

Weiterer Zuwachs erwartet

Sektorenkopplung treibt den Bedarf an Wärmespeichern

Das Thema Sektorenkopplung ist 2016 zum vielzitierten Schlagwort der Energiebranche geworden. Damit Strom- und Wärmesektor bei weiterem Ausbau fluktuierender Stromerzeuger stärker gekoppelt werden können, sind vor allem zwei Technologien entscheidend: große Wärmespeicher und Power-to-Heat-Anlagen. Der Aufsatz zeigt die Einsatzmöglichkeiten dieser Technologien, gibt einen Überblick über jüngste Entwicklungen und beschreibt zwei aktuelle Projekte.

In der öffentlichen Diskussion um die Energiewende wird der Wärmesektor oft unterschätzt. Er ist mit einem Energiebedarf von rund 1 300 TWh mehr als doppelt so groß wie der Stromsektor mit rund 600 TWh. Daher kommt dem Wärmemarkt eine große Bedeutung bei der Umsetzung der Energiewende zu: Die Umsetzung der Energiewende kann nur gelingen, wenn neben der Strommarktende auch eine Wärmewende vollzogen wird.

Erneuerbare Energien aus Biomasse und Solarthermie können den Wärmebedarf bei Weitem nicht decken. Daher müssen auch Wind- und Solarstrom, die in

Deutschland weitaus größeres Potenzial haben, für die Wärmewende eingesetzt werden. Der Einsatz von Exergie im Wärmemarkt darf kein Tabu sein. Ablehnende Denkweisen stammen aus dem Zeitalter der fossilen Energieträger und müssen im Sinne einer erneuerbaren Energieversorgung überwunden werden.

Schlüsseltechnologie Fernwärmespeicher

Der Anteil der Fernwärme an der gesamten Endenergie beträgt laut Energiebilanz 2014 rund 106 TWh. Dies verdeutlicht, dass hier erhebliches Potenzial zur Opti-

mierung und Flexibilisierung liegt. Eine Schlüsseltechnologie zur Nutzung dieses Potenzials sind große Fernwärmespeicher. Wurde Fernwärme jahrzehntelang weitgehend on demand zeitgleich zur Wärmelast produziert, zeigen die zahlreichen aktuellen Projekte zur Planung und zum Bau großer Fernwärmespeicher, dass es einen Bedarf an zeitlicher Entkopplung von Strom- und Wärmeenergie gibt.

Außer den ursprünglichen betriebstechnischen Argumenten einer Erhöhung der KWK-Produktion und der Verlängerung von Anlagenlaufzeiten spielen bei der Bauteilscheidung für Speicheranlagen

