ein Teil von ihnen in der Lage, durch laufende geringe Stromkosten die Differenz zu diesen konventionellen Energieversorgern wieder hereinzuholen, ja sogar noch eine Gutschrift zu erzielen. Darüber hinaus können sich auch noch geringere Kohlenstoffdioxid-Emissionen ergeben.

Das zeigt ein Vergleich zwischen einer Luft- und Erdsonden-Wärmepumpe und einem Erdgas-Brennwertkessel in Verbindung mit einer solaren Trinkwassererwärmung bei einem typischen Einfamilienhaus<sup>22</sup>. Die Ergebnisse in Kürze: Den geringsten spezifischen Wärmepreis hat der solar unterstützte Gaskessel, gefolgt von der Erdsonden- und der Luft-Wärmepumpe. Bei den Wärmepumpen sind bei der Investition die staatliche Förderung und bei den Stromkosten der Sondertarif (Subvention zu Lasten der anderen Verbraucher) berücksichtigt.

Den geringsten Ausstoß des klimaschädlichen Treibhausgases CO<sub>2</sub> hat ebenfalls der solar-unterstützte Gaskessel. Dicht darauf folgt die Erdsonden-Wärmepumpe und mit einem deutlichen Abstand die Luft-Wärmepumpe. Die Gründe für das bessere Abschneiden der Erdsonden-Wärmepumpen gegenüber Luft-Wärmepumpen liegen in einer deutlich höheren Energieeffizienz und damit geringerem Stromverbrauch und einer längeren Lebensdauer. Der zunehmende Einsatz von Luft-Wärmepumpen ist deshalb sowohl aus ökologischen wie ökonomischen Gesichtspunkten unverständlich. Der Forschungsverbund Erneuerbarer Energien (FVEE) sekundiert: „Wenn man die höheren Stromkosten der Luft-Wärmepumpen während der gesamten Lebensdauer berücksichtigt, sind erdgekoppelte Wärmepumpen nicht nur klimafreundlicher, sondern häufig auch wirtschaftlicher.“<sup>23</sup> Der Bundesverband der Verbraucherzentralen in Berlin empfiehlt deshalb, sie „nur in Ausnahmefällen“ einzusetzen. Der BUND ist da deutlicher: Er lehnt den Einsatz von Luft-Wärmepumpen ganz ab<sup>24</sup>.

### 3.6 Einsatzfelder und Voraussetzungen

Für alle Wärmepumpenarten gilt, dass sie nur bei Altbauten, die auf einen Niedrigenergiehausstandard saniert sind, oder bei Neubauten in Frage kommen, und zwar in Verbindung mit einer Flächenheizung, meistens ist das eine Fußbodenheizung. Nur diese Kombination ermöglicht eine maximale Vorlauftemperatur von etwa 35 °C. Von einem Heizungspufferspeicher sollte abgesehen werden. Er kostet Geld, erniedrigt die Systemjahresarbeitszahl und ist bei variabler Wärmepumpenleistung und einer Fußbodenheizung gar nicht notwendig.

Luft-Wärmepumpen sind wegen weitgehend fehlender Energieeffizienz kritisch zu bewerten. Hinzu kommt, dass sie aus Sicherheitsgründen oft über einen Elektrostab zur direkten Heizung verfügen (bivalenter Betrieb). Er kann kontrolliert (bei tiefen Außentemperaturen), aber auch unkontrolliert (Defekt) einschalten, was die Energieeffizienz des Wärmepumpensystems weiter erniedrigt und die jährlichen Stromkosten in die Höhe treibt.

Abluft-Wärmepumpen haben einen gewissen Charme: Sie kombinieren in einem Kompaktgerät kontrollierte Lüftung und Wärmerückgewinnung mit der Heizung und der Warmwasserbereitung. Für einen energieeffizienten Betrieb ist aber der Wärmebedarf selbst eines Niedrigenergiehauses noch zu hoch. Es müsste schon ein Niedrigstenergie- oder Passivhaus sein. Doch bei ihnen ist dann die Wärmepumpe selbst das Problem: Je geringer die Nennleistung, desto geringer auch die Energieeffizienz.<sup>25</sup>

Warmwasser-Wärmepumpen stehen oft im Keller oder als Abluft-Wärmepumpen in Küche oder im Bad. Sie arbeiten wegen ihrer geringen Nennleistung von nur 300 Watt elektrisch durchweg energieineffizient<sup>26</sup>. Der Grund liegt wie schon bei der Abluft-Wärmepumpe in einem Passivhaus in der geringen elektrischen Nennleistung. Eine solarthermische Anlage für die Warmwasserbereitung wäre eine ökologisch bessere Alternative.

Erdgekoppelte Wärmepumpen eignen sich für einen energieeffizienten Betrieb, wenn die Rahmenbedingungen stim-

men und alles fachgerecht geplant, eingebaut und betrieben wird<sup>27</sup>. Ein Elektrostab ist nicht erforderlich (monovalenter Betrieb). Während die Nutzung des Grundwassers aus örtlichen Gründen eingeschränkt sein kann, kommen vertikale Erdsonden auch noch bei kleinen Grundstücken sowohl bei sanierten Alt- als auch bei Neubauten in Frage. Horizontale Erdregister sind dagegen bisher nur bei Neubauten sinnvoll einsetzbar, wenn ein Bagger schon vor Ort arbeitet und der Garten noch nicht angelegt ist. Neuere Techniken können allerdings auch horizontal bohren, was die Erdkollektoren jetzt auch bei Bestandsgebäuden oder einem Erdsonden-Verbot interessant macht.

Erdsonden und -kollektoren eignen sich nicht nur zur Heizung, sondern auch zur Klimatisierung – ein ökologischer und ökonomischer Zusatznutzen. Im Sommer wird das kühle Wasser-Glykologemisch an der nicht-aktiven Wärmepumpe vorbei direkt in die Fußbodenheizung geleitet. Wenn die Temperatur des Wärmeträgers nicht unter 20°C fällt, dann ist eine Kondenswasserbildung im Fußboden ausgeschlossen.

Der Einsatz von Groß-Wärmepumpen in einem von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) versorgten Wärmenetz kann sinnvoll und wirtschaftlich sein, wenn geeignete Wärmequellen zur Verfügung stehen und die Vorlauftemperatur des Netzes abgesenkt wird. In diesem Fall können die KWK-Anlagen die positive Residuallast übernehmen, das heißt, Strom erzeugen, wenn die Erneuerbare-Energien-Anlagen keinen Strom liefern können. Die Wärmepumpen können Überschussstrom aus erneuerbaren Energien aufnehmen und somit die negative Residuallast mindern<sup>28</sup>.

## 4. Praktische Erfahrungen

Bisherige Felduntersuchungen und Werbeaussagen lassen Zweifel darüber aufkommen, ob alle Wärmepumpensysteme geeignet sind, volkswirtschaftlichen Zielen (Einsparung von Primärenergie und CO<sub>2</sub>) und privatwirtschaftlichen Zielen (Einsparung von Geld über die Lebensdauer der Anlage) gerecht zu werden. Es zeigten sich nämlich erhebliche Unterschiede zwischen den Angaben der Energieeffizienz, ermittelt auf den Testständen oder berechnet gemäß einer Richtlinie, auf der einen Seite und den tatsächlichen Ergebnissen, gemessen unter realistischen Betriebsbedingungen, auf der anderen Seite.

Die Lokale Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr untersuchte deshalb zwischen 2006 und 2014 an 53 Heiz- und 13 Warmwasser-Wärmepumpen am Oberrhein den Stand heutiger Wärmepumpentechnik sowie deren Energieeffizienz und Wirtschaftlichkeit. Ziel war es, nicht nur den Teilnehmern an der Praxisuntersuchung, sondern auch den

Planern, Energieberatern und Handwerkern verlässliche Daten über die energieeffizientesten Wärmepumpensysteme an die Hand zu geben.

### 4.2 Ergebnisse

Die Graphik zeigt die Messergebnisse<sup>29</sup>. Links ist aufgetragen die entscheidende Kenngröße für die Energieeffizienz von Wärmepumpen, nämlich die Jahresarbeitszahl JAZ, und rechts deren Klassifizierung und Bewertung. Weitere Erklärungen gehen aus der Legende hervor.

- Luft-Wärmepumpen: Die Einzelwerte der 25 Heiz-Wärmepumpen erstrecken sich von JAZ = 1,2 (fast Stromheizung!) bis 3,4. Ein großes Feld liegt zwischen Arbeitszahlen von 2,0 und 3,0; darunter auch die viel beworbenen Abluft-Wärmepumpen. Nur 3 von 25 untersuchten Wärmepumpen übertreffen das schwache Energieeffi-

