

RENEWS SPEZIAL

NR. 80 / JULI 2017

GROSSWÄRMESPEICHER

ZENTRALER BAUSTEIN EINER FLEXIBLEN STROM- UND WÄRMEVERSORGUNG



AGENTUR FÜR
ERNEUERBARE
ENERGIEN
unendlich-viel-energie.de

AUTOREN

Magnus Maier

Redaktionsschluss: Juli 2017

ISSN 2190-3581

HERAUSGEGEBEN VON

Agentur für Erneuerbare Energien e. V.

Invalidenstraße 91

10115 Berlin

Tel.: 030 200535 30

Fax: 030 200535 51

E-Mail: kontakt@unendlich-viel-energie.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Ernährung
und Landwirtschaft

INHALT

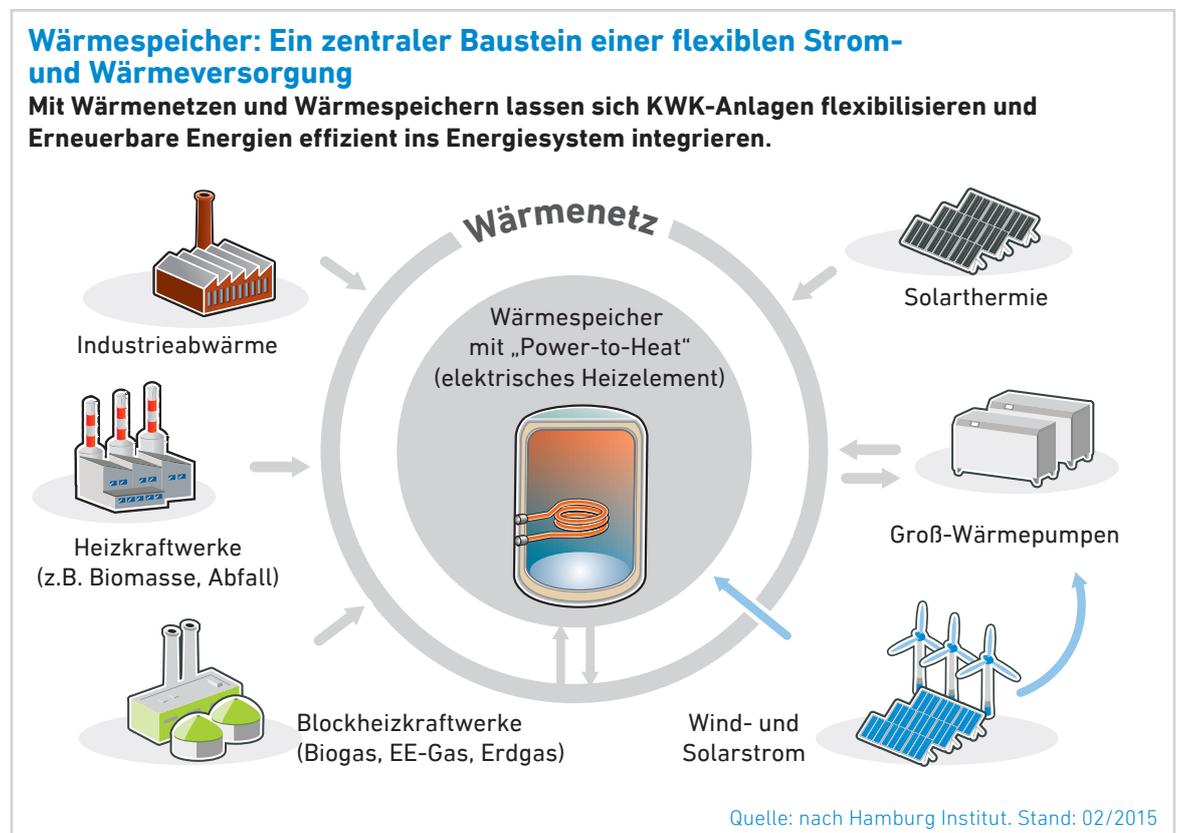
1 Speicher für die Energiewende	4
2 Wie funktionieren Wärmespeicher?.....	6
2.1 Sensible, latente und thermochemische Speicher	7
2.2 Unterschiedliche Bauweisen saisonaler Wärmespeicher	9
2.3 Die Wahl des richtigen Wärmespeichers für ein Wärmenetz	10
3 Die Rolle von Wärmespeichern in der Wärme- und Stromversorgung der Zukunft	12
3.1 Wärmespeicher und die Flexibilisierung von KWK-Anlagen.....	12
3.2 Flexibilisierung von Biomasse-Heizkraftwerken – Wirtschaftlichkeit steigern mit Wärmespeichern	15
3.3 Das Zusammenspiel von Biomasse, Solarenergie und Wärmespeichern in Wärmenetzen	17
4 Fallbeispiele für kommunale Wärmespeicher	19
5 Fazit	22
6 Literatur	23

1 SPEICHER FÜR DIE ENERGIEWENDE

Energiespeicher stehen schon seit Beginn der Energiewende weit oben auf der politischen und wissenschaftlichen Agenda. Bisher dreht sich die Aufmerksamkeit vor allem um die Speicherung von Strom aus Erneuerbaren Energien. Batteriespeicher, strombasierter Wasserstoff und synthetisches Methan (Power-to-Gas) sowie Pumpspeicherkraftwerke stehen hier besonders im Fokus. Aber auch die Zukunft der Wärmeerzeugung wird den Erneuerbaren Energien gehören, auch wenn sich ihr Anteil am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte im Jahr 2016 erst auf 13,4 Prozent belief. Für eine Vollversorgung auf Basis erneuerbarer Wärme werden ebenfalls Speicher benötigt. Wärme lässt sich schon mit den heute verfügbaren Technologien effizient und einfach speichern.

Wärmespeicher schaffen mehr Platz für mehr erneuerbare Wärme

Um das enorme Potenzial der Erneuerbaren Energien im Wärmebereich in höherem Maße nutzen zu können, bedarf es des Ausbaus von Wärmenetzen und Wärmespeichern. Jene leisten einen wichtigen Beitrag bei der Umsetzung der Energiewende. Sie sind ein zentraler Baustein der Wärmewende, welche immer noch am Anfang steht. Das Beispiel Dänemark zeigt, dass sich der Anteil der Erneuerbaren Energien mit dem Ausbau von Wärmenetzen schnell steigern lässt. Damit die Wärme weitgehend treibhausgasneutral und effizient bereitgestellt wird, müssen die Wärmenetze vor allem aus Bioenergie, Solarthermie, Erdwärme und strombasierten Anlagen (z.B. Großwärmepumpen) gespeist werden. Damit diese das ganze Jahre über den Wärmebedarf decken können, braucht es Langzeitspeicher.



Wärmespeicher bauen eine Brücke vom Strom- in den Wärmesektor

Aber nicht nur für den Wärmesektor an sich stellen Wärmespeicher eine Schlüsseltechnologie dar. Sie sind auch ein wichtiger Baustein für die Kopplung des Strom- mit dem Wärmesektor. Wind und Sonne werden in Zukunft den größten Teil der Energieerzeugung stellen. Deren wetterabhängige Energiebereitstellung muss in das System integriert werden. Speicher spielen bei der Verknüpfung der Sektoren Strom und Wärme eine entscheidende Rolle. Steht in der Zukunft zu bestimmten Zeiten ein Überangebot erneuerbaren Stroms zur Verfügung, kann dieser Strom beispielsweise das Wasser eines Wärmespeichers erhitzen (Power-to-Heat). Auf diese Weise lässt sich das Energiesystem der Zukunft flexibel an die schwankende Energiebereitstellung der Erneuerbaren Energien anpassen.

Wärmespeicher überbrücken zeitliche Lücken

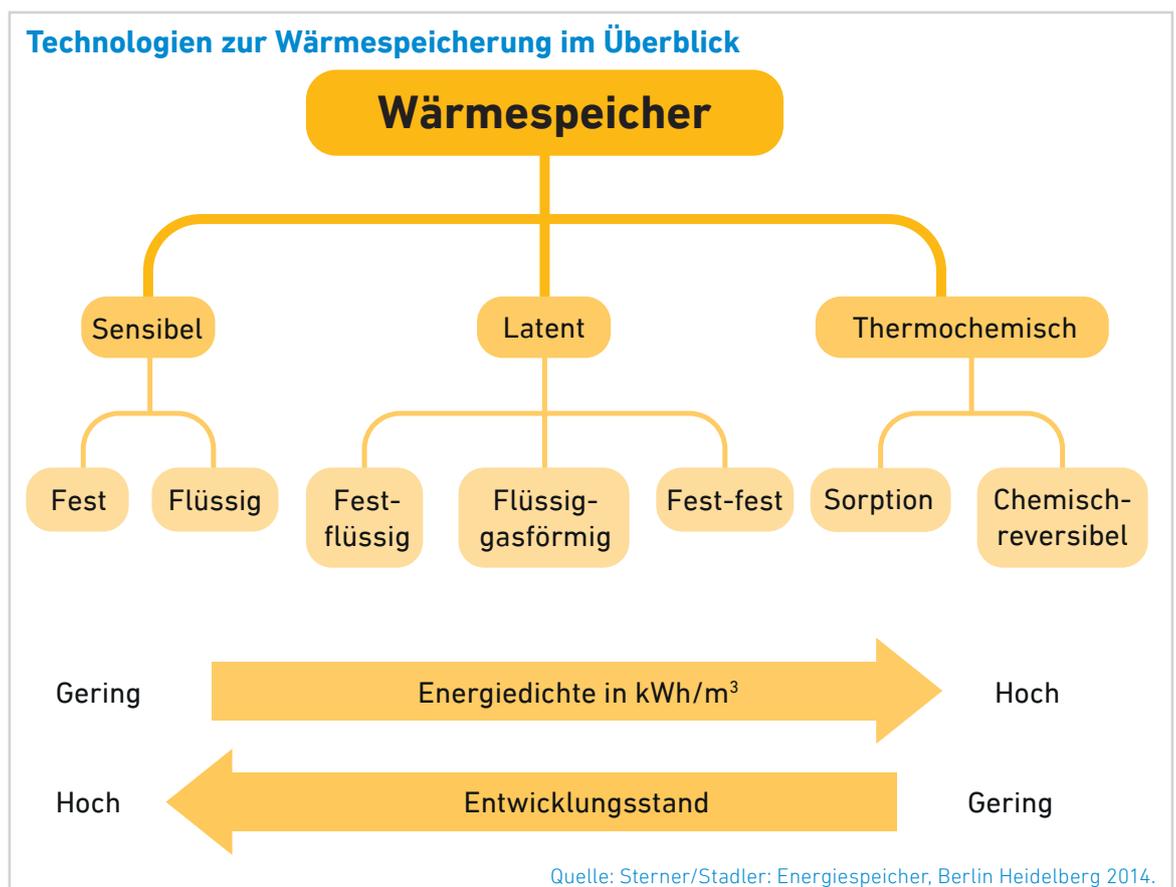
Wärmespeicher bieten Lösungen, um Energie, die zum Zeitpunkt der Erzeugung nicht direkt verbraucht werden kann, zu einem späteren Zeitpunkt nutzbar zu machen. Wärmespeicher sorgen dafür, dass Wärme, die an warmen Tagen bei der Stromerzeugung in Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK), in Industrieprozessen oder Solarthermieanlagen bereitgestellt wird, in kälteren Zeiten mit hohem Wärmebedarf noch zur Verfügung steht. Durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien wird der Bedarf an Speicherkapazität immer weiter steigen. Es gibt bereits viele Projekte in deutschen Kommunen, die Langzeitwärmespeicher in der Praxis anwenden, d.h. ein Überangebot von Wärme im Sommer speichern und bei steigender Nachfrage in den kalten Wintermonaten wieder entnehmen. Wärmenetze müssen diesen neuen Anforderungen entsprechend umgebaut werden.