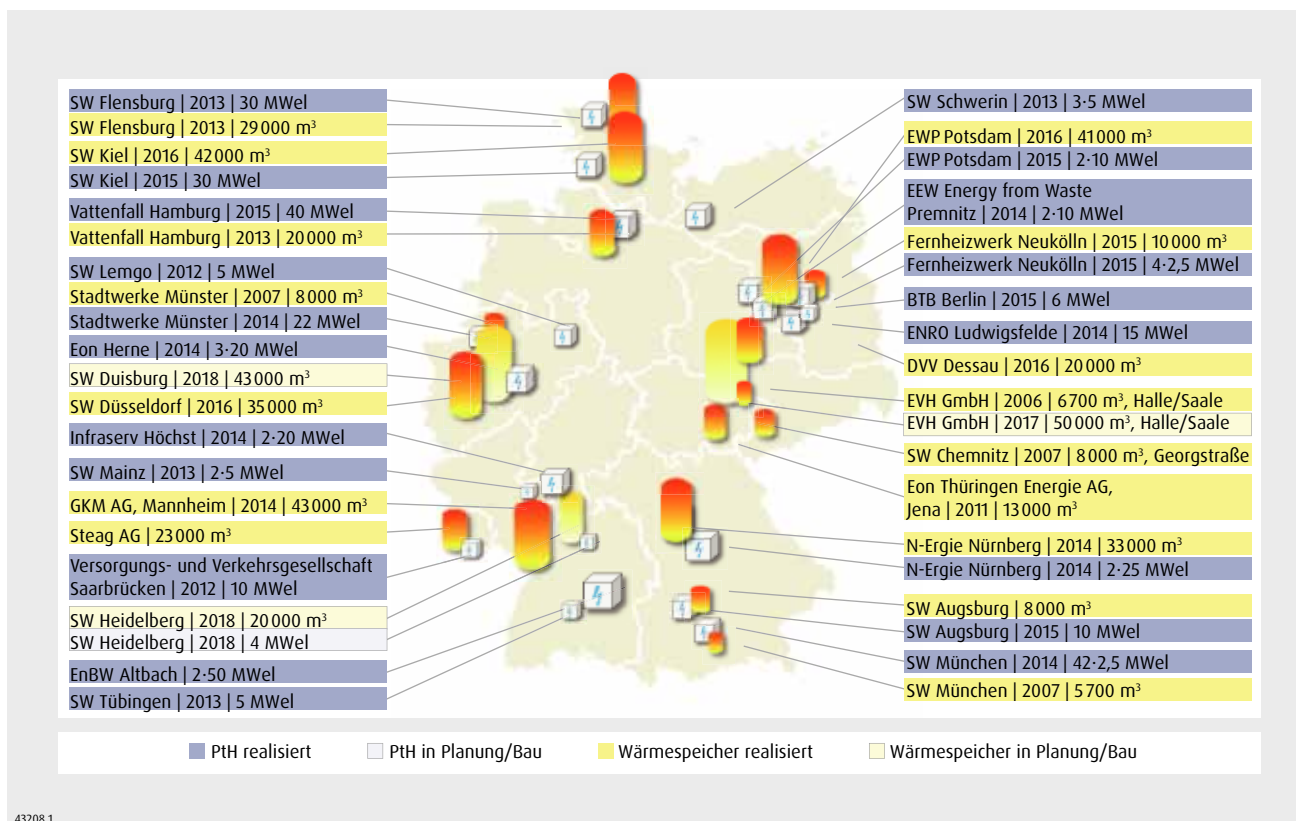
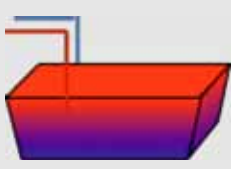


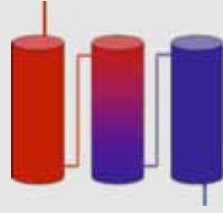


Bild 1. Überblick über alle Speicherprojekte mit mehr als 5 000 m³ Volumen sowie einige Power-to-Heat-Projekte (PTH)

	drucklose Speicher			Druckspeicher
	Erdbeckenspeicher (Saisonalspeicher)	atmosphärischer Speicher	atmosphärischer Zweizonenspeicher	
Prinzip				
Volumen (realisiert)	200 000 m ³ (Vojens, DK)	50 000 m ³ (Gedersdorf, AUT)	42 000 m ³ (Kiel)	modular, Einzelbehälter je 2 000 m ³ (Münster)
max. Temperatur	90 °C (hauptsächlich Solarthermie)	98 °C	> 100 °C (realisiert 120 °C)	bis rd. 140 °C
Kosten (rd.)	100-250 €/m ³	300-500 €/m ³	400-700 €/m ³	800-1200 €/m ³

43208.2

Bild 2. Wärmespeichertypen

zunehmend energiewirtschaftliche Gründe eine Rolle. Das liegt auch daran, dass die Marktfähigkeit des KWK-Stroms mit dem Strompreisverfall und der mit dem KWK-Gesetz 2017 geänderten Förderkulisse zunehmend sinkt. Die Produktion eines marktfähigen KWK-Stromprodukts ist im Zeichen der Energiewende wichtiger geworden: KWK-Anlagen wandeln sich mehr und mehr vom Grundlasterzeuger zum flexiblen Backup für erneuerbare Energien und Mittellasterzeuger in wind- und sonnenschwachen Zeiten.

Sektorenkopplung für die Elektrifizierung des Wärmemarkts

Ein weiterer Treiber für den Bau von Fernwärmespeichern ist die viel diskutierte Sektorenkopplung, die bei der Elektrifizierung des Wärmemarkts notwendig

wird. In rückwärtiger Richtung kann die Sektorenkopplung mit Power-to-Heat-Prozessen vollzogen werden, während die klassische KWK-Erzeugung bereits eine vorwärtsgerichtete Kopplung ist.