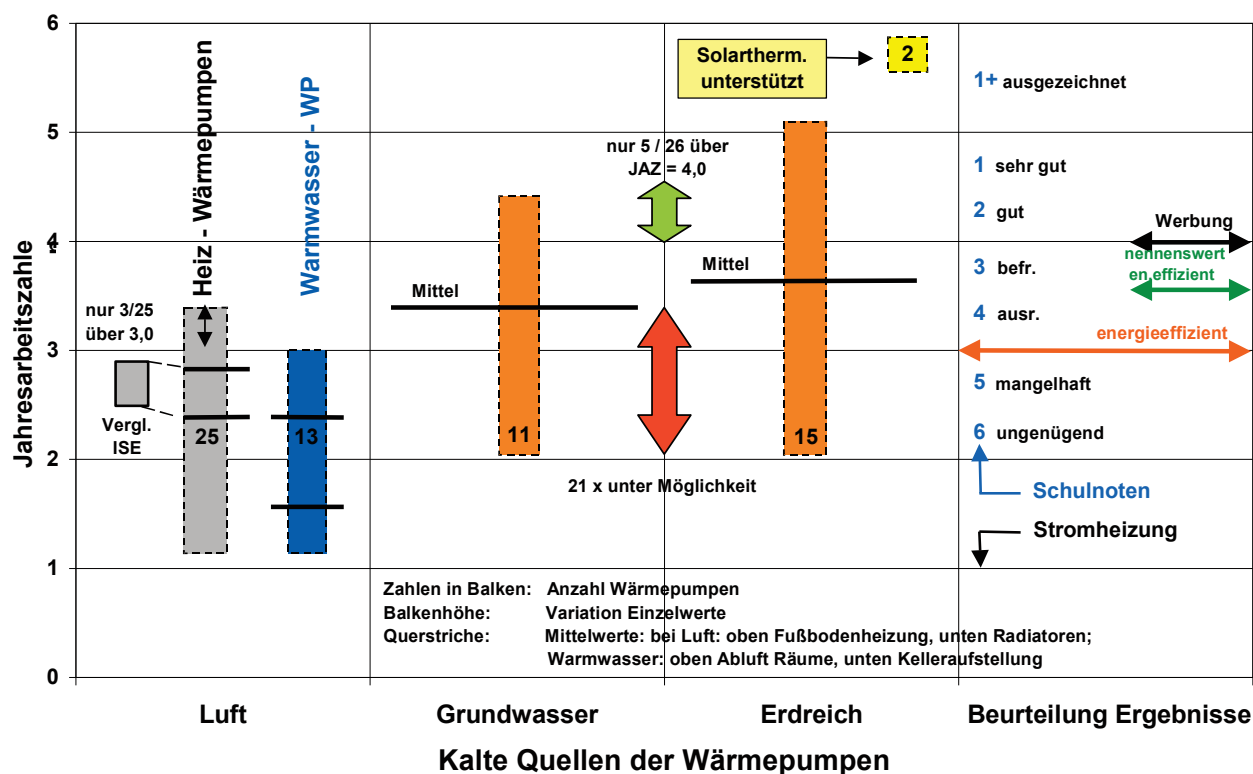


Abb. 2: Messergebnisse „Feldtest Wärmepumpe“ der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr (2014)

ziensziel von JAZ = 3,0. Die Mittelwerte für Fußbodenheizungen und Radiatorheizkörper betragen JAZ = 2,8 bzw. 2,4. Zu vergleichbaren Ergebnissen kam später auch für ganz Deutschland das Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme ISE<sup>30</sup>.

Noch schlechter schnitten die 13 Warmwasser-Wärmepumpen ab. Die Jahresarbeitszahlen der Einzelwerte erstrecken sich von 1,1 (Stromheizung) bis 3,0. Somit übertrifft keine einzige das Energieeffizienzziel, auch nicht diejenigen, die statt im kalten Keller in der warmen Küche oder dem Bad stehen.

- **Erdgekoppelte Wärmepumpen:** Besser sehen die Ergebnisse bei den Grundwasser- und Erdreich- Wärmepumpen aus. Die Mittelwerte liegen um den JAZ-Wert 3,5 und sind somit wenigstens als „nennenswert energieeffizient“ zu bezeichnen. Freilich variiert auch bei ihnen die Bandbreite der Einzelwerte mit einem Faktor von mehr als zwei erheblich. Eine Untersuchung zeigte, dass bei allen Werten unter einer Jahresarbeitszahl von etwa 4,0 Fehler gemacht wurden: Die Rahmenbedingungen stimmten nicht und/oder die Wärmepumpen wurden nicht fachgerecht geplant, eingebaut und betrieben. Somit lagen 21 der 25 Systeme unter ihren Möglichkeiten. Wenn alles stimmig ist, dann sind JAZ-Werte 4,0 bis 4,5 auch in der Praxis zu erwarten.

Bei innovativen Wärmepumpen sind sogar Jahresarbeitszahlen von um die 5,0 möglich, wie Praxisuntersuchungen bei einem Direktverdampfersystem und einer CO<sub>2</sub>-Erdsonde gezeigt haben<sup>31</sup>. Eine Arbeitszahl von fünf bedeutet, dass nur noch 20% elektrischer Strom notwendig ist, um zusammen mit 80% thermischer Energie aus dem Erdreich das Haus mit Wärme zu versorgen. Nebenbei: Unterstützt man die Wärmepumpen noch mit einer solarthermischen Anlage, dann können sich, wie an zwei Systemen ermittelt, sogar Jahresarbeitszahlen von 5,6 und 5,8 ergeben<sup>32</sup>.

#### 4.3 Hinweise zur Qualitätssicherung

Nach wie vor gibt es erhebliche Unterschiede zwischen den Leistungszahlen, ermittelt auf den Testständen, und den Jahresarbeitszahlen, gemessen unter realistischen Betriebsbedingungen. Planer, Hersteller und Handwerker sind deshalb aufgefordert, die Komponenten und Systeme weiterhin zu optimieren. Aufgrund der Erfahrungen in Feldtests betrifft das die Entwicklung, Planung, Systemoptimierung und Ausführung sowie die Aus- und Weiterbildung.

##### Planung

- **Wärmepumpensystem:** Komplexität verringern – nicht zu viele Energiequellen kombinieren; weniger Umwälzpumpen und Stellventile, dadurch weniger Regelungsprobleme und Hilfsenergien.
- **Wärmepumpe:** Zugesicherte Leistung im Datenblatt muss auch mit der Praxis übereinstimmen; angepasste Dimensionierung: zu hohe Nennleistung ==> Takten, zu geringe ==> Notheizstab zu oft aktiv; Einsatz von Wärmepumpen mit variabler Verdichterleistung.
- **Komponenten:** bei der Grundwasser-Wärmepumpe: ausreichend großer Durchmesser der Förder- und Schluckbrunnen, geringere Leistung der Förderpumpe; bei der Erdreich-Wärmepumpe: Sondenlänge großzügig bemessen; kein Einsatz von Korb- oder Grabenkollektoren, weil das Volumen des abzukühlenden Erdreichs zu gering ist.
- **Speicher:** Heizungspufferspeicher möglichst vermeiden (bei Fußbodenheizung und variabler Wärmepumpenleistung gar nicht notwendig); Kombispeicher (Heizung und Trinkwasser) sind kritisch zu bewerten, weil wegen des integrierten Warmwasserboilers die mittlere Temperatur des Speichers zu hoch ist; bei einer solarunterstützten Wärmepumpenanlage gilt diese Aussage jedoch nicht.
- **Wärmesenke:** kein Einsatz von Wärmepumpen im nicht sanierten Altbau, Vorlauftemperaturen nicht mehr als 35 °C; das schließt Heizkörper in der Praxis aus.

### Ausführung

- Hydraulischer Abgleich der Heizstränge: vorgeschriebene Arbeit auch durchführen, um gleichmäßige Durchströmung aller Teilkreise zu gewährleisten.
- Armaturen: undicht schließende Ventile aufspüren und ersetzen
- Wärmedämmung: lückenlose Anbringung an Rohren, Armaturen und Pumpen.

### Anlagenbetrieb

- Heizkurve: niedriger einstellen, Nachtabenkung nicht zu lang und nicht zu tief
- Notheizstab: mit Hand ausschalten, um kontrollierten Betrieb zu ermöglichen; Heizbetrieb im Sommer vermeiden
- Einweisung: Nutzer mit der Bedienung und dem optimalen Betrieb der Wärmepumpe vertraut machen; auch bei Wärmepumpen ist eine Wartung notwendig.

Die Durchführung dieser Maßnahmen würde den Wärmepumpen einen deutlichen Umweltvorteil gegenüber Öl- oder Gaskesseln verschaffen und letztlich auch den Geldbeutel der Nutzer schonen.

### Aus- und Weiterbildung

Die Qualifizierung der Architekten und Handwerker ist ein wesentlicher Baustein für einen energieeffizienten Betrieb von Wärmepumpen. Planer und Installateure haben einen beachtlichen Einfluss auf die Höhe der Jahresarbeitszahl. Der Lernprozess bei diesen eher traditionellen Berufszweigen ist jedoch langsam. Darüber hinaus mangelt es noch an einem einheitlichen Ausbildungsstandard. Die Verbände und Hersteller sind deshalb aufgefordert, hier durch vermehrte Schulungen Abhilfe zu schaffen.

Diskutiert wird ein Monitoring staatlich geförderter Anlagen und die Überprüfung von Wärmepumpen durch unabhängige Energieexperten ein Jahr nach der Inbetriebnahme. Solche Kontrollen erhöhen den Druck zu mehr Qualität. Auch die garantierten Jahresarbeitszahlen in Verbindung mit handelsüblichen Wärmemengenzählern, vereinbart bei Vertragsabschluss, dienen dem gleichen Ziel. Ideen und Maßnahmen aus der Schweiz sollten auch in

Deutschland erprobt und ggf. eingeführt werden. Es handelt sich um eine Abkehr vom Denken in Einzelkomponenten hin zu Systemen: Die Hersteller entwickeln Wärmepumpen-System-Module für typische Anwendungen. Der Handwerker ist dann gehalten, ein geeignetes, bereits optimiertes Modul herauszusuchen und daran keine Änderungen mehr vorzunehmen. Er muss genau nach Pflichtenheft planen und installieren. Das gibt ihm die Sicherheit, die richtigen Komponenten und Regler mit einer ausgefeilten Strategie einzusetzen. Ziel ist es, mit solchen System-Modulen die garantierten Jahresarbeitszahlen auch in der Praxis zu erreichen.

## 5. Wärmepumpenmarkt und Förderung

Laut Bundesverband Wärmepumpe e.V.<sup>33</sup> sind derzeit ca. 610.000 Wärmepumpen mit ca. 2.400 MW Anschlussleistung in Betrieb, die ca. 4,3 TWh an elektrischer Energie benötigen. Das macht etwa 3 % des Bestands an den zentralen Wärmeerzeugern aus. Zusätzlich gibt es ca. 240.000 elektrische Warmwasser-Wärmepumpen mit ca. 131 MW Anschlussleistung. Etwa ein Drittel aller neuen Wohngebäude werden mit Wärmepumpen ausgestattet.

Nach einem Absatzhoch in 2008 (62.500 Stück) bzw. 2013 (60.000 Stück) war der Absatz von Wärmepumpen jeweils rückläufig. Gegenüber den neunziger Jahren hat sich der Absatz an Wärmepumpen jedoch mehr als verzehnfacht<sup>34</sup>.