Das vorliegende Hintergrundpapier stellt im Kapitel 2 die unterschiedlichen Bauarten und Anwendungsgebiete von Wärmespeichern vor. In den Kapiteln 3 und 4 konzentriert sich diese Publikation auf das Verhältnis von Wärmespeichern und den Einsatz von Bioenergie zur Wärmeerzeugung.

2 WIE FUNKTIONIEREN WÄRMESPEICHER?

Thermische Energie kann auf verschiedene Weise gespeichert werden. Es ist stets ein Speichermedium nötig, z.B. eine Flüssigkeit oder ein Feststoff. Im Folgenden werden zuerst drei Speicherarten unterschieden: Sensible, latente und thermochemische Speicher (Kapitel 2.1). Die Technologien unterscheiden sich in der Energiedichte und der maximal speicherbaren Temperatur. Wie viel thermische Energie der Speicher aufnehmen kann, ist von der Wärmekapazität und Masse des Speichermediums sowie der nutzbaren Temperaturdifferenz abhängig. In der Praxis kommen vor allem sensible Speicher zum Einsatz. Latente und thermochemische Speicher befinden sich dagegen noch in der Entwicklungsphase. Da sie gegenüber sensiblen Speichern auch über vorteilhafte Eigenschaften verfügen, werden sie im folgenden Abschnitt trotzdem vorgestellt.

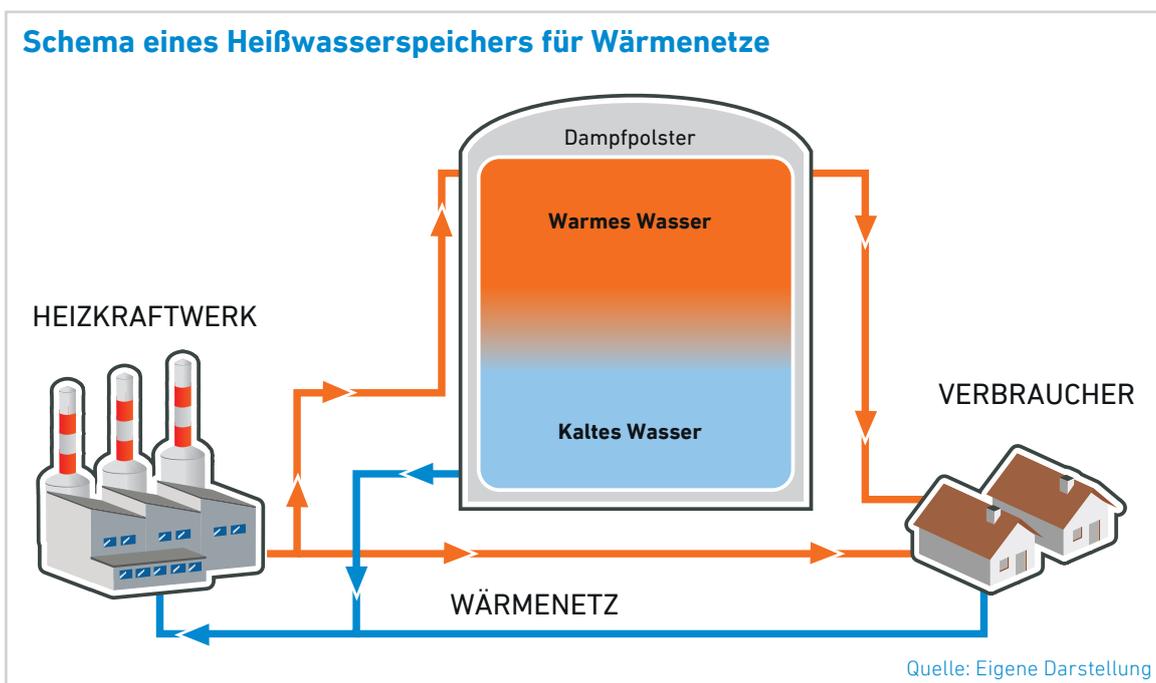
Im Zentrum dieser Publikation stehen Großspeicher mit mehreren Tausend bis zu mehreren Millionen Litern Fassungsvermögen, die in Wärmenetze eingebunden sind und mehrere Tage, Wochen und Monate überbrücken können. Sensible Großspeicher mit einem flüssigen Speichermedium lassen sich in verschiedene Bauformen einteilen: Behälter-, Erdbecken-, Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher (Kapitel 2.2). Im Abschnitt 2.3 werden die verschiedenen Punkte diskutiert, die es bei der Errichtung eines Wärmespeichers zu beachten gilt.



2.1 SENSIBLE, LATENTE UND THERMOCHEMISCHE SPEICHER

In **sensiblen Speichern** verändert das Speichermedium seine fühlbare Temperatur, wenn der Speicher be- oder entladen wird. Während des Ladevorgangs wird dem Speichermedium direkt oder indirekt über einen Wärmetauscher Wärme zugeführt. Beim Entladen wird die gespeicherte Energie wieder abgegeben und der Speicher kühlt ab. Beim Aufladen wird zum Beispiel Wasser erhitzt, das eine hohe Wärmekapazität besitzt. Ein Kilogramm flüssiges Wasser besitzt zwischen Gefrier- und Siedepunkt eine Speicherkapazität von 116 Wattstunden (Wh).

Kleine sensible Kurzzeitspeicher kommen als Pufferspeicher in Verbindung mit Heizungsanlagen in Ein- oder Mehrfamilienhäusern zum Einsatz. Durch den Einsatz eines Pufferspeichers wird das Betriebsverhalten der gesamten Heizungsanlage verbessert, da es effizienter ist, die Heizung aus dem erhitzten Speicher zu speisen, als den Brenner im Dauerbetrieb zu halten.



Bei Großspeichern besteht der Speicherbehälter aus einer warmen Schicht in der oberen Hälfte und einer kalten Schicht in der unteren. In drucklosen Speichern beträgt die Temperatur in der warmen Schicht ca. 98 Grad Celsius. Für den Fall, dass im Wärmenetz höhere Vorlauftemperaturen erforderlich sind, muss das Wasser nachgeheizt werden. In der kalten Schicht herrscht eine Rücklauftemperatur von ca. 60 Grad Celsius. Alle Bauweisen funktionieren prinzipiell gleich. Um den Speicher zu beladen, fließt heißes Wasser aus dem Wärmenetz in den Speicherbehälter und kaltes Wasser in das Wärmenetz zurück. Zur Entladung des Speichers wird umgekehrt kaltes Wasser in den Behälter geleitet und heißes Wasser fließt ins Netz.

Eine Alternative zu Heißwasser ist ein Kies-Wasser-Gemisch. Allerdings ist die Wärmekapazität von Kies geringer als von Wasser. Außerdem sind die Wärmeverluste größer. Ein Kies-Wasser-Speicher müsste im Verhältnis zu einem reinen Wasserspeicher doppelt so groß sein, um dieselbe Wärmemenge speichern zu können. Dennoch gibt es sinnvolle Einsatzmöglichkeiten für diesen Speichertyp: Da der Kies stabil und belastbar ist, eignet sich dieser Speichertyp immer dann, wenn der Bereich über dem Speicher bebaut werden soll.

Neben Wasser werden auch andere flüssige sowie feste Speichermedien verwendet, z.B. Gestein, Beton, Keramik und Flüssigsalz. Hochtemperatur-Betonspeicher sind von Stahlrohrleitungen durchzogen, durch die ein spezielles Öl zirkuliert. Dieses überträgt die zuvor aufgenommene Wärme an den Beton, welcher sich auf bis zu 400 Grad Celsius erhitzt und diese Wärme mehrere Stunden speichern kann. Soll der Speicher wieder entladen werden, wird erwärmtes Öl abgeleitet und kaltes Öl erneut in den Betonblock geleitet, welches sich dann wieder erwärmt.

Sonnenwärme speichern mit Flüssigsalz

In solarthermischen Kraftwerken wird Flüssigsalz eingesetzt. Parabolspiegel bündeln das Sonnenlicht auf ein Rohr, indem ein Öl als Wärmeträger zirkuliert. Der entstehende Dampf treibt eine Turbine und damit einen Generator zur Stromerzeugung an. Flüssigsalz kommt vor allem als Speichermedium bei solarthermischen Kraftwerken in Südeuropa zum Einsatz. Nach Sonnenuntergang gibt das Salz die gespeicherte Wärme über einen Wärmetauscher wieder als Dampf ab. So kann auch ohne Sonneneinstrahlung die Turbine zur Stromerzeugung angetrieben werden. Der Temperaturbereich ist bei Flüssigsalz mit 180 bis 560 Grad Celsius deutlich höher als bei Wasser. Der Vorteil gegenüber Wasserdampf ist zudem, dass bei der Salzschmelze kein Druck entsteht. Die Flüssigkeit ist auch weder brennbar noch giftig.¹ Forscher des Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) haben im Juli 2016 in Köln eine vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderte Testanlage errichtet. Als Speichermedien nutzen die Wissenschaftler eine Nitrat- und Nitrit-Salzmischung. Durch die Forschungsarbeiten sollen die Kosten der Flüssigsalztechnologie gesenkt und die Effizienz gesteigert werden. Neben dem Flüssigsalz kommt auch Naturstein zum Einsatz, da die Materialkosten günstiger sind und die Wärmekapazität ähnlich hoch ist. Mit der Salzmischung lassen sich 200 Kilowattstunden (kWh) pro Kubikmeter einspeichern.