Bei vielen Speicherprojekten ist die Entscheidung zum Speicherbau somit auch mit der Entscheidung zum Einsatz von Elektrodenkesseln verbunden, zum Beispiel in Kiel, Flensburg, Nürnberg und Potsdam. Diese werden aktuell nur am Regenergiemarkt eingesetzt, können aber, sobald die regulatorischen Rahmenbedingungen hinsichtlich Abgaben und Umlagen es zulassen, auch überschüssige erneuerbare Energie zu nutzen. Einen Überblick aller Speicherprojekte mit mehr als 5 000 m³ Volumen und ausgewählte Power-to-Heat-Projekte zeigt *Bild 1*.

Wärmespeichertypen und -technologien

In der Nah- und Fernwärmeversorgung werden in erster Linie sensible Wärmespeicher mit Wasser als Speichermedium eingesetzt. Die Technologien unterscheiden sich in den maximalen speicherbaren Temperaturen und den daraus folgenden spezifischen Kosten für den Behälter und die Anlagentechnik (*Bild 2*).

Welche Technologie jeweils eingesetzt wird, muss durch Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen für jeden Fall neu bewertet werden. Dabei ist auch zu berücksichtigen, ob der Speicher an einen Erzeuger angeschlossen werden kann und bei welchen Temperaturen das Fernwärmenetz betrieben wird.

In Deutschland werden aufgrund der vorherrschenden hohen Netztemperaturen

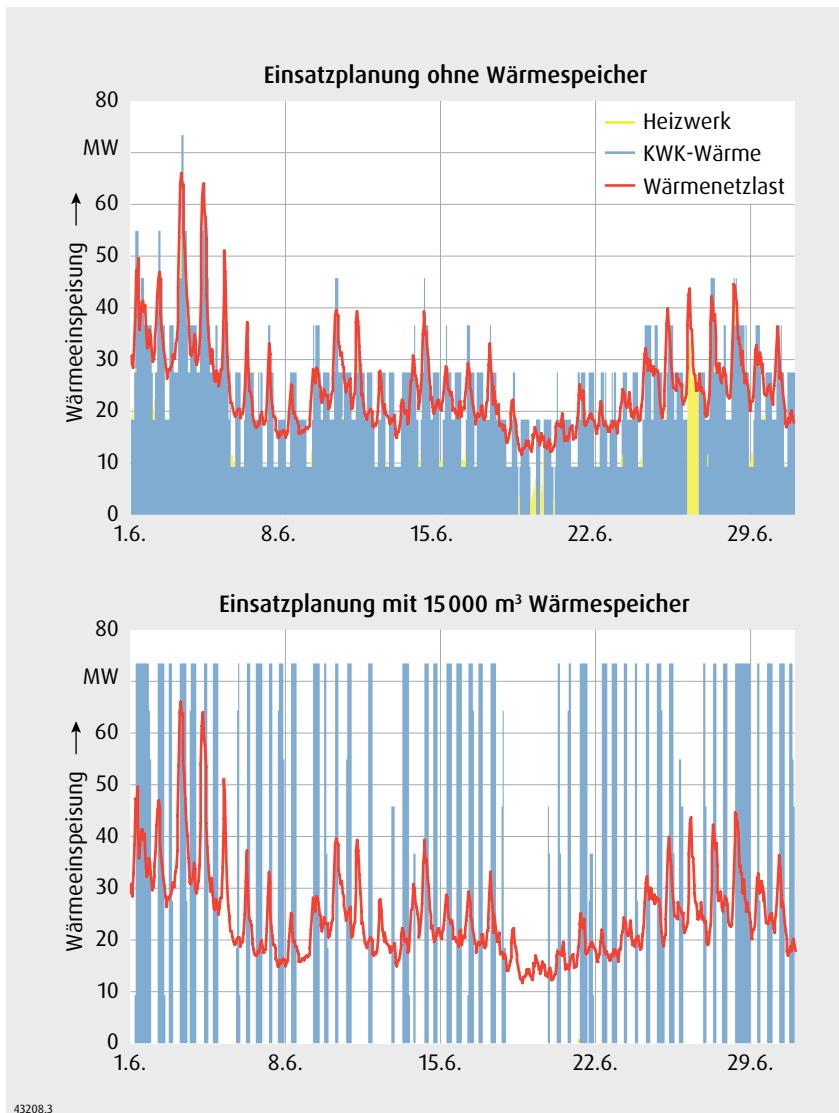


Bild 3. Einsatzsimulation KWK-Erzeugung ohne Speicher (oben) und mit Wärmespeicher (unten)

und des verfügbaren Platzes hauptsächlich drucklose, atmosphärische Speicher oder Druckspeicher gebaut. Die atmosphärischen Speicher können in ihrer Höhe frei ausgelegt werden, so dass sie weitere nützliche Funktionen für die Netzhydraulik übernehmen können:

- Nutzung des statischen Drucks für die Netzdruckhaltung
- Aufnahme des Expansions- und Kontraktionsvolumens des Fernwärmenetzes
- Bevorratung von Fernheizwasser.