2014 wurden 58.000 Wärmepumpen abgesetzt. 31,9 % davon waren Wärmepumpen mit der Wärmequelle Erdreich, 68,1 % nutzten die Außenluft als Wärmequelle. Dies spiegelt den zunehmenden Trend zur Luft-Wärmepumpe wieder. Trotz des rückläufigen Absatzes konnte der Absatz 2014 an Luft-Wärmepumpen gegenüber dem Vorjahr leicht zunehmen (+ 1,5 %), während der Absatz an Erdreich-Wärmepumpen stark zurückging (- 12,3 %). Nach Aussage des Bundesverbands Wärmepumpen ist zudem eine verstärkte Nachfrage in Richtung große Wohn- und Gewerbebauten zu verzeichnen, während die Nachfrage im Einfamilienhausbereich eher zurückgeht<sup>35</sup>.

Gemäß der Liste über Wärmepumpenfirmer des Bundesamts für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)<sup>36</sup> sind Wärmepumpen-Produkte von 116 Firmen förderfähig. 38 dieser Firmen stellen nur Luft-Wasser-Wärmepumpen her, 11 nur Erdreich-Wasser-Wärmepumpen und 4 nur Wasser-Wasser-Wärmepumpen. 40 Firmen produzieren das gesamte Sortiment – Luft-, Erdreich-, Wasser-Wasser-Wärmepumpen –, 11 Firmen nur Luft- und Erdreich-Wasser-Wärmepumpen.

Die Bundesregierung fördert über das BAFA die Errichtung von energieeffizienten Wärmepumpen bis einschließlich 100 kW Nennwärmeleistung mit Zuschüssen<sup>37</sup>. Die Wärmepumpen müssen zur Bereitstellung von Raumheizung, Warmwasserbereitung und/oder Prozesswärme dienen bzw. Wärme für Wärmenetze bereitstellen. Luft-Luft-Wärmepumpen und Wärmepumpen nur zur Warm-

wasserbereitung werden nicht gefördert. Die aktuellen Förderbedingungen finden sich unter [www.bafa.de](http://www.bafa.de).

Zusatzförderungen können gewährt werden, wenn gleichzeitig eine solarthermische Anlage oder eine Biomasseanlage installiert oder die Wärmepumpe an ein Wärmenetz angeschlossen wird. Eine weitere Zusatzförderung kommt in Frage, wenn die Heizungsanlage optimiert wird. Auch die Lastmanagementfähigkeit<sup>38</sup> der Wärmepumpe wird mit einem Bonus belohnt, wenn gleichzeitig ein Wärmespeicher mit mindestens 30 Liter pro kW elektrische Anschlussleistung installiert wird. Wird das Gebäude auf den Standard eines KfW-Effizienzhauses 55 modernisiert, kann der Gebäudeeffizienzbonus in Anspruch genommen werden.

Neben den Messeinrichtungen stellt die Fachunternehmererklärung mit dem Nachweis der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe die wichtigste Fördervoraussetzung dar. Die Luft-Wasser-Wärmepumpe muss eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,5 aufweisen, die Erdreich- oder Wasser-Wasser-Wärmepumpe von 3,8.

Desweiteren gibt es eine Innovationsförderung für (besonders) energieeffiziente Wärmepumpenkonzepte im Neubau oder im Gebäudebestand. Dabei handelt es sich um folgende Kombinationen<sup>39</sup>:

- Erdreich-Wasser-Wärmepumpe mit ergänzender Wärmequelle Luft oder Solarstrahlung, die eine Mindest-Jahresarbeitszahl von 4,3 erreichen muss,
- Luft-Wasser-Wärmepumpe mit ergänzender Wärmequelle Solarstrahlung und einer Mindest-Jahresarbeitszahl von 3,9,
- Wärmepumpe kombiniert mit einem Eisspeicher, Mindest-Jahresarbeitszahl 4,1 oder
- Wärmepumpe mit der Wärmequelle kalte Nahwärme, wenn mindestens fünf Gebäude angeschlossen sind.

Wärmepumpen zur Bereitstellung von Prozesswärme werden mit bis zu 30 % der Nettoinvestitionskosten gefördert. Die staatliche KfW-Bankengruppe fördert die Errichtung großer effizienter Wärmepumpen mit einer Nennwärmeleistung von mehr als 100 kW mit zinsgünstigen Krediten. Luft-Wasser- und Luft-Luft-Wärmepumpen werden nicht gefördert<sup>40</sup>.

## 6. Marktprognosen und energiewirtschaftliche Erwartungen an die Wärmepumpen

Der Bundesverband für Wärmepumpen erwartet für 2030 einen Bestand von ca. 1,8 bis 3,0 Mio. elektrischen Heizungs-Wärmepumpen, je nachdem ob der Modernisierungstau im Wesentlichen bestehen bleibt oder durch nach Ansicht des Verbands geeignete politische Maßnahmen aufgelöst wird. Der Anteil der Wärmepumpen am Wärmeerzeugermarkt würde dann 12 bis 18% betragen, und pro Jahr würden 93.000 bzw. 235.000 Stück abgesetzt. Hinzu kämen 23.500 bis 30.000 elektrische Warmwasser-Wärmepumpen pro Jahr<sup>41</sup>.

Der Wärmepumpenverband verweist darauf, dass auch „führende Forschungseinrichtungen“ eine „starke Rolle“ der Wärmepumpe befürworten<sup>42</sup>. So postuliert das IfE der Technischen Universität München<sup>43</sup> als Ziel für 2030 einen Wärmepumpenbestand von 3,5 Mio. Wärmepumpen, die 16,8 TWh an Strom verbrauchen würden, was gegenüber 2011 einen Mehrverbrauch an Strom von 13,5 TWh bedeuten würde.

Die Szenarien von Prognos AG und Ecofys Germany GmbH in ihrer Studie für das Bundeswirtschaftsministerium<sup>44</sup> weisen ebenfalls in diese Richtung. Nach ihrem Szenario „Kopplung“, das eine optimierte Stromführung der Wärmepumpe zugrunde legt, würde sich der jährliche Absatz an elektrischen Wärmepumpen 2030 auf 92.700 belaufen und der Bestand ca. 1.420.900 Wärmepumpen mit einer installierten elektrischen Leistung von 3,66 GW betragen. Das Szenario „Optimierung“ geht noch darüber hinaus und unterstellt, dass die Verbreitung der Wärmepumpe in Alt- und Neubau zusätzlich forciert wird. Danach könnte sich der Absatz auf 103.000 Wärmepumpen im Jahr 2030 steigern bei einem Bestand von etwas über 2.000.000 Wärmepumpen und 5,27 GW an installierter elektrischer Leistung. Prognos/Ecofys unterstellen bei beiden Szenarien eine erhebliche Steigerung der durchschnittlichen Jahresarbeitszahlen.

Von diesen Szenarien geht offensichtlich auch die Bundesregierung aus, wenn sie den Bestand an Wärmepumpen in 2020 mit etwa 1,1 Mio. abschätzt und für 2030 ca. 2 Mio. Wärmepumpen annimmt<sup>45</sup>.

Wie insbesondere in der Studie von Prognos/Ecofys deutlich wird, stützen sich diese Prognosen auf bestimmte Eigenschaften der Wärmepumpe, die sie nach deren Ansicht als besonders geeignet erscheinen lassen, eine wichtige Rolle im künftigen Strom- und Wärmemarkt zu spielen. Der Bundesverband Wärmepumpe e.V. fasst es so zusammen: „Die Wärmepumpe ist das einzige Heizsystem, deren Klimafreundlichkeit im Laufe der Lebensdauer weiter zunehmen wird“.

Dies wird zunächst begründet mit der „Hocheffizienz“ der Wärmepumpe selbst. Wie aber in den vorherigen Kapiteln deutlich wird, ist es mit der Proklamation guter Jahresarbeitszahlen bei der Installation der Wärmepumpe nicht getan, sondern die praktische Energieeffizienz der Wärmepumpe muss sich im Dauerbetrieb bewähren, wovon nicht automatisch ausgegangen werden kann.

Dies gibt auch die Bundesregierung zu: „Die sich im praktischen Betrieb ergebende Jahresarbeitszahl hängt von den praktischen Randbedingungen, u. a. von den Temperaturen der Quellmedien, ab. Da nicht sichergestellt werden kann, dass diese Randbedingungen identisch mit den Randbedingungen sind, die der Berechnung nach VDI 4650 zu Grunde liegen, kann auch nicht sichergestellt werden, dass die gleiche Jahresarbeitszahl erreicht wird.“ Mit den Richtlinien vom 11. März 2011 setzte sie sogar die Anforderungen an die Jahresarbeitszahlen wieder herunter, weil die Zahl der Anträge nach der Erhöhung der Anforderungen im Juli 2010 dramatisch absank. Sie wurden seitdem nicht mehr erhöht.

Die Bundesregierung verweist im Folgenden darauf, dass der Nutzer mittels des Wärmemenge- und Stromzählers die Energieeffizienz der Wärmepumpe im praktischen Betrieb selbst überprüfen kann<sup>46</sup>. Dies ist aber keine probate Lösung, auch beim Heizkessel kann sich der Nutzer darauf verlassen, dass der deklarierte Wirkungsgrad zuverlässig im Dauerbetrieb erzielt wird.

Prognos/Ecofys setzen in ihren Szenarien höhere durchschnittliche Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe als heute voraus. Die Ansatzpunkte für künftige Verbesse-

rungen werden aber nicht definiert. Die Bundesregierung gibt sich optimistisch: „Verbesserungspotenziale sind in allen genannten Bereichen (Eigenschaften der Wärmepumpenanlage, Energieeffizienz der verwendeten Pumpen, energetische Eigenschaften des Gebäudes und seines Heizungssystems, Qualität der Planung und Installation, Nutzerverhalten) vorhanden“<sup>47</sup>, aber gibt auch keine konkreten Hinweise. Die Energieeffizienz der Wärmepumpe durch die Nutzung mehrerer Wärmequellen zu erhöhen, wie es die Innovationsförderung vorsieht, ist technisch möglich, wird jedoch die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpe in noch weitere Ferne rücken.

Die Aussagen, die Wärmepumpe sei „hocheffizient“<sup>48</sup> (Bundesverband Wärmepumpe e.V.) bzw. die durchschnittlichen Jahresarbeitszahlen könnten weiter erhöht werden, können deshalb in dieser generellen Form wie gezeigt nicht aufrechterhalten werden.