Bei **Latentwärmespeichern** wird die Wärmeenergie genutzt, um den Aggregatzustand (fest, flüssig oder gasförmig) des Speichermediums zu ändern. Das Material schmilzt und verdampft durch die Wärmezufuhr, ohne dass sich dabei die Temperatur des Speichermediums erhöht. Deshalb wird hier von latenter (lateinisch: verborgener) Wärme gesprochen. Das Speichermedium wird daher auch als Phasenwechselmaterial bezeichnet. Das einfachste Beispiel eines Phasenwechselmaterials ist ein Eiswürfel im Getränk, wobei der Eiswürfel dem Getränk die Wärme entzieht, um zu schmelzen. Weitere Beispiele aus dem Alltag wären ein Handwärmer oder Kühlakku. In Verbindung mit Solarthermieanlagen wird vor allem Paraffin eingesetzt.

Während des Ladevorganges, d.h. der Wärmeaufnahme durch das Speichermedium, wird die thermische Energie im Wechsel des Aggregatzustandes des Speichermediums „fixiert“. Anstatt sich zu erhitzen, wird das Speichermedium bei Wärmezufuhr flüssig oder gasförmig, beim Entladen, d.h. der Wärmeabgabe, erstarrt es oder verflüssigt sich wieder.

Thermochemische Wärmespeicher arbeiten mit einer umkehrbaren chemischen Reaktion. Durch die Wärmezufuhr ändert sich die chemische Zusammensetzung des Wärmeträgermediums, ohne dass dabei das Speichermedium unumkehrbar zerstört wird – im Gegensatz zur Verbrennung. Erwärmt man beispielsweise Löschkalk mit der chemischen Formel CaOH_2 auf 550 Grad Celsius, entstehen Wasserdampf (H_2O) und Branntkalk (CaO). Bei der Rückumwandlung wird die Wärme wieder freigesetzt, wenn aus der Vermischung von Branntkalk und Wasserdampf wieder Löschkalk entsteht.

¹ <http://www.bine.info/newsuebersicht/news/baubeginn-erster-fluessigsalzspeicher-mit-einem-tank/>

Ein anderes Beispiel eines thermochemischen Speichers ist der Sorptionsspeicher. Dieser arbeitet mit einem Speichermedium und einem Arbeitsmedium. Bei der Sorption kann sich das Arbeitsmedium mit dem Speichermedium für das Entladen des Speichers auf zwei unterschiedliche Weisen verbinden: der Adsorption und der Absorption. Als Speichermedien für die Adsorption eignen sich Stoffe mit sehr poröser und somit einer großen inneren Oberfläche, welche große Mengen Wasser zu binden vermögen. Es werden vor allem Zeolithe (ein natürliches mikroporöses Mineral) und Silikagele eingesetzt. Auch Metallhydride sind geeignet. Je nach Herstellungsverfahren und Struktur des Speichermediums können Energiedichte und erreichbare Nutzttemperaturen variiert werden. Sorptionsspeicher lassen sich daher an viele unterschiedliche Verwendungszwecke anpassen. Das Beladen des Sorptionsspeichers mit Wärme wird als Desorption bezeichnet. Dem Speichermedium, z.B. Silikagele, an dessen poröser Oberfläche in entladem Zustand Wasser „angedockt“ ist, wird dabei durch Wärmezufuhr das Wasser „ausgetrieben“, wodurch sich Silikagele und Wasserdampf voneinander trennen. Soll die gespeicherte Wärme wieder abgerufen werden, genügt es, Wasserdampf auf niedrigem Temperaturniveau zuzuführen. Der Wasserdampf wird unter Wärmezufuhr vom trockenen Silikagele angezogen und die Wassermoleküle „docken“ wieder an dessen poröser Oberfläche an. Dieser Prozess des Entladens des Speichers wird als Adsorption bezeichnet. Statt eines festen Speichermediums wie Silikagele können Sorptionsspeicher auch flüssige Speichermedien wie z.B. Salzlösungen nutzen. Das Arbeitsmedium Wasser kann dann allerdings nicht an einer porösen Oberfläche „andocken“, sondern vermischt sich mit der Salzlösung. Beim Beladen des Sorptionsspeichers mit Wärme wird der Salzlösung das Wasser „ausgetrieben“ (Desorption). Wasserdampf wird von der Salzlösung abgegeben. Die hochkonzentrierte Salzlösung zieht beim Entladen des Speichers befeuchtete Luft wieder an. Da die Salzlösung den Wasserdampf „verschluckt“, entsteht trockene, erwärmte Luft, die abgegeben werden kann. Dieser Prozess des Entladens des Speichers wird als Absorption bezeichnet. Im Gegensatz zur Adsorption beim festen Speichermedium „klebt“ das Arbeitsmedium Wasser hier nicht an der Oberfläche, sondern verteilt sich gleichmäßig im flüssigen Speichermedium.

2.2 UNTERSCHIEDLICHE BAUWEISEN SAISONALER WÄRMESPEICHER

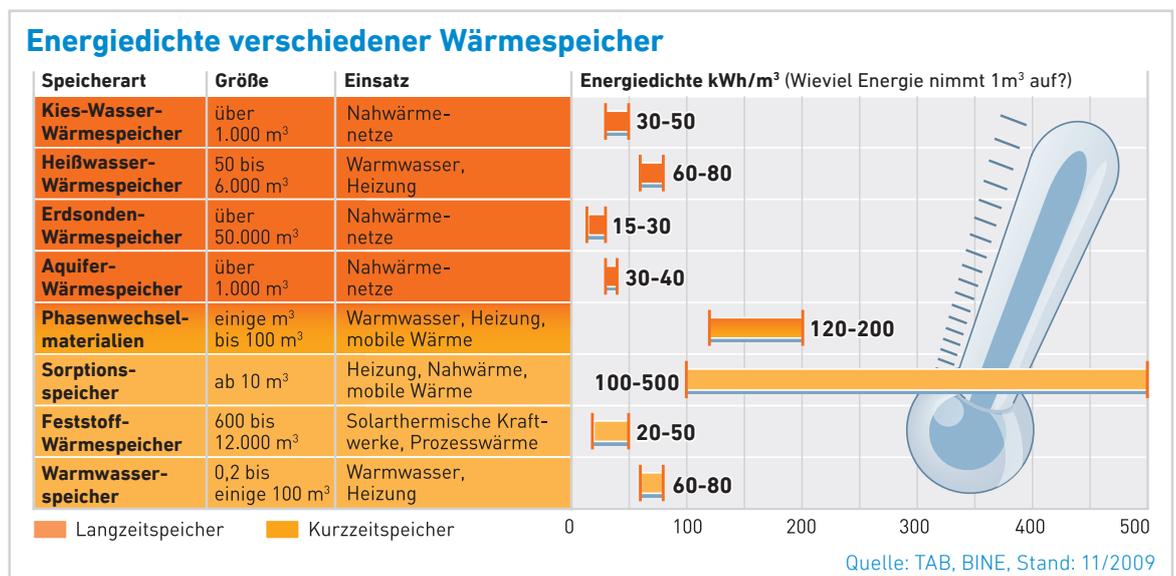
Saisonale, sensible Wärmespeicher können in vier verschiedene Bauarten unterschieden werden: Behälter-, Erdbecken-, Erdsonden- und Aquiferwärmespeicher. **Behälterspeicher** bestehen meist aus einem gedämmten, oberirdischem Stahl- oder Stahlbetontank. Als Speichermedium wird in der Regel Wasser verwendet. Wasser hat viele Vorteile: Es hat eine sehr gute Wärmespeicherfähigkeit, es lässt sich gut transportieren, es ist chemisch unbedenklich und einfach handhabbar. Diese Bauform kommt in der Praxis am häufigsten zum Einsatz. Für **Erdbeckenspeicher** werden Baugruben ausgehoben und von innen wärmegeklämt. Die Gruben werden schließlich mit einem Deckel geschlossen. **Erdsondenspeicher** nutzen das Gestein im Erdreich zur Speicherung der Wärme. Dafür werden Erdwärmesonden in vertikale Bohrlöcher eingeführt. Durch diese Sonden werden heiße Flüssigkeiten geleitet, wodurch sich das Gestein erwärmt. Später werden kalte Flüssigkeiten vom Gestein erwärmt und wieder nach oben gepumpt. Erdsonden sind vor allem in Untergründen mit einer hohen Wärmekapazität und Dichte sinnvoll, z.B. wassergesättigte Tonschichten und -gestein. **Aquiferspeicher** nutzen natürlich vorkommende unterirdische, Wasser führende Gesteinsschichten (Aquifere) in bis zu einigen hundert Metern Tiefe. Das Wasser wird an die Oberfläche gepumpt, dort erwärmt und wieder in den Untergrund geleitet. Wenn die Wärme benötigt wird, wird das warme Wasser wieder nach oben gepumpt.

2.3 DIE WAHL DES RICHTIGEN WÄRMESPEICHERS FÜR EIN WÄRMENETZ

Bei der Wärmespeicherung ergibt sich die Frage nach einem geeigneten Speichermedium mit günstiger Wärmeleitfähigkeit sowie Wärmekapazität, welches mit seinen physikalischen wie wirtschaftlichen Eigenschaften dem jeweiligen Anwendungsprofil entsprechen muss. Von entscheidender Bedeutung sind hierbei der Temperaturbereich sowie die erreichbare Energiedichte des Mediums. Hiermit gehen ebenso das Speichervolumen sowie seine Speicherdauer (Fähigkeit zur Kurzzeit- oder Langzeit-speicherung) einher. Von großem Interesse bei der Wärmespeicherbewertung sind die spezifischen Investitionskosten einer Speichertechnologie. Diese sind jedoch aufgrund der stark divergierenden Rahmenbedingungen und Gegebenheiten vor Ort variabel und daher wie die Wärmekosten pro kWh schwer pauschal anzugeben, da sie in hohem Maße von der jeweiligen Anwendung oder dem verbundenen System abhängen.