Bei der hydraulischen Einbindung ist es möglich, den Speicher als quasi Erzeuger-Verbraucher an das Netz anzuschließen oder ihn in die Hydraulik eines Erzeugers zu integrieren. Die Kombination des Speichers mit einem Erzeuger bietet meist den Vorteil, dass der Speichervorlauf im Erzeuger auf Netztemperatur nachgeheizt werden kann (Bild 3).

Einsatzmöglichkeiten für Wärmespeicher

Wärmespeicher liefern einen wichtigen Beitrag zur Flexibilisierung von KWK-Anlagen durch die zeitliche Entkopplung der Wärme- von der Stromabgabe. So können sowohl KWK-Anlagen als auch Wärmeauskopplungen noch flexibler betrieben werden, um den steigenden Anforderungen des Strommarkts gerecht zu werden – bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung der Wärmeversorgung. Außer den betriebstechnischen Vorteilen wie Druckhaltung und Unterstützung der Netzhydraulik sind verschiedene – auch kombinierbare – Einsatzweisen möglich.

Einsatz als Spitzenerzeuger

Wärmespeicher sind zwar keine Erzeuger, können aber Lastspitzen glätten, wie sie in Wärmenetzen vor allem im Winter in den Morgenstunden auftreten, indem der Speicher am Vortag und in der Neben-

zeit nachts geladen wird. Der Leistungsbeitrag hängt dabei von der Temperaturstreuung und der Speichertechnologie ab. Der monetäre Vorteil ergibt sich aus der Vermeidung teurer Spitzenerzeugung und der damit verbundenen Netzentgelte – bei Gasheizwerken – und bei vorausschauender Energiekonzeption auch aus vermiedenen Investitionen in sonstige Spitzenerzeuger.

Optimierung der Stromproduktion

Hier muss zwischen zwei Betriebsweisen unterschieden werden: Beim Zusammenwirken mit Entnahmekondensationsanlagen – Stromverlust bei Wärmeauskopplung – wird der Wärmespeicher eingesetzt, um in Zeiten hoher Strompreise eine Verringerung der Dampfentnahme der Turbine zu erreichen und somit die Stromerzeugung in wirtschaftlich attraktiven Stunden zu erhöhen. Die fehlende Wärmemenge wird in Zeiten niedrigerer Marktpreise vorproduziert und eingelagert.

Bei Erzeugungsanlagen nach dem Gegen-druckprinzip – proportionale Strom- und Wärmeenergieerzeugung wie bei Gasturbinen und Motorenkraftwerken – wird der Speicher umgekehrt disponiert. Die Ladezyklen finden während hoher Strommarktpreise statt, um die volle Erzeugung nutzen zu können. In Nebenzeiten werden der Speicher entladen und die Produktion heruntergefahren oder abgeschaltet. Diese Betriebsweise setzt flexible Erzeuger voraus, die sich möglichst im Tagesrhythmus – oder häufiger – an- und abschalten lassen.

Abschaltung der KWK-Anlage

Dieser zunehmend wichtiger werdende Betriebsfall tritt in Fällen moderaten Wärmebedarfs und niedriger bis negativer Strompreise unterhalb der Gesteungskosten auf. Bei gefülltem Speicher kann die KWK-Anlage solange abgeschaltet werden, bis der Speicher geleert ist. Die genannten Betriebsweisen schließen sich nicht aus, sondern ergänzen sich: Der Einsatz als Spitzenerzeuger spielt nur in der Winterspitze eine Rolle, während die Strommarktoptimierung dann wegen der meist voll ausgelasteten KWK-Anlage keine Rolle spielt. Die Marktoptimierung wiederum ist vor allem in den Übergangsjahreszeiten mit mittlerem Wärmebedarf bei meist noch vorhandenen Leistungsreserven der Erzeugeranlagen relevant, die Abschaltoptimierung eher in den nachfrageschwachen Sommermonaten.