Die Umweltfreundlichkeit der Wärmepumpe hängt auch vom sogenannten Strommix ab, das heißt, die Erzeugung des elektrischen Stroms mittels der Umwandlungen aus den verschiedenen Energieträgern. Wenn man den durchschnittlichen Strommix zugrunde legen würde, würde die Wärmepumpe in der Tat immer umweltfreundlicher, da der Anteil erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung voraussichtlich weiter steigen wird. Diese Schlussfolgerung ist jedoch allzu simpel. Die Wärmepumpen werden nämlich nicht nur in der Übergangszeit betrieben, sondern vor allem im Winter, wenn die Sonnenenergie kaum zur Verfügung steht. Die Windenergie bietet zwar günstigere Voraussetzung, allerdings nur zeitweise. Und Überschüsse gibt es vorerst nur in geringem Umfang. Daran wird sich absehbar nur wenig ändern, wenn die Bundesregierung nicht dagegen steuert. Der Grund: Sie hat im Jahre 2014 bereits die Photovoltaik und die Biomasse deutlich ausgebremst und wird das ab 2016 auch bei der Windkraft und Kraft-Wärme-Kopplung tun. Diese Maßnahmen machen den Einsatz von Elektro-Wärmepumpen nicht ökologischer.

Es ist also zu befürchten, dass die zusätzliche Stromnachfrage durch Wärmepumpen nach wie vor durch konventionelle Mittel- und Spitzenlastkraftwerke gedeckt werden müssen<sup>49</sup>. Nach der geltenden „merit order“ auf dem Strommarkt kommen die Kraftwerke mit den niedrigsten Grenzkosten zum Einsatz, also alte, abgeschriebene, wenig umweltfreundliche (Kohle-)Kraftwerke. Den tendenziell sinkenden CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den bundesweiten Strommix kann sich die Wärmepumpe also nicht zurechnen; Schaumburg und Seifried rechnen mit einem Faktor von 865 g/kWh Wärmepumpenstrom einschließlich der Netz- und Umspannverluste.

Nach Ansicht des Verbands<sup>50</sup> eignen sich Wärmepumpen besonders gut, um schrittweise eine energetische Vollsanierung vorzunehmen. Danach könnte der Spitzenlastkessel solange in Betrieb bleiben, bis die Dämmmaßnahmen abgeschlossen sind und die Wärmepumpe den Heizbedarf vollständig abdecken kann. Auch dies ist eine zu simple Betrachtungsweise, ein effizienter Betrieb der Wärmepumpe benötigt von vorneherein beispielsweise eine Niedertemperaturheizung, wovon in Altbauten nicht ausgegangen werden kann. Für eine schrittweise Modernisierung bedarf es außerdem keiner Wärmepumpe; zudem ist fraglich, ob eine Luft-Wasser-Wärmepumpe selbst nach energetischer Modernisierung den Wärmebedarf am kältesten Tag decken kann.

Im Gegenteil stehen Wärmepumpe und Wärmedämmung in einem (gewollten?) Gegensatz. Der Primärenergiefaktor für den Energieträger Strom wurde im Zuge der letzten Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV)<sup>51</sup> erneut gesenkt, jetzt auf 1,8, wiederum mit dem irreführenden Argument, dass der Anteil der erneuerbaren Energien am Strommix entsprechend gestiegen sei und somit das Heizen mit strombetriebenen Wärmepumpen sozusagen automatisch umweltfreundlicher würde. Wie gezeigt, geht diese Argumentation an der Wirklichkeit vorbei. Nach der Aufrechnungslogik der EnEV ist damit aber die fatale Folge verbunden, dass, je niedriger der Primärenergiefaktor, umso weniger in die Dämmung investiert werden muss. Dies ist ein Bären dienst an der energetischen Gebäudemodernisierung.

Als weiteres Argument für die Wärmepumpe wird angeführt, dass der Anteil der erneuerbaren Energien am Wärmemarkt durch die Wärmepumpen signifikant erhöht werden könnte. Hier stehen jedoch mit der Solarthermie und der Biomasse<sup>52</sup> wirtschaftlichere Alternativen zur Verfügung, deren Potenzial zunächst ausgeschöpft werden sollte, bevor teure Lösungen wie die Wärmepumpe zum Zuge kommen. Dem Einsatz von elektrischen Wärmepumpen steht überdies das Ziel entgegen, ca. 25% des Stromverbrauchs bis 2050 einzusparen. Dieses Ziel auf die „konventionellen“ Stromverbraucher zu reduzieren, würde wiederum erhebliche Probleme bei der angestrebten Verminderung des Primärenergieverbrauchs nach sich ziehen.

Als ein zentrales Argument der Befürworter von Wärmepumpen wird ihre mögliche Regelungsfähigkeit angeführt. Die Wärmepumpe kann, wenn eine entsprechende Leistungsregelung vorhanden ist, auch stromgeführt gefahren werden<sup>53</sup>. Weitere Voraussetzung dazu ist die Installation eines Pufferspeichers. Wärmepumpen könnten dann sozusagen die notwendige Verbindung von Strom- und Wärmemarkt bilden.

Nach der Argumentation der Wärmepumpen-Befürworter könnten die Wärmepumpen, wenn Überschüsse aus der Stromproduktion aus erneuerbaren Energien vorhanden sind, also bei negativer Residualenergie, – unabhängig vom Wärmebedarf – diesen Strom aufnehmen und die erzeugte Wärme ggf. in den Pufferspeicher leiten. Umgekehrt, ist die Stromnachfrage höher als die Erzeugung aus erneuerbaren Energien (positive Residualenergie), würden die Wärmepumpen, wiederum unabhängig vom Wärmebedarf, abgeschaltet. Ggf. benötigte Wärme müsste dann aus dem Pufferspeicher entnommen werden.

Nach Prognos/Ecofys wäre es durch die Wärmepumpen möglich, prinzipiell alle Regelleistungsarten zur Verfügung zu stellen. Als Lastmanagement sei die Wärmepumpe wesentlich kostengünstiger als Speicherkraftwerke zu beurteilen. Die jährlichen gesamtwirtschaftlichen Systembetriebskosten würden sich verringern, da weniger überschüssiger Erneuerbare-Energien-Strom abgeregelt werden müsste und der Systembetrieb sich dadurch energieeffizienter gestalten ließe<sup>54</sup>.

Dagegen müssen jedoch die Energieeffizienzverluste der Wärmepumpen gerechnet werden, die sich im stromgeführten Betrieb und durch den Pufferspeicher ergeben. Die zusätzliche Stromnachfrage, die durch die Wärmepumpen verursacht wird, kann nicht durch Überschussenergie gedeckt werden. Im Gegenteil wird, wie gezeigt, zusätzliche Residualenergie in der kritischen Winterzeit benötigt<sup>55</sup>. Dieser Bedarf muss aus konventionellen Quellen gedeckt werden. Ein weitergehender Absatz an Wärmepumpen und die Erhöhung des Bestands an Wärmepumpen stellt sich insofern kontraproduktiv zu den Ausbauzielen der erneuerbaren Energien auf dem Strommarkt dar<sup>56</sup>.

In der Studie von Prognos/Ecofys wurde außerdem versäumt, der Wärmepumpe kostengünstige Alternativen zur Regelung des Überschussstroms wie insbesondere das Lastmanagement der Nachfrage gegenüberzustellen.

## 7. Forderungen des BUND

Wärmepumpen können einen hohen Beitrag zum Klimaschutz leisten, wenn die Rahmenbedingungen stimmen und die Komponenten und Systeme fachgerecht geplant, eingebaut und betrieben werden. Dazu ist es aber erforderlich, das bisher schwache Energieeffizienzziel von JAZ = 3,0 anzuheben. Das gilt auch für die bisherigen Mindestgrenzen für eine Förderung, die zwischen JAZ = 3,5 und 4,0 liegen. Nur so besteht ein Anreiz für Hersteller, Architekten und Handwerker, hinreichend energieeffiziente Wärmepumpen zu bauen bzw. zu installieren. Der BUND fordert deshalb,

- das Mindest-Energieeffizienzziel auf JAZ = 4,0 anzuheben,
- die Mindest-Förderung auf JAZ = 5,0 anzuheben,
- die JAZ-Werte durch Hersteller und Handwerker garantieren zu lassen,
- eine unabhängige Überprüfung der Wärmepumpen ein Jahr nach der Installation
- die schon lange geplante Evaluierung von geförderten Anlagen auch durchzuführen und
- den in der Energieeinsparverordnung 2016 festgelegten Primärenergiefaktor für Strom in Höhe von 1,8 wieder der Realität anzupassen, um strombasierten Heizsystemen, insbesondere den Wärmepumpen, keine ungerechtfertigten Vorteile zu verschaffen.

Die genannten JAZ-Werte müssen Praxismittelwerte sein, also weder auf einem Teststand ermittelt, noch nach einer Richtlinie berechnet. Auf so hohe Werte kommen Luft-Wärmepumpen jedoch nicht. Der BUND rät deshalb vom Einsatz solcher Heiz-, Warmwasser- und Abluft-Wärmepumpen ab. Erdgekoppelte Wärmepumpen können dagegen, wie Praxisuntersuchungen gezeigt haben (Kapitel 4.2), auf JAZ-Werte zwischen 4,0 und 4,5 kommen, solche mit innovativen Merkmalen sogar auf JAZ = 5,0 und mehr. Auch wenn der Anteil der erneuerbaren Energien am deutschen Strommix steigen sollte – die Voraussetzung sind wegen des Abwürgens der Energiewende zwischen den Jahren 2014 bis 2016 schlecht – ist es dennoch notwendig, auf den genannten hohen Jahresarbeitszahlen zu beharren. Schließlich ist es sinnlos, energieeffizienzschwache Wärmepumpen mit Strom aus erneuerbaren

Energien für den Klimaschutz ertüchtigen. Der wertvolle Ökostrom sollte lieber stromspezifischen Anwendung, wie z.B. Licht oder Motoren, vorbehalten bleiben und nicht einfach in Wärme umgewandelt werden.