Der Vorteil von latenten Wärmespeichern im Gegensatz zu sensiblen Wärmespeichern ist ihre hohe Speicherdichte (50-150 kWh/m³) durch die Speicherung und Entnahme auf gleichbleibendem Temperaturniveau. Ebenso vorteilhaft ist das breite Spektrum an Schmelztemperaturen (-40 bis hin zu über 1.000 Grad Celsius) sowie die höhere Speicherkapazität. Latentwärmespeicher beanspruchen deshalb deutlich weniger Platz. Der große Nachteil sind die vergleichsweise sehr hohen Kosten. Vorteile thermochemischer Wärmespeicher gegenüber sensiblen Speichern oder Latentwärmespeichern sind u.a. die hohen erzielbaren spezifischen Speicherkapazitäten, die hohe Energiedichte, der große Temperaturbereich (100-500 Grad Celsius) und die geringen Wärmeverluste. Die eingesetzten Speichermedien lassen sich unbegrenzt be- und entladen und die Wärme lässt sich unbegrenzt lange speichern. Ein Nachteil der Technologie sind jedoch auch die relativ hohen Produktionskosten.²

Für den Einsatz in Wärmenetzen und in Verbindung mit KWK-Anlagen bieten sich vor allem sensible drucklose (atmosphärische) oder druckbehaftete Wasserspeicher an. Diese Technologien sind relativ kostengünstig, langlebig sowie vergleichsweise einfach zu realisieren und zu betreiben.³ Drucklose Wärmespeicher können mit einer Wassertemperatur von bis zu 100 Grad Celsius betrieben werden, Druckspeicher mit 120 bis 130 Grad Celsius. Drucklose Speicher sind kostengünstiger, verfügen aber über 30 bis 40 Prozent weniger Speicherkapazität als Druckspeicher. Dafür sind größere Speichervo-



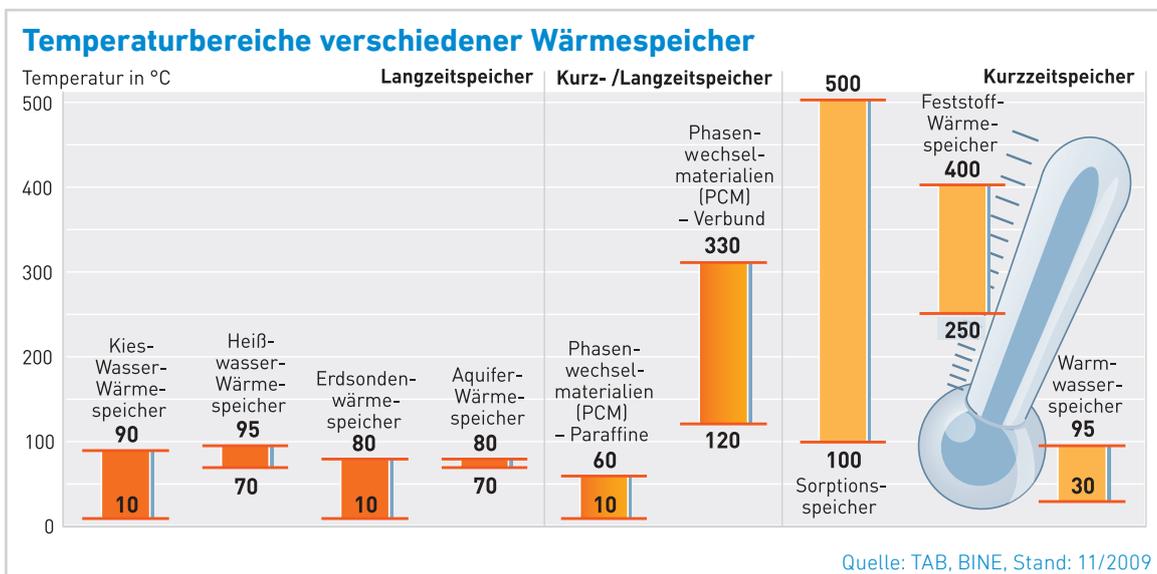
² IWES, FLEXHKW.

³ FVEE, Forschung für ein nachhaltiges Strom-Wärme-System.

lumina möglich. Vor der Auswahl der passenden Bauweise für das Wärmenetz müssen die Rahmenbedingungen beachtet werden. Es kommt beispielsweise darauf an, an welcher Stelle der Wärmespeicher eingebunden werden soll, wie hoch die erforderliche Vorlauftemperatur ist und welche Netzhydraulik vorhanden ist. Außerdem muss die Genehmigungsplanung vorab berücksichtigt werden, welche gegebenenfalls nur eine begrenzte Größe zulässt. Druckspeicher können an jeder beliebigen Stelle des Wärmenetzes installiert werden. Drucklose Speicher befinden sich wegen der zusätzlich erforderlichen Komponenten dagegen meist direkt neben dem Kraftwerk.

Die Wärmeverluste bei der Wärmespeicherung müssen möglichst gering gehalten werden, damit die Wärme über einen längeren Zeitraum effizient gespeichert werden kann. Dafür ist eine ausreichende Wärmedämmung notwendig sowie ein möglichst niedriges Verhältnis von Außenflächen zum Volumen. In der Praxis haben sich zylindrische Formen durchgesetzt. Effiziente Speichersysteme sind groß. Denn je größer der Wärmespeicher ist, desto geringer sind die Energieverluste. Auch die Kosten sinken mit Zunahme des Speichervolumens. Je größer das Volumen des Speichers ist, desto weniger Oberfläche benötigt er im Verhältnis zum Volumen. Deshalb sind zentrale Großwärmespeicher mit bis zu mehreren Millionen Litern Volumen die effizienteste Lösung zur saisonalen Speicherung thermischer Energie. Sie sind deutlich effizienter als viele kleine dezentrale Speicher. Die Großspeicher sind in Wärmenetze eingebunden, über welche die Wärme an die angeschlossenen Verbraucher verteilt wird. Die Wärmeverluste lassen sich anhand des Speichernutzungsgrads messen. Dieser ergibt sich aus dem Verhältnis der Energiemenge, die im Wärmespeicher eingespeichert wird und der Energiemenge, die wieder ausgespeichert wird. Je höher der Wert ist, desto effizienter ist der Wärmespeicher. Saisonale Wärmespeicher, die in ein Wärmenetz integriert sind, können bis zu 90 Prozent erreichen. Das heißt, von 100 kWh eingespeicherter Wärme stehen bei Bedarf 90 kWh zur Verfügung.

In großem Maßstab zur Unterstützung von Wärmenetzen ist der Behälterspeicher mit Heißwasser als Speichermedium aus thermischer und konstruktiver Sicht der am vielseitigsten einsetzbare Speichertyp. Allerdings ist der Platzbedarf von Langzeitspeichern nicht unerheblich. Diese Art von Wärmespeichern können ober- und unterirdisch sowie gebäudeintegriert aufgestellt werden. So können unterirdische Behälter mit Wasser als Speichermedium als landschaftsgestaltendes Element (z.B. als Rodelhügel) dienen. Der Nachteil von Aquifer- und Erdsondenspeichern ist ihre träge Wärmeleitung, weswegen die Zugriffszeiten deutlich länger sind als die von Heißwasser-Behälterspeichern. Deshalb müssen sie durch einen extra Pufferspeicher ergänzt werden. Außerdem muss ihr Volumen ca. drei- bis fünfmal so groß sein wie ein Heißwasser-Behälterspeicher, um dieselbe Wärmemenge speichern zu können.



3 DIE ROLLE VON WÄRMESPEICHERN IN DER WÄRME- UND STROMVERSORGUNG DER ZUKUNFT

3.1 WÄRMESPEICHER UND DIE FLEXIBILISIERUNG VON KWK-ANLAGEN

Der Wärmespeicher ermöglicht eine höhere Stromproduktion von stromgeführten KWK-Anlagen, denn die Kraftwerke können durch die Einspeicherung der Wärme in den Speicher auch dann laufen, wenn die Wärme eigentlich nicht gebraucht wird. Auch eine Erhöhung der wirtschaftlich attraktiven Spitzenstromerzeugung ist möglich. Der Wärmespeicher kann also dazu beitragen, eine stromgeführte KWK-Anlage effizienter auszulasten.

Der Ausbau der KWK leistet einen effektiven und kosteneffizienten Beitrag zum Klimaschutz. Deshalb wird sie von der Bundesregierung über das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (KWKG) gefördert. Strom aus KWK-Anlagen genießt ebenso wie Strom aus Erneuerbaren Energien Einspeisevorrang und wird finanziell gefördert. Der Vorteil der KWK liegt darin, dass sie gegenüber einer getrennten Erzeugung von Strom und Wärme Brennstoffe einspart. Dadurch reduzieren sich auch die Schadstoffemissionen im Vergleich zur getrennten Erzeugung von Strom und Wärme. Besonders klimafreundlich sind Heizkraftwerke und Blockheizkraftwerke (BHKW), die anstelle von fossilen Ressourcen erneuerbare Quellen wie Holz oder Biogas nutzen. Durch die Auskopplung der bei der Stromerzeugung aus Bioenergie unvermeidlich anfallenden Wärme erhöht sich der Wirkungsgrad von ca. 40 Prozent auf ca. 80 Prozent.⁴

Neben den Aspekten Klimaschutz und Ressourcenschonung spricht für die KWK ihr Potenzial zur Flexibilisierung des Energiesystems. KWK-Anlagen auf Basis von Erneuerbaren Energien sind prädestiniert, die Stromerzeugung durch Wind- und Sonnenenergie flexibel und klimaschonend zu ergänzen. Durch ihre schnelle Steuerbarkeit können vor allem Biogas-Blockheizkraftwerke helfen, die fluktuierende Einspeisung von Wind- und Solarstrom auszugleichen. BHKW können innerhalb von Minuten von Stillstand auf maximale Leistung hochgefahren werden. Konventionelle Kraftwerke auf Basis von Kohle und Atom sind hingegen meist zu träge, um auf die schwankende Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien ausreichend schnell und flexibel reagieren zu können. Sie brauchen teilweise einen ganzen Tag, um ihre Stromerzeugung wieder hochzufahren. Das Hoch- und Herunterfahren führt außerdem zu hohem Verschleiß. Viele Kraftwerksbetreiber nehmen deshalb niedrige oder sogar negative Strompreise am Großhandel in Kauf und lassen ihre Anlagen einfach weiterlaufen, selbst wenn der Stromerlös niedriger ist als die Erzeugungskosten.