Zwischenspeicherung der Elektrowärme

Bei Kopplung mit Power-to-Heat-Anlagen kommt als weiterer Betriebsmodus die



Bild 4. Gestaltungsentwurf des Architekturbüros Lava (Berlin) für den Fernwärmespeicher in Heidelberg

Zwischenspeicherung der Elektrowärme hinzu. Durch Nutzung kostengünstigen Stroms kann mit Elektrokesseln Wärme über den Netzbedarf hinaus produziert werden, die im Wärmespeicher zwischengelagert werden kann. Dies ermöglicht eine Teilnahme am Regelenergiemarkt oder die Nutzung von Überschussstrom.

Abweichungen der Wärmeprognose ausregeln

Grundsätzlich können Wärmespeicher auch genutzt werden, um Abweichungen der Wärmeprognose – zum Beispiel des Vortages – auszuregulieren. Ein ökonomischer Vorteil erwächst hieraus aber nur, wenn die Einhaltung von Toleranzbändern oder Prognoseelastgängen beim Energiebezug – Erdgas oder vorgelagerte Fernwärmeerzeugung – vertraglich vereinbart ist.

Beispielrechnung für ein Fernwärmenetz

Ein Einsatzbeispiel für ein modellhaftes Fernwärmenetz mit 500 GWh Jahreslast bei 170 MW Höchstlast ist in *Tafel 1* dargestellt. Als Erzeuger wurde eine Gegen-druckerzeugung mittels großer Erdgasmotoren mit insgesamt rund 80 MWth und etwa gleicher elektrische Leistung sowie eine Spitzenwärmeerzeugung aus Erdgasheizwerken angesetzt. Die Strompreise entsprechen in der stündlichen Ausprägung dem Spotmarktpreisverlauf des Jahres 2016.

Der Speicher- und Anlageneinsatz wurde durch Simulationsrechnungen optimiert

und zeigt die Änderungen der Anlagenauslastung. Der KWK-Anteil der Wärme erhöht sich leicht bei gleichzeitig reduzierter Erdgasbezugsspitze. Zusammen mit der zeitlichen Verschiebung der Erzeugung in höherpreisige Morgen- und Abendstunden ergibt sich ein Vorteil von rund 920 000 €/a bei gleichzeitig steigendem KWK-Anteil (*Tafel 1*).

Die Visualisierung des Kraftwerkseinsatzes für einen Sommermonat zeigt den Effekt des Speichers durch Verschiebung der Erzeugung in Zeiten höherer Strompreise, vor allem im Sommer. Damit verbessert der Wärmespeicher quasi automatisch auch die Wertigkeit des erzeugten Stroms, und es wird eine Doppeleinspeisung von KWK-Strom und Solarstrom – im Sommer tagsüber – beziehungsweise Windstrom – Starkwindphasen im Frühjahr und Herbst – vermieden. Allerdings führt diese digitale Betriebsweise auch zu doppelt so vielen Startvorgängen und steileren Lastgradienten.

Der in diesem Beispiel betrachtete Zweizonenspeicher mit 15 000 m³ Nutzvolumen kann über 10 h rund 70 MW ausspeisen und somit die komplette Morgenspitze des Fernwärmenetzes abdecken. Im Sommer kann die Fernwärmegrundlast von rund 15 MW über ein ganzes Wochenende ohne weitere Erzeugung abgedeckt werden.

Aktuelle Projektbeispiele

Im Folgenden werden zwei Projektbeispiele vorgestellt, deren Planung schon

läuft beziehungsweise bereits abgeschlossen ist und mit deren Bau noch in diesem Jahr begonnen werden soll.

Fernwärmespeicher Duisburg

Die Stadtwerke Duisburg betreiben aktuell zwei Heizkraftwerke mit einer elektrischen Leistung von 382 MW und einer Wärmeleistung von 386 MW: das Steinkohlekraftwerk am Standort Hochfeld und das GuD-Kraftwerk am Standort Wanheim.

Aufgrund der Veränderungen im Energiemarkt soll die Fernwärmeversorgung der Stadt an das künftige Marktumfeld angepasst werden. Unter anderem soll das Steinkohlekraftwerk in naher Zukunft stillgelegt werden, während das zukunftssichere GuD-Kraftwerk weiter betrieben und die Hauptwärmeversorgung der Stadt übernehmen soll. Durch den Zubau eines Wärmespeichers soll das GuD-Kraftwerk für einen wirtschaftlichen Betrieb flexibilisiert werden.