Ein Mittel, die anspruchsvollen Energieeffizienzwerte zu erreichen, könnte nicht nur die in Kapitel 4.3 erwähnte verbesserte und einheitliche Aus- und Weiterbildung sein, sondern auch Wärmepumpen-System-Module. Die Idee stammt aus der Schweiz: Planer und Handwerker erhalten typische, bereits optimierte Vorlagen (Module) für Wärmepumpensysteme. Sie suchen sich ein passendes Modul für den vorliegenden Fall heraus, und danach muss installiert werden – ohne Abweichungen. Es besteht die Hoffnung, so die Anzahl der Fehler zu minimieren. Der BUND rät, die Schweizer Pläne zu verfolgen und bei einem Erfolg auch in Deutschland einzuführen.

Der propagierten energiewirtschaftlichen Rolle der Wärmepumpen, über den stromgeführten Betrieb einen signifikanten Beitrag zur Regelleistung zu stellen, kann der BUND jedoch nicht beipflichten. Dies würde die Bemühungen zur Energieeffizienzerhöhung konterkarieren und zudem weiteren Bedarf an Residualenergie hervorbringen.

Autoren: Dr. Falk Auer, Gabriele Purper

Verabschiedet im AK Energie November 2015

## Teil II: „Power to Heat“

Neben der Nutzung von Strom zum Heizen mittels Wärmepumpen wird zunehmend in Hinblick auf zeitweilige Überschüsse der Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien die Verwendung dieses Stroms zu Heizzwecken bzw. generell die Wandlung in Wärme diskutiert. Der BUND nimmt daher Stellung zur Methodik „Power to Heat“

Das Angebot an Strom und die Nachfrage nach Strom müssen zu jeder Zeit und an jedem Ort zur Deckung gebracht werden. Sonnen- und Windenergie zur Stromerzeugung stehen jedoch nicht „auf Knopfdruck“ zur Verfügung. Es kann deshalb vorkommen, dass zu Spitzenlastzeiten der Stromnachfrage kein ausreichendes Angebot an Sonnen- und/oder Windenergiestrom vorhanden ist, also eine „Deckungslücke“ an erneuerbarem Strom besteht, oder dass umgekehrt, bei relativ schwacher Nachfrage und starkem Sonnen-/Windangebot, ein „Überangebot“ an Strom aus erneuerbaren Energien entsteht. Dieses „Überangebot“ wird kurz als „Erneuerbare-Energien-Überschussstrom“ (EE-Überschussstrom) bezeichnet.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, diesen EE-Überschussstrom zu verwenden bzw. gar nicht erst entstehen zu lassen. „Power to Heat“, eine gängige Kurzformel für die Verwendung dieses Stroms zur Wärmeversorgung, ist eine davon. Im Folgenden wird kurz dargestellt, um welche Mengen an EE-Überschussstrom es sich derzeit und in Zukunft handeln wird, welche grundsätzlichen Möglichkeiten es zur Regulierung und Verwendung gibt, welche Techniken speziell für „Power to Heat“ in Frage kommen und wie diese Option insgesamt zu bewerten ist.

### Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien

Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ist in Deutschland in den letzten beiden Jahrzehnten beträchtlich angestiegen: Betrug der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch 1990 erst 3,1 %, so belief er sich im Jahr 2014 bereits auf 27,4 % (insgesamt 161,4 Terawattstunden – TWh –). Die Windenergie bestritt davon den größten Teil mit 9,7 %, es folgten die Stromerzeugung aus Biomasse mit 8,3 %, mittels Photovoltaik mit 6,0 %

und Wasserkraft mit 3,3 % am Bruttostromverbrauch<sup>57</sup>.

Auch bei der Kraftwerksleistung stellen die Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien inzwischen einen beträchtlichen Anteil, nämlich 46,3 % (knapp 91 Gigawatt – GW) der Gesamtleistung von 196 GW (jeweils Ende 2014). Dabei handelt es sich überwiegend um Photovoltaikanlagen und Windenergieanlagen (jeweils 38 GW)<sup>58</sup>.

Die Bundesregierung hat folgende Ziele<sup>59</sup> hinsichtlich des Anteils der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch in ihrem „Energiekonzept 2050“ gesetzt: 2020 soll dieser Anteil 35 % betragen und sich bis 2030 auf 50 % sowie bis 2050 auf 80 % erhöhen. Es kann bereits jetzt als sicher gelten, dass das mittelfristige Ziel in 2020 erreicht werden wird. Wind- und Sonnenenergieanlagen werden auch beim Zuwachs den hauptsächlichen Anteil stellen.

### „Überschussstrom“ aus erneuerbaren Energien

Aus den vorangegangenen Angaben werden die grundlegenden Veränderungen des Energiesystems im Ansatz deutlich: Die Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, insbesondere diejenigen zur Nutzung der „fluktuierenden“ Energien Wind und Sonne, werden zunehmend zu den „leitenden Systemen“<sup>60</sup>, an denen sich das übrige System ausrichten muss.

Beim EE-Überschussstrom kommt es auf die Höhe der Überschuss-Leistung an, deren Zeitdauer und Entwicklung während dieser Zeitdauer sowie auf die Häufigkeit, mit der dieser Zustand eintritt. Es kann sich auch um eine regionale Disparität handeln, wenn zum Beispiel in Schleswig-Holstein bei starkem Windaufkommen der erzeugte Strom an Ort und Stelle nicht verbraucht werden kann, und nicht ausreichend Netzkapazitäten vorhanden sind, um den überschüssigen Strom in Gebiete mit höherer Nachfrage, zum Beispiel in Süddeutschland, zu leiten. Wenn in diesen Situationen keine Ausgleichsmaßnahmen vorgenommen werden, müssen Wind- und/oder Photovoltaikanlagen abgeschaltet werden, was sich negativ auf deren Wirtschaftlichkeit auswirkt.

Nach übereinstimmender Meinung ist das Ausmaß des EE-Überschussstroms bislang relativ gering und hat noch zu keinen gravierenden Auswirkungen geführt. Zum einen steigt die Menge jedoch an, zum anderen gibt es durchaus bereits regionale Ungleichgewichte.

Nach Angaben der Bundesnetzagentur und des Bundeskartellamtes betrug die Ausfallarbeit, das heißt die „gesamten, potentiell erzeugbaren, jedoch nicht eingespeisten Jahresarbeitsmengen aus erneuerbaren Energien“ im Jahr 2013 555 Gigawattstunden (GWh)<sup>61</sup>, das waren 0,44 % der gesamten Erzeugungsmenge von EEG-vergütungsfähigen Anlagen<sup>62</sup>. Damit hat die Aussage der AG 3 der Plattform „Erneuerbare Energien“, dass bislang weniger als 1 % der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien abgeregelt werden musste, nach wie vor Gültigkeit<sup>63</sup>.

Die Windenergieanlagen waren mit 86,6 % am stärksten von der Ausfallarbeit betroffen. 95 % der gesamten Ausfallarbeit entfielen auf die nördlichen Bundesländer<sup>64</sup>. In der Tendenz bestätigt dies frühere Angaben des zuständigen Ministeriums in Schleswig-Holstein, das die Ausfallarbeit durch Abregelung für das Jahr 2011 mit 308 GWh angab und für 2012 eine Ausfallarbeit von 346 GWh prognostizierte<sup>65</sup>.

Wie die Vergangenheit schon zeigt, wird sich das Problem des EE-Überschussstroms mit zunehmendem Anteil der Windenergie- und Photovoltaikanlagen tendenziell verschärfen. In der Literatur herrschen über das Ausmaß dieses künftigen Überschussstroms unterschiedliche Ansichten, je nachdem welcher Anteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung zugrunde gelegt werden, welche Netzkapazitäten unterstellt werden und welche Ausgleichsmaßnahmen angenommen werden.

Das IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gibt einen Überblick über verschiedene Abschätzungen für das Jahr 2020. Je nachdem welche Maßnahmen angenommen werden, belaufen sich die Schätzungen über den Umfang an EE-Überschussstrom zwischen 0,26 TWh und 27,7 TWh und der entsprechenden Leistungen zwischen 9,8 und 21,4 GW<sup>66</sup>.

Als Grundlage sind weiterhin die Angaben in der BET-Studie<sup>67</sup> nützlich, da sie zunächst keine besonderen Maßnahmen unterstellen. Für 2020 wird von BET angenommen, dass sich der Überschussstrom auf etwa 0,9 % der gesamten Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien belaufen wird, es während einiger Stunden zu EE-Überschüssen bis zu 25,7 GW kommen kann und die maximale Zeitdauer 15 Stunden betragen kann. Bis 2030 könnten diese Situationen vermehrt auftreten und der Anteil des EE-Überschussstroms an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sich bereits auf bis zu 7,7 % erhöhen. Die maximale Überschussleistung könnte auf bis zu 84 GW ansteigen, ebenso die Zeitdauer auf bis zu 55 Stunden.

Als Beispiele für Prognosen, die den Ausbau flexibler Systeme<sup>68</sup> unterstellen, können die Studien der DLR<sup>69</sup> und des DIW<sup>70</sup> dienen. Für das Jahr 2030 hält die DLR bei voller Flexibilität und ausgebauten Stromnetzen die fast vollständige Integration des Stroms aus erneuerbaren Energien für möglich. Das DIW geht für 2032 – unter der Annahme eines flexiblen Systems – von 471 Stunden aus, in denen EE-Überschussstrom entstehen würde, der sich lediglich in 14 Stunden auf mehr als 30 GW belaufen würde. Insgesamt würde der EE-Überschussstrom nicht mehr als 4,4 TWh betragen, was weniger als 2 % der maximal möglichen Gesamtleistung von Wind und Sonne ausmachen würde.

Sollten die Flexibilisierungsoptionen allerdings nicht umgesetzt werden, prognostiziert das DIW den Anteil des EE-Überschussstroms an der maximal möglichen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien mit 18 %<sup>71</sup>.

### **Handhabung des EE-Überschussstroms**

Prinzipiell gibt es zwei Herangehensweisen, um dem Problem des EE-Überschussstroms zu begegnen: Man kann das Energiesystem flexibler gestalten, um Überschussstrom gar nicht erst entstehen zu lassen oder man kann ihn für flexible Anwendungen nutzen.