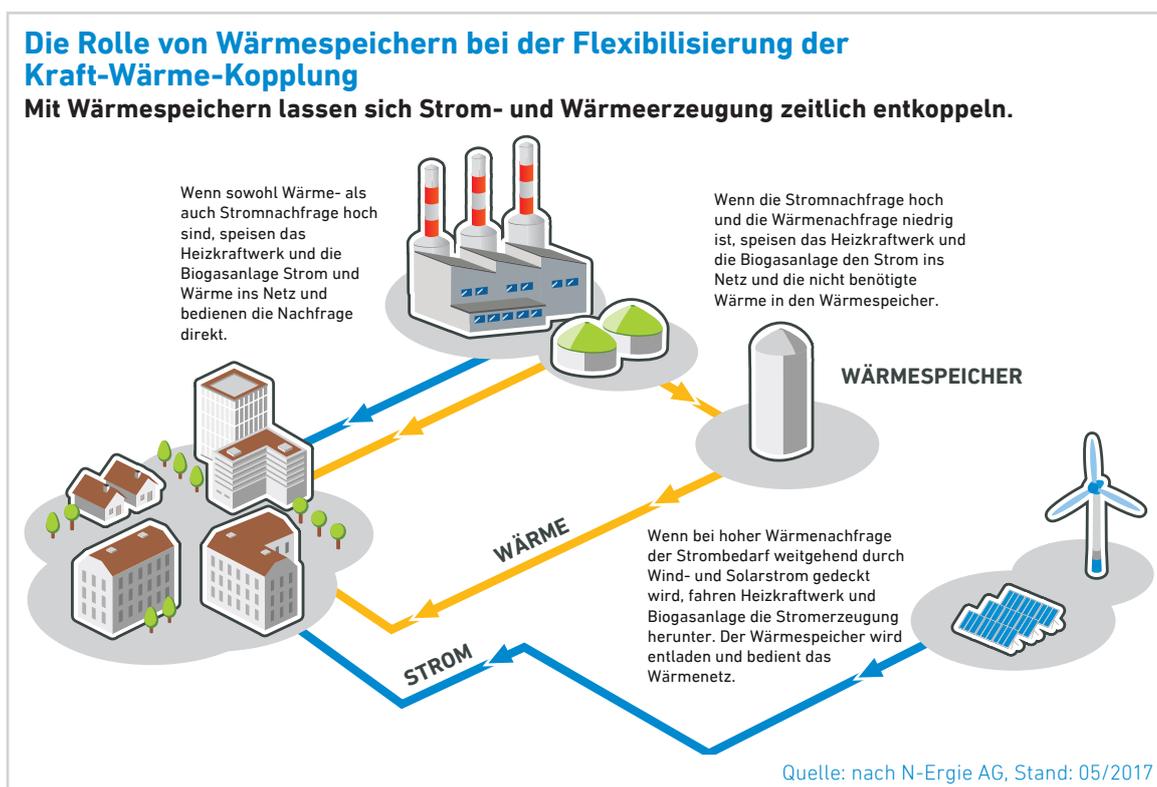
Bioenergie-KWK-Anlagen müssen sich zu einer flexiblen Ergänzung für Erneuerbare Energien in wind- und sonnenschwachen Zeiten weiterentwickeln.⁵ Noch wird das Potenzial der KWK zur Flexibilisierung des Stromsektors kaum ausgenutzt. So speisen Biogasanlagen zumeist in Grundlast kontinuierlich ihren Strom ins Netz. Die Wärmeerzeugung fällt dabei als Nebenprodukt an – unabhängig davon, ob die Wärme zu diesem Zeitpunkt gebraucht wird oder nicht. Die KWK muss sich in Zukunft stärker an den

⁴ IER et al.: Biomasse-Heizkraftwerke

⁵ Siehe auch Agentur für Erneuerbare Energien (AEE): Renewes Spezial 67: Bioenergie im Strommarkt der Zukunft, August 2014.

Bedürfnissen des Stromsystems ausrichten. Die Bioenergie soll Wind- und Solarenergien flankieren, statt in Grundlast Strom zu erzeugen. Sowohl für den längerfristigen Ausgleich als auch für das kurzfristige Ausbalancieren tageszeitlicher Schwankungen bieten Bioenergie-KWK-Anlagen ein signifikantes Potenzial. Die KWK-Anlage soll also Strom produzieren, wenn der Strombedarf im Netz gegeben ist und herunterfahren, wenn bereits viel erneuerbarer Strom im Netz ist. Für diese Flexibilisierung sind Wärmespeicher notwendig.

Wärme kann im Vergleich zu Strom mit den bereits heute zur Verfügung stehenden Technologien effizient und kostengünstig gespeichert werden. Damit Wärmespeicher zur Flexibilisierung der KWK beitragen können, müssen sie entsprechend dimensioniert werden. Während Wärmespeicher in reinen Heizwerken, die nur Wärme für Wärmenetze oder Industrieanlagen produzieren, lediglich als Pufferspeicher dienen, werden bei Heizkraftwerken oder Biogasanlagen große Speicher benötigt, die Wärme über Tage und Wochen speichern können. Bisher sind Wärmespeicher vor allem darauf ausgelegt kurze Zeiträume zu überbrücken, um die Spitzenlast zu decken und den teuren Einsatz von Spitzenlastkesseln zu reduzieren sowie kosten- und verschleißintensive Anfahrvorgänge der KWK-Anlagen zu vermeiden. Zur Deckung der Spitzenlast beim Wärmebedarf, die vor allem im Winter in den Morgenstunden auftritt, werden die Speicher am Vortag und nachts aufgeladen.



In einem Energiesystem, in dem KWK-Anlagen flexibel das wetterabhängige Angebot von Sonne und Wind ausgleichen, wächst der Bedarf an Großwärmespeichern. Diese ermöglichen es, Wärmeangebot und Wärmebedarf über größere Zeiträume in Einklang zu bringen und Strom- und Wärmeerzeugung zeitlich zu entkoppeln. In Zeiten, in denen viel Strom, aber wenig Wärme benötigt wird, wird die nicht benötigte Wärme aus KWK-Anlagen in den Wärmespeicher geleitet. Wenn viel erneuerbarer Strom im Netz ist, kann die KWK-Anlage ihre Stromerzeugung herunterfahren und der Wärmebedarf wird aus dem Wärmespeicher gedeckt. Dadurch kann bei Netzengpässen mehr Wind- und Solarstrom ein-

gespeist werden. Zusätzlich können Wärmespeicher mit Stromheizstäben ausgestattet werden, die erneuerbaren Strom in Wärme umwandeln, wenn Solarstrom- oder Windenergieanlagen ansonsten abgeregelt werden müssten (so genannte Power-to-Heat-Konzepte). Dadurch können Wärmespeicher zur Netzstabilität beitragen.

Im Energiesystem der Zukunft ergeben sich also drei Anwendungsfälle (A, B und C) für Wärmespeicher:

- **Fall A: Strombedarf hoch / Wärmebedarf niedrig**

In diesem Fall sind die Residuallast⁶ und der Strompreis am Großhandel hoch. Das Heizkraftwerk oder die Blockheizkraftwerke der Biogasanlage laufen auf Volllast. Der Wärmespeicher dient als Wärmesenke und die nicht benötigte Heizwärme fließt in den Wärmespeicher.

- **Fall B: Strombedarf niedrig / Wärmebedarf hoch**

In diesem Fall sind die Residuallast und der Börsenstrompreis niedrig. Die Stromerzeugungskosten sind höher als die Erlöse an der Strombörse. Die KWK-Anlage wird heruntergefahren. Die restliche Wärmenachfrage wird aus dem Speicher bedient.

- **Fall C: Strombedarf sehr niedrig / Wärmebedarf niedrig**

In diesem Fall sind sowohl die Residuallast als auch der Großhandelsstrompreis sehr niedrig oder sogar negativ. Die KWK-Anlage wird heruntergefahren oder sogar komplett abgeschaltet und gegebenenfalls lädt ein Elektroheizer den Wärmespeicher. Dadurch können Brennstoffe eingespart werden.⁷

- **Fall D: Strombedarf hoch / Wärmebedarf hoch**

Wenn sowohl der Strombedarf als auch der Wärmebedarf hoch sind, speist die KWK-Anlage den Strom und die Wärme komplett ins Strom- bzw. Wärmenetz ein. Der Speicher dient nur zur Pufferung kurzfristiger Schwankungen.

Heute treten die Phasen mit hohem bzw. niedrigem Wärme- und Strombedarf im Jahresverlauf noch weitgehend gleichzeitig auf. Denn in den Zeiten, in denen der Wärmebedarf hoch ist, ist tendenziell auch die Residuallast im Stromsektor hoch. Wenn im Winter die Heizungen auf Hochtouren laufen, wird meistens auch viel Strom verbraucht und die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien ist geringer als in Frühling, Sommer und Herbst. Im Gegenzug ist an warmen Tagen der Stromverbrauch auch niedriger.

Mit dem Ausbau der Erneuerbaren Energien wird sich das fundamental ändern. Es werden in Deutschland vor allem die Fälle B und C immer häufiger auftreten. Die Residuallast im Strombereich wird zeitlich und mengenmäßig immer seltener mit der Wärmenachfrage übereinstimmen. In Zukunft werden viel mehr Stunden im Jahr auftreten, an denen die Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien die Stromnachfrage übersteigt. Das wird dazu führen, dass der Bedarf an Wärmespeichern und deren Einsatzzeiten deutlich ansteigen werden. Ein Szenario des Deutschen Zentrums für Luft- und Raum-

⁶ Residuallast ist die Stromnachfrage, die nach Abzug der Stromerzeugung der fluktuierenden Energiequellen Windenergie und Photovoltaik übrig bleibt und von regelbaren Kraftwerken gedeckt werden muss.

⁷ Prognos, Beitrag von Wärmespeichern zur Integration erneuerbarer Energien.

fahrt (DLR) für das Jahr 2050 rechnet damit, dass im Laufe des Jahres zwischen 2 und 17 Prozent des Wärmebedarfs in Wärmespeichern zwischengespeichert wird.⁸

Regional können diese Situationen noch deutlich häufiger auftreten, wenn Stromnetzengpässe bestehen. Dies trifft vor allem auf die windreichen Regionen in Nord- und Ostdeutschland mit einer hohen installierten Windenergieleistung sowie auf die sonnenreichen südlichen Regionen mit einer hohen Dichte an Photovoltaik-Anlagen zu. Der Ausbau von Wärmespeichern kann in diesen Regionen die Netze entlasten. Die Abregelung von Erneuerbare-Energien-Anlagen kann sich durch den Einsatz von Wärmespeichern (plus Power-to-Heat) verringern. Die Umwandlung von Strom in Wärme kann zusätzlich die Stromnetze stabilisieren, und wertvollen Wind- und Solarstrom nutzen, der sonst abgeregelt werden müsste. Moderne Wärmespeicher verfügen auch über einen Elektroheizstab, mit dem das Speichermedium Wasser erhitzt wird, wie in Flensburg oder Nürnberg (siehe Kap. 4). Die damit gewonnene Flexibilität lässt sich am Regelenergiemarkt vermarkten. Lohnt sich bei negativen Strompreisen der Verkauf von Solar- und Windstrom an der Strombörse nicht, kann dieser zumindest im Wärmesektor verwertet werden.