EEB Enerko wurde von den Stadtwerken mit der Planung der Wärmespeicheranlage und der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen beauftragt. Die Planungen umfassten neben dem Speicherbehälter auch die Anlagentechnik und -gebäude zur hydraulischen Einbindung des Speichers in die Erzeugersituation am Standort Wanheim. Dazu wurde auch die hydraulische Einbindung des GuD-Kraftwerks neu konzipiert. Der Fernwärmespeicher wird als hydraulische Weiche eingebunden, so dass ein Erzeugerkreis entsteht, über den die KWK-Anlage den Speicher beladen und

Erzeugungskennzahlen			
Eckdaten der Speichersimulation			
Fernwärmebedarf	500 GWh; 170 MW Spitzenlast		
Erzeugungsanlage	80 MW KWK-Leistung; 8 BHKW-Module mit je 10 MW; 180 MW Heizwerke		
Speicher	Zweizonenspeicher; 15 000 m ³ Nutzvolumen		
Kennzahlen			
technische Kennzahlen	ohne Speicher	mit Speicher	Delta
Wärmeerzeugung KWK in GWh	390	401	11
Wärmeerzeugung HW in GWh	110	99	-11
Stromerzeugung in GWh	403	414	11
Brennstoffbezug in GWh	1049	1064	15
max. Bezugsleistung in MW	275	239	-36
Starts je Modul	168	316	148
kaufmännische Kennzahlen			
mittlerer Strompreis in €/MWh	32,0	33,3	1,3
Stromerlös in €	16 981	18 012	1031
Brennstoffkosten in €	24 539	24 512	-27
variable Betriebskosten in €	2 720	2 855	135
Saldo Betriebskosten in €	10 278	9 355	-923

Tafel 1. Erzeugungskennzahlen in einem typischen Fernwärmenetz, mit und ohne Optimierung durch Wärmespeicher

die Verbraucher im Fernwärmenetz versorgen kann. Die Speicherbeladung und die Netzeinspeisung können unabhängig voneinander betrieben werden.

Als Speichertechnologien wurden während der Planung ein einfacher atmosphärischer Speicher mit Nachheizung im Kraftwerk und ein atmosphärischer Zweizonenspeicher untersucht. »Dabei wurde der Zweizonenspeicher als wirtschaftlich sinnvoller bewertet. Durch eine maximale Speichertemperatur von 115 °C kann der Speicher eine deutlich höhere Lastabdeckung übernehmen, ohne dass das Kraftwerk zur Nachheizung betrieben werden muss«, sagt Inno Behrens, Projektverantwortlicher auf Seiten der Stadtwerke Duisburg.

Nach den Vorgaben von Behrens wurde die Wärmekapazität des Speichers mit 1 450 MWh so ausgelegt, dass die Wärmeversorgung des Netzes in der Schwachlastzeit über ein Wochenende aus dem Speicher geleistet werden kann. Die Speicherhöhe sollte so gestaltet werden, dass der statische Druck dem notwendigen Ruhedruck des Fernwärmenetzes entspricht. Damit wird er zusätzlich als Absicherung für den Schwarzfall gegen das Ausdampfen des Fernheizwassers dienen.

Der Speicher soll zudem das Expansions- und Kontraktionsvolumen aufgrund von

Temperaturveränderungen des Fernwärmenetzes aufnehmen. Ebenfalls zu berücksichtigen war ein Reservevolumen zum Ausgleich von Wasserverlusten im Netz. Das resultierende Bruttovolumen des Speicherbehälters wird damit rund

KWK-Anlagen wandeln sich mehr und mehr vom Grundlasterzeuger zum flexiblen Backup für erneuerbare Energien.

43 000 m³ betragen. Die Planungen sind abgeschlossen und der Auftrag zum Bau wurde von den Stadtwerken Duisburg Ende 2016 an einen Generalunternehmer vergeben. Der Bau der Wärmespeicheranlage soll im Frühjahr 2017 beginnen.