Zur ersten Kategorie zählen nachfrageseitige Maßnahmen, der Netzausbau und die Reduzierung der „must-run“ Fahrweise konventioneller Kraftwerke.

- Beim Lastmanagement werden flexible Stromnachfrager in Industrie, Gewerbe und Haushalten dann eingeschaltet, wenn Strom aus erneuerbaren Energien zur Verfügung steht. Die Stromnachfrage wird dabei nicht erhöht, sondern verschiebt sich nur zeitlich, was zugleich wirtschaftlich und umweltfreundlich ist.
- Der (überregionale) Netzausbau erlaubt den Transport des Stroms aus erneuerbaren Energien in die (aktuellen) Verbrauchsschwerpunkte.
- „Must-run“ ist die systemweite Mindesterzeugung zur Stabilisierung der Netzfrequenz. Es ist zu prüfen, inwie-

weit diese „System-Dienstleistung“ von Wind- und Photovoltaikanlagen übernommen werden kann.

Zur zweiten Kategorie der Verwendung des EE-Überschussstroms werden derzeit insbesondere drei Varianten diskutiert: die Speicherung des Überschussstroms sowie die Strategien „Power to Heat“ und „Power to Gas“<sup>72</sup>.

- Die Speicherung des EE-Überschussstroms stößt bis auf Weiteres auf reale Grenzen: Der Bau neuer Pumpspeicherwerke in Deutschland ist aus ökologischen Gründen kaum zu erwarten. Die bisherigen sonstigen Stromspeicher sind aufwendig und kostenintensiv. Ob Forschung und Entwicklung hier zu technischen Lösungen kommen werden, die einen breiten Einsatz gestatten, ist abzuwarten.



Abb. 3: Mainova nimmt Power-to-Heat“-Anlage in Betrieb

- „Power to Gas“ hat den grundsätzlichen Vorteil, dass das durch EE-Überschussstrom gewonnene Methan zu jeder beliebigen Zeit und an jedem beliebigen Ort wieder zur Stromerzeugung genutzt werden kann. Es bedarf allerdings noch weiterer technologischer Entwicklung, um den Wirkungsgrad des Gesamtsystems zu erhöhen. Es handelt sich also um eine längerfristige Option, deren Anwendung derzeit noch nicht zur Diskussion steht.
- Demgegenüber ist „Power to Heat“, die Nutzung des EE-Überschussstroms für Wärmeanwendungen, bereits heute, oft ohne größere Zusatzinvestitionen, nutzbar und findet dementsprechend Befürworter.

### **Einsatztechniken für „Power to Heat“**

Der EE-Überschussstrom kann in allen elektrischen Heizsystemen eingesetzt werden. In Frage kommen Direktheizsysteme, Wärmepumpen und (große) Elektrokessel.

Der mit wenigen Kilowatt Anschlussleistung versehene elektrische Heizstab ist die einfachste Form der Direktheizung. Es ist ein technisch anspruchsloses und kostengünstiges Zusatzgerät, das in der Regel in einem Wärmespeicher eingesetzt wird und nur wenige Stunden im Jahr betrieben wird.

Die verbreitetste Form der Direktheizung ist die Nachtspeicherheizung. Diese Einzelöfen werden zu vereinbarten Zeiten mit Strom aufgeladen, speichern die Wärme und geben sie nach und nach an die Umgebung ab. Nachtspeicherheizungen waren in den früheren Jahrzehnten attraktiv zum einen für die Versorgungsunternehmen, die ihre damaligen Stromschwachlastzeiten („Nacht-täler“) damit auffüllen konnten und zum anderen für die Nutzer, da der Einbau von Nachtspeicherheizungen keine größeren Investitionen erforderte und die Versorgungsunternehmen zudem günstige Tarife boten.

Der Bestand an Nachtspeicherheizungen in der Bundesrepublik beläuft sich derzeit auf etwa 1,6 Mio. mit einem Stromverbrauch von 10 bis 15 TWh jährlich, was etwa 2 bis 3 % des gesamten Stromverbrauchs ausmacht<sup>73</sup>.

Nachtspeicherheizungen sind das ineffizienteste Heizsystem und auch elektritätswirtschaftlich veraltet; „Nacht-täler“ spielen überdies keine Rolle mehr. Die Bundesregierung hatte deshalb in der Energiesparverordnung 2009<sup>74</sup> in einem neuen § 10 a verfügt, dass die bestehenden Nachtspeicherspeicherheizungen innerhalb von 30 Jahren zu ersetzen seien und neue nicht mehr installiert werden dürfen. Dieser Paragraph wurde jedoch wieder aufgehoben<sup>75</sup>, – maßgeblich mit dem Argument, EE-Überschussstrom in Nachtspeicherspeicherheizungen einzusetzen.

Elektrische Wärmepumpen nutzen erneuerbare Energien aus der Umgebung, die sie mittels Strom auf das für das Heizsystem erforderliche Temperaturniveau „hochpumpen“. Voraussetzung für monovalente Wärmepumpen ist eine Niedertemperaturheizung; Luft-Wasser-Wärmepumpen benötigen in der Regel eine Zusatzheizung. In Passivhäusern haben sich kleine Kompakt-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung und Lüftung bewährt, die auch ggf. die Rest-Wärmeversorgung an kalten Tagen bereitstellen.

Wärmepumpen kamen in den siebziger Jahren auf den Markt, stießen nach einem kurzen Aufschwung jedoch auf wenig Resonanz, da die Technologie für Nutzer und Handwerk zu aufwendig war und überdies an Heizsystemen zur Nutzung erneuerbarer Energien noch kein Bedarf zu sein schien. Dies hat sich im letzten Jahrzehnt geändert. Der aktuelle Bestand beträgt etwa 610.000 Wärmepumpen mit 2.400 MW Anschlussleistung und einer Abgabe von ca. 4,3 TWh an elektrischer Energie. Hinzu kommen 240.000 Warmwasser-Wärmepumpen mit 131 MW Anschlussleistung<sup>76</sup>; von einem weiteren starken Anstieg ist auszugehen.

Die Jahresarbeitszahl ist die Kennzahl für die Effizienz des Wärmepumpensystems. Sie bezeichnet das Verhältnis von der abgegebenen Wärmemenge zur eingesetzten Strommenge für den Betrieb der Wärmepumpe. Eine Wärmepumpe gilt als „effizient“, wenn die Jahresarbeitszahl mehr als 3 beträgt, als „nennenswert energieeffizient“, wenn sie über 3,5 liegt<sup>77</sup>. In einem der wenigen Feldversuche hat die Lokale Agenda 21 Gruppe Energie in Lahr nachgewiesen, dass die gemessenen Erdreich-Wärmepumpen eine durch-

schnittliche Jahresarbeitszahl von 3,4 erzielt haben, die Grundwasser-Wärmepumpen von 3,2 und die Luft-Wärmepumpen von 2,8<sup>78</sup>. Der Feldtest des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme bestätigt diese Ergebnisse in der Tendenz: mittlere Arbeitszahlen von 3,9 für Erdreich-Wärmepumpen und 2,9 für Luft-Wärmepumpen<sup>79</sup>.

Wärmepumpensysteme sind erheblich teurer als konventionelle Systeme. Zudem arbeiten Luft-Wärmepumpen bei tieferen Umgebungstemperaturen energieineffizient und Erdsonden-Wärmepumpen erfordern einen höheren Aufwand zur Erschließung der Wärmequelle. Die Kosten werden sich auch in Zukunft kaum senken lassen. Ob sich weitere technische Verbesserungen mit der Folge einer höheren Energieeffizienz erreichen lassen, wie das IFEU referiert<sup>80</sup>, erscheint fraglich.

Die Versorgungsunternehmen bieten oftmals spezielle Wärmepumpentarife an, damit sie auch in der Wärmeversorgung präsent bleiben. Diese Tarife sind mit einer Abschaltregelung verbunden, das heißt, zu vereinbarten Zeiten kann das Versorgungsunternehmen die Wärmepumpe mittels Rundsteueranlage vom Netz nehmen<sup>81</sup>.

Die Wärmepumpe weist gegenüber der Nachtstromspeicherheizung mehrere Vorteile auf. Sie nutzt erneuerbare Energien, wenn die Jahresarbeitszahl über 3,0 liegt, benötigt auch im Sommer Strom für die Warmwasserbereitung und ist durch die Rundsteueranlage problemlos regelbar. Diese Eigenschaften machen sie auch in den Augen der Befürworter für die Verwendung von EE-Überschussstrom attraktiv.

Eine weitere Möglichkeit, EE-Überschussstrom für Wärmeanwendungen zu nutzen, sind (große) Elektrokessel, die die erzeugte Wärme in Nah-/Fernwärmenetzen und/oder Wärmespeichern einspeisen. Elektrokessel sind mit ihren geringen Investitionskosten<sup>82</sup> vergleichsweise preiswert. Die Einspeisung in zentrale Netze ist wirtschaftlicher als die Einspeisung in viele kleine dezentrale Einheiten<sup>83</sup>. Die Stadtwerke Flensburg und Lemgo nutzen bereits diese Möglichkeit für ihre Fernwärmeversorgung. Mit dem Angebot der Leistung des Elektrokessels als „negative

Regelleistung“ zur Zeiten des EE-Überschussstroms lässt sich zusätzlich ein Deckungsbeitrag erzielen.

## **Bewertung**

Die Befürworter von „Power to Heat“ sehen als Vorteil dieser Strategie, dass der EE-Überschussstrom flexibel in eine weitgehend vorhandene Infrastruktur (die bestehenden elektrischen Heizsysteme, deren Steuerung und Regelung) eingespeist werden kann. Die Versorgungsunternehmen haben darauf den direkten Zugriff, der EE-Überschussstrom lässt sich so auch ökonomisch gut verwerten. Auch ökologisch kann mit Strom aus erneuerbaren Energien argumentiert werden. „Power to Heat“ stärkt somit die Verbindung zwischen der Strom- und der elektrischen Wärmeversorgung<sup>84</sup>.

Diese Argumentation ist jedoch nur kurzfristig und partiell angelegt. Es muss immer das gesamte Strom- und Wärmeversorgungssystem betrachtet werden, um eine korrekte Bewertung zu ermöglichen.