Das Forschungsinstitut Fraunhofer IWES hat ermittelt, dass bei einer Stromversorgung mit 100 Prozent Erneuerbaren Energien ein Ausgleichsbedarf von bis zu 50 GW installierter Leistung gedeckt werden muss. Bioenergieanlagen sind schon heute in der Lage, die erforderlichen Systemdienstleistungen anzubieten und Stromdefizite auszugleichen.⁹ Biomasse kann laut einem Szenario des Bundesverbands Erneuerbare Energie (BEE) im Strombereich bis 2020 ein Ausgleichspotenzial in Höhe von 15 GW anbieten.¹⁰

3.2 FLEXIBILISIERUNG VON BIOMASSE-HEIZKRAFTWERKEN – WIRTSCHAFTLICHKEIT STEIGERN MIT WÄRMESPEICHERN

Die Flexibilisierung von KWK-Anlagen ist zwar technisch kein Problem, ökonomisch rechnet sie sich derzeit aber für die Anlagenbetreiber noch nicht. Eine Studie des Fraunhofer IWES untersuchte im Jahr 2016 die wirtschaftlichen und technischen Möglichkeiten zur Flexibilisierung von Biomasse-Heizkraftwerken. Eine Umstellung des Betriebs von Holzheizkraftwerken auf eine flexiblere Fahrweise ist demnach in fast allen Fällen möglich, allerdings derzeit noch wirtschaftlich unattraktiv. Gezeigt wird dies durch den Pilotversuch mit einem Biomasse-Heizkraftwerk der Bioenergie Wächtersbach. Die Anlage wurde in dem Projekt ohne Wärmespeicher für einen flexiblen Anlagenbetrieb ertüchtigt. Die Demonstrationsanlage verfügt über eine Leistung von einem Megawatt und verarbeitet Waldhackschnitzel, Rinde und Landschaftspflegematerial. Die Anlage wurde zuvor wärmegeführt betrieben und ein ölbefuelter Spitzenlastkessel bediente die Verbrauchsspitzen im Winter. Der Strom wurde über das Erneuerbare Energien Gesetz (EEG) vergütet. Die Umstellung auf eine bedarfsorientierte Stromeinspeisung ergibt nach den Ergebnissen des Pilotprojekts unter den aktuellen Marktbedingungen Mehrerlöse im niedrigen bis mittleren fünfstelligen Bereich gegenüber der konventionellen, wärmegeführten Fahrweise. Gemessen an der Höhe des Gesamtumsatzes und im Hinblick auf die entstehenden Kosten für einen Wärmespeicher seien hier „keine hohen Zusatzgewinne“ zu erwarten, heißt es in der Studie. Zu bedenken geben die Autoren dabei auch, dass ein Teil der Mehrerlöse aus der flexibilisierten Fahrweise von den Stromvermarktern einbehalten wird. Unter den aktuellen Rah-

8 DLR, Möglichkeiten und Grenzen des Lastausgleichs durch Energiespeicher, verschiebbare Lasten und stromgeführte KWK bei hohem Anteil fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung, Juni 2014.

9 AEE: Bioenergie im Strommarkt der Zukunft. Renew's Spezial 67, August 2014.

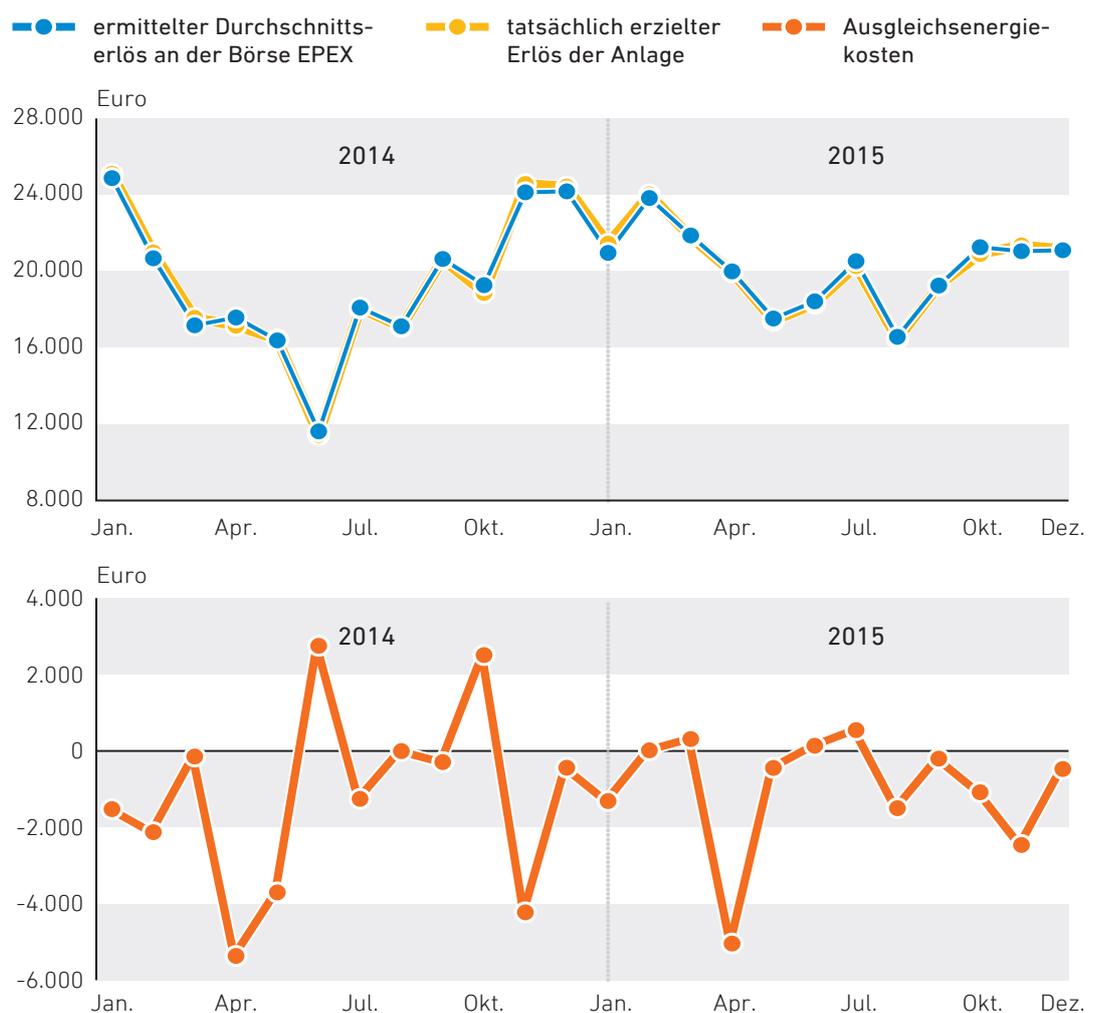
10 Bundesverband Erneuerbare Energie (BEE), Möglichkeiten zum Ausgleich fluktuierender Einspeisungen aus Erneuerbaren Energien, März 2013.

menbedingungen, die sich insbesondere durch rückläufige Börsenstrompreise auszeichnen, sei eine stromgeführte Fahrweise ökonomisch uninteressant.

Die Autoren empfehlen zur Verbesserung der ökonomischen Rahmenbedingungen eine effektivere Teilnahme an der Direktvermarktung von KWK-Strom und eine sichere Bereitstellung von Systemdienstleistungen, wie Regelenergie und Blindleistung. Regelenergie ist die elektrische Leistung, die benötigt wird, um im Netz kurzfristige Schwankungen bei Stromerzeugung und –verbrauch auszugleichen. Blindleistung ist die elektrische Energie, die zum Netzbetrieb mit Wechselstrom benötigt wird, aber im Gegensatz zur Wirkleistung nicht verbraucht wird. Damit Heizkraftwerke diese Systemdienstleistungen anbieten können, müsse Strom- und Wärmeerzeugung mithilfe eines Wärmespeichers entkoppelt werden. Der Speicher ermögliche eine bessere Planung der Stromproduktion und gleichzeitig eine Sicherstellung der erforderlichen Wärmeversorgung.¹¹

Erlöse eines Heizkraftwerks für die flexible Strombereitstellung im Day Ahead-Markt

Mit einer Pilotanlage wurde das Erlöspotenzial eines flexibel geführten Heizkraftwerks getestet. In Summe lagen die Erlöse aus der Direktvermarktung 2014 rund 1.000 Euro über und 2015 etwas mehr als 100 Euro unter dem Börsenschnitt. Für Ausgleichsenergiegebühren, die Übertragungsnetzbetreiber für Abweichungen zwischen Prognose und tatsächlicher Strom-einspeisung beim Verteilnetzbetreiber erheben, entstanden 2014 Kosten von knapp 14.000 Euro und 2015 von rund 11.500 Euro.



Quelle: nach N-Ergie AG, Stand: 05/2017

Fördermittel für Wärmespeicher

Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Wärmespeichern stellt die Bundesregierung Fördermittel bereit. Die Zuschüsse gewährt das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Für Speicher, die größer als 50 Kubikmeter (m³) ausgelegt sind, beträgt der Zuschlag maximal 30 Prozent der ansatzfähigen Investitionskosten. Die maximale Förderhöhe beläuft sich auf 10 Millionen Euro je Projekt. Pro Kubikmeter gewährt das BAFA einen Zuschuss in Höhe von 250 Euro. Die Wärme muss zu mindestens 50 Prozent aus KWK-Anlagen stammen.¹² Die Förderbank KfW gewährt zinsgünstige Darlehen und Tilgungszuschüsse für große Wärmespeicher mit mehr als 10.000 Litern, die überwiegend aus Erneuerbaren Energien gespeist werden. Der Tilgungszuschuss beträgt ebenfalls 250 Euro pro Kubikmeter Speichervolumen und maximal 30 Prozent der Nettoinvestitionskosten.¹³

3.3 DAS ZUSAMMENSPIEL VON BIOMASSE, SOLARENERGIE UND WÄRMESPEICHERN IN WÄRMENETZEN

Die Bioenergie liefert derzeit mit einem Anteil von rund 90 Prozent den größten Beitrag zur Bereitstellung von Wärme aus Erneuerbaren Energien. Dabei setzen Verbraucher und Energieversorgungsunternehmen vor allem auf den traditionellen Energieträger Holz. Biomasse ist allerdings als Ressource zur Energiegewinnung begrenzt. Es gibt zwar noch verfügbare Holzvorräte in den deutschen Forsten und unerschlossene Potenziale. Bei einem steigenden Bedarf an nachwachsenden Ressourcen für die Umstellung auf Erneuerbare Energien steht Holz aber nicht unbegrenzt zur Verfügung. Für eine hundertprozentig erneuerbare Wärmeversorgung braucht es neben einer deutlichen Verringerung des Wärmeverbrauchs einen Mix aus Bioenergie, Solarthermie, Erd- und Umweltwärme und weitere Wärmelösungen, die erneuerbar erzeugten Strom verwerten.