Auch die energiepolitischen Zielsetzungen beschränken sich nicht auf den Ausbau der erneuerbaren Energien. Um die angestrebte Vollversorgung mittels der erneuerbaren Energien zu ermöglichen, ist bis zum Jahr 2050 eine mindestens hälftige Senkung des Primärenergieverbrauchs erforderlich. Dabei soll der Bruttostromverbrauch um 25 % gesenkt werden<sup>85</sup>. Dieses sind außerordentlich ehrgeizige Ziele, die es erforderlich machen, die Beeinflussung der Nachfrage als erste Option zu prüfen und ggf. zu realisieren.

Der Stromverbrauch wird in der Tendenz allein durch den technologischen Fortschritt steigen. Um das Stromsparziel erreichen zu können, sind deshalb nicht nur alle machbaren Energieeffizienzmaßnahmen umzusetzen, sondern es erfordert auch, alle Anwendungen, die nicht auf Strom als Energieträger angewiesen sind, einer kritischen Prüfung zu unterziehen. Dazu gehört auch die Wärmeversorgung.

EE-Überschussstrom fällt nur in vergleichsweise wenigen Stunden an und ist weder zeitlich noch räumlich kalkulierbar. Zeiten und Orte fallen nicht unbedingt mit dem

Wärmebedarf zusammen. Auch das Gesamtangebot an Wind- und Sonnenstrom deckt sich nicht zu allen Zeiten mit dem Wärmebedarf. Es ist also notwendig, die volle Leistung der Wärmeversorgung durch andere Erzeugungsanlagen bereitzuhalten. Es entsteht damit zusätzlicher Bedarf an Leistung und an Arbeit für einen Anwendungsbereich, der nicht auf Strom angewiesen ist. „Power to Heat“ vermittelt somit Anreize für den zusätzlichen Ausbau an Stromerzeugungskapazitäten für die Wärmeversorgung, was die Erreichung des Stromeinsparziels weiter erschweren würde.

Dieses Argument lässt sich auch nicht entkräften, wenn man den bislang noch relativ geringen Anteil der erneuerbaren Energien an der Wärmeversorgung entgegenhält. Hier sind die Potenziale der thermischen Sonnenenergienutzung und der Biomassenutzung für die Wärmeversorgung noch lange nicht ausgeschöpft.

Die neuen „Leitsysteme“ der Energiewirtschaft erfordern eine Gesamtsicht von Anlagen, Erzeugung, Netzen und Speichern. Außerdem muss die Wärmeversorgung einbezogen werden. Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien, Netze, ggf. Stromspeicher sollten mit Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und deren Wärmenetze und -speicher in regionalen Systemen „zusammenarbeiten“. Die isolierte Verbindung von EE-Überschussstrom und elektrischen Heizungen passt nicht in ein solches System und verhindert dessen Optimierung.

Dies schließt Einzelanwendungen nicht aus. Der geringfügige Einsatz eines elektrischen Heizstabs kann kostengünstig sinnvoll sein, ebenso die Verwendung von großen Elektrokesseln, die quasi als Heizstab in größeren Wärmenetzen und -speichern fungieren. „Power to Heat“ hat in diesen Fällen aber keine strategische Bedeutung.

## Fazit

„Power to Heat“ erscheint heute als eine bequeme, sofort machbare und wirtschaftliche Verwendung des EE-Überschussstroms. Zudem ist es attraktiv für die Stromversorgungsunternehmen, da es sich in ihre Marketingstrategie für den Wärmemarkt gut einfügt und überdies zur Wirtschaftlichkeit beiträgt.

„Power to Heat“ muss jedoch wie alle stromwirtschaftlichen Strategien an den energiepolitischen Zielen und Erfordernissen gemessen werden.

- Danach sind zunächst alle Optionen zu nutzen, die EE-Überschussstrom erst gar nicht entstehen lassen. Lastmanagement, Stromeffizienz, verfeinerte Methoden zur Vorhersage des Aufkommens von Wind- und Sonnenenergie und Übernahme der must-run Bereitstellung soweit wie möglich sind also die vorrangigen Maßnahmen.
- Als nächstes wäre der dann noch vorhandene EE-Überschussstrom beim Aufbau einer auf regionalen virtuellen Kraftwerken und Netzen basierenden zukünftigen Strominfrastruktur einzubinden. Dies könnte einen kurzfristigen „Heizstab“-Betrieb in kleineren oder größeren Wärmenetzen einschließen.
- Der dritte Schritt würde die Einspeisung des restlichen EE-Überschussstromes in überregionale Netze sein.

Auf diese Weise sollte das Problem des EE-Überschussstroms zu lösen sein, ohne dass dafür in größerem Maßstab der Einsatz in Wärmeanwendungen erforderlich werden wird.

Autorin: Gabriele Purper

Verabschiedet im AK Energie März 2014

# Quellenangaben

- 1 Siehe Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, Beschluss des Bundeskabinetts vom 28. Sept. 2010
- 2 Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012 zur Energieeffizienz, zur Änderung der Richtlinien 2009/125/EG und 2010/30/EU und zur Aufhebung der Richtlinien 2004/8/EG und 2006/32/EG, Amtsblatt der Europäischen Union L 315/1 (EU-Energieeffizienz-Richtlinie)
- 3 Siehe Energiekonzept, a.a.O.
- 4 BUND Position 63, Energieeffizienz im Strom und Wärmebereich, Berlin 20015 [https://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/150818\\_bund\\_energie\\_energieeffizienz\\_position.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/150818_bund_energie_energieeffizienz_position.pdf)
- 5 Siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: Endenergieverbrauch nach Anwendungsbereichen I, [www.bmwi.de](http://www.bmwi.de)
- 6 Siehe AG Energiebilanzen e.V.: Anwendungsbilanzen für die Endenergiesektoren in Deutschland in den Jahren 2011 und 2012 mit Zeitreihen von 2008 bis 2012, Berlin, Nov. 2013
- 7 Siehe Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit, [www.bmub.bund.de](http://www.bmub.bund.de), Stichwort "Gebäudesanierung" vom 14.11.2014
- 8 Siehe Mitteilung der Regierung der Bundesrepublik Deutschland an die Kommission der Europäischen Union vom 16. April 2014, Bericht über die langfristige Strategie zur Mobilisierung von Investitionen in die Renovierung des nationalen Gebäudebestands gemäß Artikel 4 Energieeffizienzrichtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Oktober 2012
- 9 Siehe Deutschlands Zukunft gestalten, Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD, 18. Legislaturperiode
- 10 Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG) vom 7. Aug. 2009 (BGBl. I S. 1658), zuletzt geändert durch Artikel 14 des Gesetzes vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066)
- 11 Siehe Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (ZIV): Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks für 2014, Jahr 2014
- 12 = Brennwertechnik bzw. neue Heizsysteme wie Wärmepumpe oder Biomassekessel, siehe BDH Bundesverband der Deutschen Heizungsindustrie [www.bdh-koeln.de](http://www.bdh-koeln.de), 25.6.2015 Pressemitteilung „Heizungsanlagenbestand 2014: Keine Wärmewende in Sicht“
- 13 Siehe Pressemitteilung vom 11.3.2015. Der Wärmeverbrauch betrug 2014 1.320 Mrd. kWh, davon wurden 131 Mrd. kWh durch erneuerbare Energien bereitgestellt.
- 14 Siehe Bundesverband Wärmepumpe e.V.; Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik IWES, Geschäftsmodell Energiewende. Eine Antwort auf das „Die-Kosten-der-Energiewende“-Argument, Kassel Jan 2014; D. Kalz, Fraunhofer ISE: Energetische und energiewirtschaftliche Analyse von Wärmepumpen; R.-M. Lüking: -Wärmewende. Brennstoffeffizienz im Strom- und Wärmebereich; Deutscher Bundestag Drucksache 17/9214 17. Wahlperiode 28. 03. 2012 Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Hans-Josef Fell, Oliver Krischer, Ingrid Nestle, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/8974 – Förderung von Wärmepumpen
- 15 Näheres dazu in Kap. 4.2
- 16 Das Potenzial der Grundwassergespeisten Wärmepumpe ist lokal sehr unterschiedlich. Generell gilt, dass es in der Nähe von Gewässern erster Ordnung am größten ist. Einige Städte und Gemeinden verfügen bereits über detaillierte Informationen über die lokalen Potenziale und Restriktionen, die sich aus dem Grundwasserschutz ergeben.
- 17 Siehe Kap. 4.4
- 18 BUND Position 61 Solarthermie- Wärme von der Sonne, Berlin 2013, [http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/130711\\_bund\\_klima\\_und\\_energie\\_solarthermie\\_position.pdf](http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/130711_bund_klima_und_energie_solarthermie_position.pdf)
- 19 Siehe Kap. 7
- 20 Siehe Anlage Anforderungen an die Nutzung von Erneuerbaren Energien und Ersatzmaßnahmen, III
- 21 Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme (ISE), FIZ Karlsruhe: Elektrische Wärmepumpen – Aktuelle Ergebnisse aus Forschung und Feldtests, BINE-Themeninfo I/2013
- 22 Siehe Vergleich der Betriebswirtschaftlichkeit zwischen Erdgaskessel (Referenz) und Luft- und Erdsonden-Wärmepumpe (2013) unter [www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html)
- 23 Forschungsverbund Erneuerbarer Energien (FVEE): Erneuerbare Energien im Wärmesektor – Aufgaben, Empfehlungen und Perspektiven, Berlin, Sept. 2015
- 24 Siehe Kap. 7
- 25 Nur weil ein Bauherr bei einem Passivhaus die Zuluft erst noch über einen 100 m langen Erdkollektor leitete, konnte er die Jahresarbeitszahl von 2,8 auf 3,3 anheben. Siehe Schlussbericht Phase 1 „Feldtest Wärmepumpe“ der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr (2009), Abluft-Wärmepumpe in einem Passivhaus, Seiten 14 – 16 unter [www.agenda-energie-lahr.de/WP\\_FeldtestPhase1.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase1.html)
- 26 Siehe Kap. 4.2
- 27 Siehe Kap. 4.2
- 28 Siehe W. Schulz, Ch. Brandstät: Flexibilitätsreserven aus dem Wärmemarkt, Bochum, Dez. 2013
- 29 Siehe Schlussbericht Phasen 1 und 2 „Feldtest Wärmepumpen“ der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr (2014), S. 3 bis 6 unter [www.agenda-energie-lahr.de/WP\\_FeldtestPhase2.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html)
- 30 Siehe Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE): Zwischenergebnisse aus Wärmepumpen-Felduntersuchungen, 2009, Vortrag anlässlich eines Wärmepumpen-Symposiums am 29. Okt. 2009 in Karlsruhe
- 31 Siehe Einzelberichte mit den Wärmepumpen-Nummern 2301 und 2302 im Rahmen des „Feldtests Wärmepumpen“, Phase 2, der Lokalen Agenda 21 – Gruppe Energie Lahr über die Kohlenstoffdioxid-Erdsonden-Wärmepumpe (2010) bzw. ein Direktverdampfersystem (2013) unter [www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html)
- 32 Einzelberichte mit den Wärmepumpen-Nummern 2401 und 2402 über solarunterstützte Wärmepumpen (2012 und 2014) unter [www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/Phase2-Berichte.html)
- 33 [www.waermepumpe.de](http://www.waermepumpe.de)
- 34 1998 belief sich der Absatz auf 5020 Wärmepumpen, siehe Bundesverband Erneuerbare Energien e.V., a.a.O.
- 35 Siehe Bundesverband Wärmepumpe e.V., Pressemitteilung vom 22.1.2015 "Wärmepumpen-Absatz leicht rückläufig"
- 36 Siehe Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle: Erneuerbare Energien. Wärmepumpen mit Prüfnachweis, Stand 31.7.2015, [www.bafa.de](http://www.bafa.de)
- 37 [www.bafa.de](http://www.bafa.de): Heizen mit effizienten Wärmepumpen
- 38 Die Lastmanagementfähigkeit wird über das Smart Grid Ready Zertifikat nachgewiesen.
- 39 Siehe [www.bafa.de](http://www.bafa.de)
- 40 Siehe Merkblatt Erneuerbare Energien, KfW-Programm Erneuerbare Energien "Premium", [www.kfw.de](http://www.kfw.de)
- 41 BWP-Branchenstudie 2013: Szenarien und politische Handlungsempfehlungen. Daten zum Wärmepumpenmarkt bis 2012 und Prognosen bis 2030. Bundesverband Wärmepumpe e.V. (Hrsg.) Berlin, August 2013
- 42 Bundesverband Wärmepumpe e.V.: Stellungnahme zum Grünbuch "Ein Strommarkt für die Energiewende" vom 27.2.2015
- 43 IfE Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik der Technischen Universität München: Energiewirtschaftliche Bewertung der Wärmepumpe in der Gebäudeheizung, Studie im Auftrag des Bundesverbands Wärmepumpe e.V., München, Jan. 2013
- 44 Prognos AG Ecofys Germany GmbH: Potenziale der Wärmepumpe zum Lastmanagement im Strommarkt und zur Netzintegration erneuerbarer Energien, BMWi Vorhaben Nr. 50/10, 31. Okt. 2011
- 45 Siehe Bundestags-Drucksache 17/9214, a.a.O.
- 46 Siehe Bundestags-Drucksache 17/9214, a.a.O.
- 47 Siehe Bundestags-Drucksache 17/9214, a.a.O.
- 48 Laut Bundesverband Wärmepumpe e.V.
- 49 Siehe D. Schaumburg, D. Seifried: Wärmepumpen – ein klimaschonendes Heizsystem? Ökonomische und ökologische Konzepte
- 50 Siehe BWP-Branchenstudie, a.a.O.
- 51 Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV) vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519), zuletzt geändert durch Artikel 3 der Verordnung vom 24. Oktober 2015 (BGBl. I S. 1789)
- 52 Zu den Kriterien der energetischen Nutzung von Biomasse siehe: BUND Position 34 – Energie aus Biomasse, Berlin 2010 [http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/20101223\\_energie\\_position\\_biomasse.pdf](http://www.bund.net/fileadmin/bundnet/publikationen/energie/20101223_energie_position_biomasse.pdf)
- 53 Bereits heute werden Wärmepumpen zu festgelegten Zeiten abgeschaltet. Für die stromgeführte Fahrweise bedarf es jedoch einer speziellen Leistungsregelung.