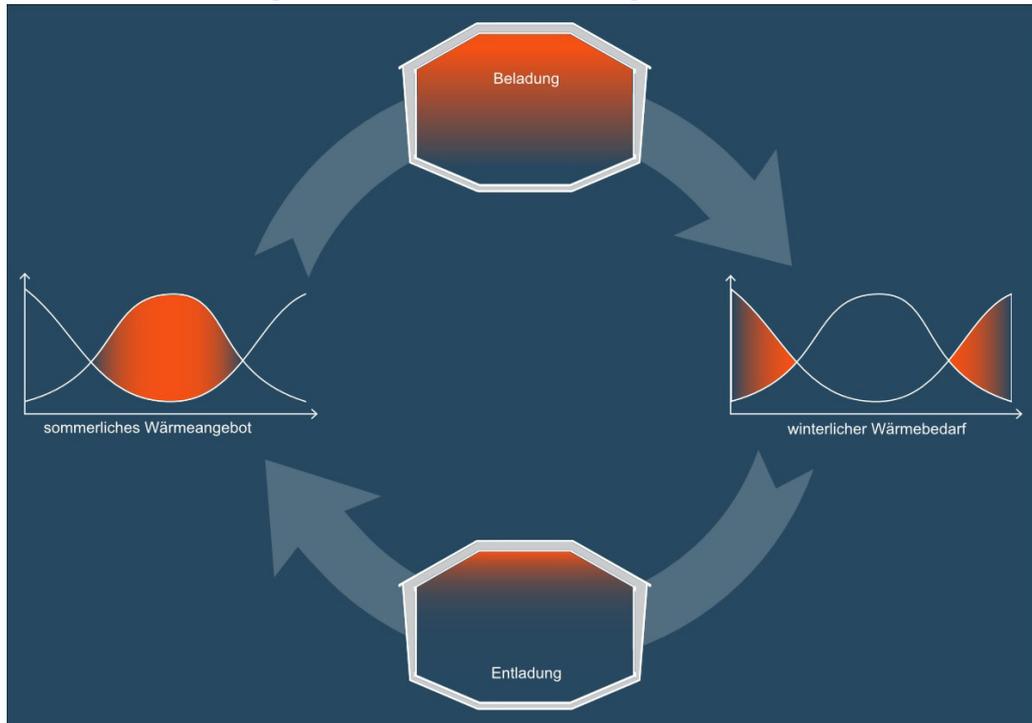
Solarthermieanlagen können im Sommer die relativ geringe Wärmenachfrage in Wärmenetzen abdecken. Die Kombination von Biomasse und Solarenergie bringt höhere Investitionskosten mit sich. Dem stehen mehrere Vorteile gegenüber: Ergänzt eine Solaranlage eine Bioenergieanlage, kann das den Bedarf an Biomasse senken. Das sorgt für eine Senkung der Betriebskosten.

Gewöhnliche Solarthermieanlagen sammeln die Solarwärme auf dem Hausdach für Warmwasser und Raumwärme. Sie greifen üblicherweise auf einen mit Wasser gefüllten Pufferspeicher zurück. Schließlich wird die meiste Wärme gerade dann benötigt, wenn die Sonne nicht mit aller Kraft scheint, d.h. morgens und abends sowie an kalten Tagen. Damit solare Wärme einen hohen Anteil des Wärmebedarfs der Bewohner decken kann und Erdöl und Erdgas auch im Winter ersetzen kann, muss die Wärme langfristig gespeichert werden. Die Pufferspeicher im Privathaushalt fassen meist nur mehrere hundert Liter Wasser und können die Wärme nur wenige Tage aufbewahren. Großspeicher mit bis zu mehreren Millionen Litern Fassungsvermögen können die Solarwärme über mehrere Wochen und Monate speichern und so ganze Stadtteile oder industrielle Großverbraucher versorgen. Damit Solarthermie in Wärmenetzen relevante Beiträge leisten kann, braucht es große solarthermische Anlagen. Diese müssen mit ausreichenden Wärmespeichern ausgestattet sein. Denn die hohen Erzeugungsspitzen an sonnigen Tagen zur Mittagszeit im Sommer können wegen der geringen Nachfrage zu diesem Zeitpunkt nicht sofort verbraucht werden.

¹² Siehe BAFA: Energie/Energieeffizienz/Kraft-Wärme-Kopplung/Wärme- und Kältespeicher

¹³ Siehe KfW: Erneuerbare Energien – Premium, Förderprodukt 271

Wärmespeicher als Brücke zwischen solarem Wärmeangebot und Wärmenachfrage



Quelle: www.saisonalspeicher.de

Wärmenetze, die mit einem Großspeicher ausgestattet sind, erleichtern technisch auch die Einspeisung von Wärme durch die Wärmekunden. Mit einem Hybridanschluss könnten Kunden Wärme, die sie mit einem dezentralen Blockheizkraftwerk oder einer Solarthermianlage selbst erzeugen, im Netz zwischenspeichern – sofern der Wärmenetzbetreiber dies gestattet. So könnte Wärme mit geringeren Verlusten gespeichert werden als in kleinen dezentralen Speichern.

Bioenergiedorf Büsingen: Wärmespeicher ermöglicht effiziente Kombination von Solar- und Bioenergie

Die Gemeinde Büsingen in Baden-Württemberg erweiterte im Jahr 2013 bundesweit erstmalig das Konzept des Bioenergiedorfs um eine große Solarthermianlage: Eine Kombination aus Solar- und Bioenergie mit zwei Wärmespeichern versorgt die 1.300-Einwohner-Gemeinde mit klimafreundlicher Wärme. Alle alten Ölheizungen konnten stillgelegt werden. Die Bioenergie-Solarthermie-Kombianlage spart rund 450.000 Liter Heizöl und 1.200 Tonnen Kohlendioxid (CO₂) jährlich ein. Das Nahwärmenetz in Büsingen ist seit 2012 in Betrieb. Die große Solarthermianlage wurden 2013 angeschlossen. Ein 1.090 Quadratmeter großes Solarthermie-Kollektorfeld erzeugt 12 Prozent der Wärme. Die restlichen 88 Prozent Wärme stellt ein Hackschnittelheizwerk mit einer Leistung von 1,40 MW zur Verfügung. Zwei Wärmespeicher mit der Kapazität von je 50.000 Litern Warmwasser unterstützen die Versorgung. So ist es möglich, dass im Sommer die Solarthermianlage das Heizen mit Holz entlastet. Das vermeidet unwirtschaftliche Teillastbetriebszustände und senkt den Holzverbrauch.



Quelle: solarcomplex AG

4 FALLBEISPIELE FÜR KOMMUNALE WÄRMESPEICHER

Nürnberg: Flexible Kraftwerkssteuerung dank Wärmespeicher

Der kommunale Energieversorger betreibt im Stadtteil Nürnberg-Sandreuth ein erdgasbefeuertes Heizkraftwerk, welches er 2012 mit einem Holzheizkraftwerk erweiterte. Das Holzheizkraftwerk erzeugt mehr als 100 Millionen kWh Wärme und rund 45 Millionen kWh Strom. Das entspricht dem Wärmeverbrauch von rund 5.000 Haushalten und dem Stromverbrauch von knapp 13.000 Haushalten. Darin werden pro Jahr 55.000 Tonnen naturbelassene Holzhackschnitzel aus regionalem Waldrestholz sowie aus der Landschaftspflege verfeuert. Indem es die Wärme in das Nürnberger Fernwärmenetz einspeist, leistet das Holzheizkraftwerk einen wichtigen Beitrag zur regionalen Wärmeversorgung.

Ein sensibler Großwärmespeicher (siehe Kapitel 2.1) ergänzt die Erzeugungsanlage seit 2014. Das Investitionsvolumen betrug 12 Millionen Euro. Er ist der derzeit höchste Wärmespeicher Deutschlands sowie einer der höchsten in Europa. Er hat ein Fassungsvermögen von 33 Millionen Litern Wasser, einen Durchmesser von 26 Metern und eine Höhe von

70 Metern. Als neuartiger Zwei-Zonen-Speicher kann er Wasser in einem drucklosen Behälter auf eine Temperatur von mehr als 100 Grad Celsius erhitzen. In der unteren Zone befindet sich das heiße Wasser mit einer Temperatur von rund 113 Grad Celsius. Das Wasser in der oberen Zone hat eine Temperatur von zwischen 60 und 90 Grad Celsius. Das kühlere Wasser drückt von oben nach unten und verhindert so, dass das heiße Wasser in der unteren Zone verdampft.

Der Speicher verfügt über eine Speicherkapazität von 1,5 Millionen kWh, was dem Warmwasserverbrauch aller Nürnberger Fernwärmekunden an einem Wochenende im Sommer entspricht. Durch die Einbindung des Wärmespeichers werden 40.000 Tonnen CO₂ pro Jahr vermieden. Der Speicher ist nicht nur an das Heizkraftwerk angeschlossen, sondern ist auch mit zwei 25-MW-Elektroheizern verbunden. Sie können Strom in Wärme umwandeln, die dann im Wärmespeicher zwischengespeichert werden können. Die Stromheizstäbe eignen sich, um in jenen Zeiten Strom in Wärme umzuwandeln, in den viel Sonnen- und Windstrom zur Verfügung steht. Wenn das Heizkraftwerk Strom produziert, welcher an der Strombörse aber seine Erzeugungskosten nicht wieder einspielt, kann dieser zum Heizen genutzt werden.