- 54 Siehe Prognos, Ecofys, a.a.O.
- 55 Siehe dazu BUND: Power to heat
- 56 Dem widerspricht nicht der möglicherweise sinnvolle Einsatz von Groß-Wärmepumpen in Wärmenetzen (siehe Kap. 4.2). Der Einsatz dezentraler Wärmepumpen in einem solchen System könnte dagegen nur funktionieren, wenn die dezentralen Systeme alle bivalent betrieben würden.
- 57 Siehe Bundeswirtschaftsministerium für Wirtschaft und Energie: Ein gutes Stück Arbeit. Energie der Zukunft. Vierter Monitoring-Bericht zur Energiewende, November 2015
- 58 Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur, Stand: 25. September 2015
- 59 siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.): Erster Monitoring-Bericht „Energie der Zukunft“, Dezember 2012
- 60 Siehe Plattform Erneuerbare Energien AG 3 Interaktion: Bericht der AG 3 Interaktion an den Steuerungskreis der Plattform Erneuerbare Energien, die Bundeskanzlerin und die Ministerpräsidentinnen und Ministerpräsidenten der Länder, Stand 15. Oktober 2012
- 61 2009 waren es erst 74 GWh, 2010 stieg die Ausfallarbeit auf 127 GWh. Siehe Deutscher Bundestag, Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Eva Bulling-Schröter und weiterer Abgeordneter der Fraktion DIE LINKE, Bundestags-Drucksache 17/7016 vom 20. September 2011
- 62 Siehe Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt: Bericht Monitoringbericht 2014, Stand 14 November 2014
- 63 Siehe Plattform Erneuerbare Energien AG 3 Interaktion, a.a.O.
- 64 Siehe Bundesnetzagentur, Bundeskartellamt, a.a.O.
- 65 Siehe „Energiewende Schleswig-Holstein“, Internetseite des Ministeriums für Energiewende, Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein, Fragen und Antworten zu Abregelung und Entschädigungsansprüchen in den Jahren 2012 und 2011 in Schleswig-Holstein
- 66 Siehe IFEU Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH: Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien in Wärmeanwendungen, Strategie- und Diskussionspapier im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Heidelberg, Oktober 2012
- 67 Siehe Siehe BET Büro für Energiewirtschaft und technische Planung GmbH: Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus erneuerbaren Energien, Studie im Auftrag des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE), April 2013
- 68 Unter der Flexibilisierung des Stromsystems werden hier die Reduzierung des „must-runs“ konventioneller Kraftwerke, der Ausbau der Biomasseverstromung, der weiträumige Übertragungsnetzausbau, nachfrageseitige Maßnahmen sowie der Ausbau von Speichern verstanden.
- 69 Siehe Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Technische Thermo-dynamik, Fraunhofer-Institut für Windenergie und Systemtechnik (IWES), Ingenieurbüro für neue Energie (IFNE): Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global, Schlussbericht März 2012
- 70 Siehe Wolf Peter Schill: Integration von Wind- und Solarenergie: Flexibles Stromsystem verringert Überschüsse, in: DIW-Wochenbericht 34/2013, „Erneuerbare Energien: Überschüsse sind ein lösbares Problem“
- 71 Siehe Wolf Peter Schill, a.a.O.
- 72 Eine weitere Nutzungsmöglichkeit ist die Elektromobilität.
- 73 Siehe Bundeskartellamt: Heizstrom – Marktüberblick und Verfahren, Bericht, Bonn, Sept. 2010. Der Bestand an Nachtstromspeicherheizungen ist stark rückläufig; 2006 betrug er noch etwa 2,2 Mio.
- 74 Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energiesparverordnung) vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519) geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 29. April 2009 (BGBl. I S. 954)
- 75 Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energiesparverordnung) vom 24. Juli 2007 (BGBl. I S. 1519) geändert durch Artikel 2 des Gesetzes vom 4. Juli 2013 (BGBl. I S. 2197)
- 76 Siehe Bundesverband Wärmepumpen, [www.waermepumpe.de](http://www.waermepumpe.de)
- 77 Nach der Deutschen Energieagentur (dena) und dem RWE, zitiert nach: Feldtest der Lokalen Agenda Gruppe 21 Energie in Lahr, Schlussbericht zum zweijährigen Feldtest Elektro-Wärmepumpen am Oberrhein, Zusammenfassung

- 78 Feldtest der Lokalen Agenda Gruppe 21 Energie in Lahr, a.a.O. Die referierten Jahresarbeitszahlen sind die „Erzeuger“-Jahresarbeitszahlen; berücksichtigt man das Gesamtsystem inklusive des Speichers und der Warmwasserbereitung, bewegen sich die Durchschnittszahlen zwischen 2,4 und 3,1.
- 79 Siehe Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE: Wärmepumpen-Effizienz – Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im Betrieb, Freiburg 2011
- 80 Danach sollen die Jahresarbeitszahlen im Jahr 2030 zwischen 4 und 5 betragen. Siehe IFEU, a.a.O.
- 81 Durch sogenannte SG-Ready-Anlagen werden die Eingriffsmöglichkeiten noch verfeinert.
- 82 Etwa 70 bis 100 Euro pro Kilowatt Leistung
- 83 Siehe Pressemitteilung der AGFW Arbeitsgemeinschaft Fernwärme vom 19. Juli 2012
- 84 Da der Wärmebedarf der Gebäude tendenziell abnehmen wird, wird auch das Argument scheinbar schwächer, die „Edelenergie“ Strom dürfe nicht zur niederwertigen Wärmeversorgung eingesetzt werden.
- 85 beide Ziele im Vergleich zu 2008, siehe Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, a.a.O.

## Abbildungen:

Titelbild: [www.waermepumpe.de](http://www.waermepumpe.de)

Abb. 1: Falk Auer

Abb. 2: [http://www.agenda-energie-lahr.de/WP\\_FeldtestPhase2.html](http://www.agenda-energie-lahr.de/WP_FeldtestPhase2.html)

Abb. 3: Mainova AG