Das Stromnetzgebiet des kommunalen Energieversorgers erstreckt sich über große Teile Mittelfrankens sowie angrenzende Regierungsbezirke. Die Dichte an Photovoltaikanlagen ist hier sehr hoch. An sonnen- und windreichen Tagen ist deshalb bereits viel erneuerbarer Strom im Netz. Vor dem Bau des Wärmespeichers konnte das Holzheizkraftwerk in solchen Situationen seine Stromerzeugung nicht reduzieren. Schließlich würde dann gleichzeitig weniger Wärme anfallen. Der Bedarf der ans Wärmespeicher angeschlossenen Verbraucher könnte nicht mehr gedeckt werden. Seit dem Bau des Wärmespei-



Quelle: N-ERGIE AG

chers kann das Holzheizkraftwerk flexibler betrieben werden und auf die Fluktuationen im Stromnetz schneller reagieren. Wenn wenig Strom aus Erneuerbaren Energien erzeugt wird und der Strompreis hoch ist, fährt das Kraftwerk die Leistung hoch und die nicht benötigte Wärme wird in den Speicher geladen. In Zeiten hoher Ökostromeinspeisung ins Netz und gleichzeitig niedriger Strompreise wird die Kraftwerksleistung gedrosselt und der Wärmespeicher versorgt die Fernwärmekunden. Im Herbst und Winter deckt der Speicher die Lastspitzen, wenn viel Heißwasser zum Heizen benötigt wird. Für diesen Mehrbedarf muss nun keine zusätzliche Leistung mehr hochgefahren werden. Das Kraftwerk kann den ineffizienten Teillastbetrieb vermeiden.

Nahwärmenetz Ebenweiler: Versorgungssicherheit und Flexibilität mit Großwärmespeicher

Wärmespeicher ermöglichen es Biogasanlagenbetreibern, mehr Wärme effizienter anzubieten. Gleichzeitig erleichtern Wärmespeicher die Umstellung auf einen flexiblen Anlagenbetrieb. Biogas-BHKW können dann ihr großes Potenzial für den Ausgleich von Sonne und Wind ausspielen.

Die Biogasanlage in Ebenweiler in der Nähe der Stadt Ravensburg in Baden-Württemberg erzeugt pro Jahr 2,3

Millionen Kubikmeter Biogas. Das Biogas wird in einem Blockheizkraftwerk mit 600 kW elektrischer Leistung in Strom und Wärme umgewandelt, die in ein 5,5 km langes Nahwärmenetz fließt. Es wird seit 2015 von einer Bürgerenergiegenossenschaft betrieben und versorgt 105 der 380 Haushalte im Ort. Der Betreiber der Biogasanlage gewährt der Energiegenossenschaft Versorgungsgarantie, wodurch eine zusätzliche Heizungsanlage in Haushalten der Kunden überflüssig ist. Neben den privaten Haushalten versorgt das Wärmenetz auch das Rathaus, eine Schule, das Dorfgemeinschaftshaus, die Kirche, das Pfarrhaus, einen Kindergarten sowie einen Musik- und einen Narrenverein.

Die Wärmeüberschüsse aus der Biogasanlage im Juli und August können über das Wärmenetz nicht komplett genutzt werden. Erst ab November ist die Wärmenachfrage zeitweise größer als die Wärmeauskopplung aus der Biogasanlage. Zur Flexibilisierung der Biogasanlage wurde ein drei Millionen Liter Wasser fassender sensibler, druckloser Behälter-Wärmespeicher errichtet, der überschüssige Abwärme für die Nutzung zu einem späteren Zeitpunkt zur Verfügung stellt. Morgens ist der Wärmebedarf im Netz höher als die Erzeugungsleistung der Biogasanlage. Im Tagesverlauf dreht sich das Verhältnis um und es entstehen Wärmeüberschüsse. Diese Schwankungen gleicht der Wärmespeicher aus. Auch einen Spitzenlastkessel macht der Speicher überflüssig. Im Herbst reichen die Reserven zur Wärmeversorgung der angeschlossenen Haushalte bis zu vier Wochen, im Winter etwa eine Woche.

Durch die Nutzung der Abwärme werden ca. 250.000 Liter Heizöl und somit ca. 650 Tonnen CO₂ jährlich eingespart. Der Abwärmennutzungsgrad der Biogasanlage liegt bei 60 bis 70 Prozent. Die thermische Leistung des Wärmetauschers beträgt 2 MW und die Wärmekapazität 140.000 kWh. Der Grundkörper



Quelle: cupasol GmbH, Ravensburg

besteht aus Spannbeton. Die Innenwand ist mit Kunststoff ausgekleidet. An der Außenwand und am Deckel ist er mit 40 Zentimeter gedämmt, am Boden mit 80 Zentimetern.¹⁴

Der Hamburger Energiebunker: Erneuerbares Teamplay

Im Rahmen der Internationalen Bauausstellung Hamburg (IBA) wurde der Energiebunker vom städtischen Energieversorger mit Hilfe von EU-Fördermitteln zu einem Öko-Kraftwerk umgebaut. Der ehemalige Flakbunker aus dem Zweiten Weltkrieg im Hamburger Stadtteil Wilhelmsburg versorgt heute circa 3.000 Haushalte über ein 7,5 km langes Wärmenetz mit rund 22 Millionen kWh Wärme und spart dadurch 6.600 Tonnen CO₂ im Jahr ein.



Quelle: IBA Hamburg GmbH/Martin Kunze

Auf dem Dach des Hamburger Energiebunkers ist eine Solarthermieanlage mit einer Spitzenerzeugungsleistung von 750 kW installiert. Im Innenraum

befindet sich ein Holzackschnitzel-Kessel mit einer Leistung von 2 MW sowie ein Biogas-Blockheizkraftwerk mit einer thermischen Leistung von 600 kW und einer elektrischen Leistung von 510 kW. Außerdem ist im Inneren ein sensibler, druckloser Behälter-Wärmespeicher mit elf Metern Durchmesser und zwanzig Metern Höhe sowie einem Fassungsvermögen von insgesamt zwei Millionen Litern Wasser integriert, der Wärmeerzeugung und -nachfrage ausgleicht. Der Innenraum des ca. 40 Meter hohen, massiven Bauwerks wurde von den Briten nach Kriegsende gesprengt. Nur die Außenhülle blieb übrig. Dadurch war ausreichend Platz für den Wärmespeicher vorhanden. Der Speicher wird zudem mit der Abwärme aus einem benachbarten Industriebetrieb mit einer thermischen Leistung von 290 kW beladen.

Der Hamburger Energiebunker beweist schon heute in der Praxis, wie erneuerbare Wärmeerzeugungstechnologien im Zusammenspiel eine klimafreundliche und sichere Wärmeversorgung bereitstellen können.

¹⁴ Biogas Journal: Ebenweiler: Großwärmespeicher sichert Nahwärmeversorgung.

5 FAZIT

Die Energiewende erfordert in der Zukunft eine stärkere Verknüpfung von Strom- und Wärmesektor. Das Energiesystem muss sich nach der fluktuierenden Stromerzeugung aus Wind und Sonne ausrichten. Darum sind Flexibilitätsoptionen gefragt sind, die bei Windflaute und Dunkelheit einspringen können sowie ein Überangebot an Strom verwerten können. Wärmespeicher sind dabei eine unverzichtbare Komponente, da sie der Biomasse-KWK die notwendige Flexibilität verschaffen, indem sie eine Entkopplung von Strom- und Wärmeproduktion ermöglichen. So kann die Bioenergie ihre Vorteile als regelbare Erneuerbare Energie voll ausspielen.

Es gibt eine große Bandbreite an einsetzbaren Technologien. Latente und thermochemische Langzeitspeicher verfügen über vielversprechende Eigenschaften, was die Energiedichte und den Temperaturbereich betrifft. Sie befinden sich allerdings noch größtenteils in der Entwicklungsphase. Der Forschungsbedarf ist bei diesen Technologien immer noch hoch, um Kosten zu senken und die Effizienz zu verbessern. Wasserbehälterspeicher sind dagegen marktreif und können schon heute ausgebaut werden.

6 LITERATUR

ANDERLOHR, THOMAS / GRASSMANN, ANJA: Flexibilisierung der Betriebsweise von Heizkraftwerken durch Wärmespeicher und Elektrokessel, Juni 2014.

BEER, MICHAEL (FFE): Wärmespeicher – Mehr Freiheitsgrade für KWK, Juni 2011.

BRÄSEL, MARTINA: Ebenweiler: Großwärmespeicher sichert Nahwärmeversorgung. In: Biogas Journal 6/2016.

BROEKMANS, VOLKER / KRÄMER, LUIS-MARTIN (BOFEST CONSULT): Beitrag von zentralen und dezentralen KWK-Anlagen zur Netzstützung, Berlin 2014.

DEUTSCHES ZENTRUM FÜR LUFT- UND RAUMFAHRT (DLR): Möglichkeiten und Grenzen des Lastausgleichs durch Energiespeicher, verschiebbare Lasten und stromgeführte KWK bei hohem Anteil fluktuierender erneuerbarer Stromerzeugung, Juni 2014.

FORSCHUNGSVERBUND ERNEUERBARE ENERGIEN (FVEE): Forschung für ein nachhaltiges Strom-Wärme-System. Beiträge zur FVEE-Jahrestagung 2013, Oktober 2013.

FRAUNHOFER INSTITUT WINDENERGIE UND ENERGIESYSTEMTECHNIK (IWES): FLEXHKW. Flexibilisierung des Betriebes von Heizkraftwerken, Mai 2016.

KRAFT, ARMIN / MAXIMINI, MARIUS: Sektorenkopplung treibt den Bedarf an Wärmespeichern. In: Erzeugung und Lastmanagement, 3/2017.

MAASS, CHRISTIAN / SANDROCK, MATTHIAS / SCHAEFFER, ROLAND (HIR HAMBURG INSTITUT RESEARCH): Fernwärme 3.0, Hamburg 2015.

MOERSCHNER, JOHANNES / ELTROP, LUDGER (IER): Biomasse-Heizkraftwerke.

PAAR, ANGELIKA ET AL. (AGFW): Transformationsstrategien von fossiler zentraler Fernwärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien, April 2013.

SCHULZ, WOLFGANG / BRANDSTÄTT, CHRISTINE (FRAUNHOFER IFAM): Flexibilitätsreserven aus dem Wärmemarkt, Dezember 2013.

THESS, ANDRÉ / TRIEB, FRANZ / WÖRNER, ANTJE / ZUNFT, STEFAN: Herausforderung Wärmespeicher. In: Physik Journal, 14/2015.

WÜNSCH, MARCO ET AL. (PROGNOS): Beitrag von Wärmespeichern zur Integration erneuerbarer Energien, Dezember 2011.

IMPRESSUM

Agentur für Erneuerbare Energien e.V.

Invalidenstraße 91

10115 Berlin

Tel.: 030 200535 30

Fax: 030 200535 51

E-Mail: kontakt@unendlich-viel-energie.de

Aktuelle Informationsangebote finden Sie im Internet:

www.unendlich-viel-energie.de

www.kommunal-erneuerbar.de

www.foederal-erneuerbar.de

www.forschungsradar.de

www.kombikraftwerk.de

www.waermewechsel.de