Energie- und Zukunftsspeicher Heidelberg

Das Fernwärmenetz in Heidelberg mit einer Netzhöchstlast von 220 bis 250 MW und einer Netzeinspeisung von rund 600 GWh/a versorgt rund 40 000 Menschen der 150 000-Einwohner-Stadt mit Wärme. Rund 75 % der Wärmemenge beziehen die Stadtwerke zur Deckung der Grund- und Mittellast von der Fern-

wärme Rhein-Neckar GmbH (FRN). Die Wärme wird im Großkraftwerk Mannheim (GKM) in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt. Die Stadtwerke selbst betreiben zur Erhöhung des regenerativen Anteils ihrer Fernwärme ein Holzheizkraftwerk und vier Biogas-BHKW in Grundlast und decken damit rund 20 % ihres Wärmebedarfs. Die Spitzenlast wird mit bivalent betriebenen Heizkesseln (Gas und Öl) bedient.

Die regenerativen Erzeugungsanlagen wurden in den vergangenen Jahren innerhalb der »Energiekonzeption 2020« geplant und umgesetzt. Die Stadtwerke planen innerhalb dieser Konzeption eine weitere Umstrukturierung ihres Erzeugerparcs zur Steigerung der Eigenenerzeugung und gleichzeitiger Reduktion der eingesetzten Öl- und Gasmengen in den Heizwerken. Teil des neuen Konzepts sind ein neuer Fernwärmespeicher, Power-to-Heat-Anlagen und ein modulares Gasmotorenheizkraftwerk. Nach vorab durchgeführten Studien von EEB Enerko führt der Einsatz des Wärmespeichers zur

- Reduzierung des Gas- und Ölsatzes in den Spitzenheizwerken
- Absicherung von FW-Lastspitzen und Vermeidung von Neuinvestitionen in Spitzenkessel
- Verlagerung von Fernwärmebezugsmengen im Tagesverlauf, von Hochlastzeiten zu Mittel- und Schwachlastzeiten.

Als Speichertechnologie wurde nach den Studien der Bau eines atmosphärischen Zweizonenspeichers mit einer maximalen Speichertemperatur von 115 °C und einer Kapazität von rund 660 MWh beschlossen. Das Bruttovolumen des Speichers wird rund 20 000 m³ betragen. EEB Enerko plant den Fernwärmespeicher sowie die Anlagentechnik und -gebäude zur hydraulischen Einbindung. Das Projekt wird bis zur Inbetriebnahme begleitet. Der Speicher wird als Erzeuger und Verbraucher an das Netz angeschlossen. Zur optimalen Nutzung der Speicherkapazität und zur Nachheizung des Speichervorlaufs auf Netztemperatur wird zusätzlich ein Regelkessel vorgesehen. Zusätzlich zum Wärmespeicher wird die erste Ausbaustufe einer Power-to-Heat-Anlage mit einer Leistung von 4 MW geplant und in die hydraulische Anlage integriert.

Mit dem Wärmespeicher und der Sektorenkopplung will Michael Teigeler, Geschäftsführer der Stadtwerke Heidelberg Energie, den Anteil erneuerbarer Energien in der Fernwärmeversorgung weiter steigern. Da dieses Ziel sich in die Zukunft

richtet, wurde der Speicher Energie- und Zukunftsspeicher genannt. Ihm kommt laut Teigeler eine weitere Bedeutung zu: »Das Gebäude wird eine neue Landmarke in Heidelberg setzen. Der Speicher soll eine Aussichtsplattform erhalten, eine Gastronomie und viele interaktive Möglichkeiten, die Energiewende zu verstehen und zu erleben.« Mit zum Gesamtkonzept gehört auch ein Energie- und Bewegungspark, der rund um den Speicher entstehen soll.

Mit dieser Vision wurde zur Gestaltung des Speichers und des Parks ein Realisierungswettbewerb ausgelobt, aus dem der Entwurf des Architekturbüros Lava als Sieger hervorging (Bild 4). Dieser wird nun in Zusammenarbeit von Architekten und Ingenieuren konkretisiert und umgesetzt.

Das Projekt befindet sich derzeit in der Planung. Der Baubeginn der Speicheranlage ist für den Herbst 2017 geplant, die Fertigstellung ist für das Jahr 2019 vorgesehen.

Fazit und Ausblick

Schon jetzt spielen große Wärmespeicher vor allem bei der Flexibilisierung der KWK eine große Rolle. Um KWK-Anlagen wirtschaftlich betreiben zu können, werden in der laufenden Stromwende bereits viele Projekte realisiert. Diese Entwicklung wird mit dem weiteren Ausbau der erneuerbaren Energien anhalten.

Soll auch die Wärmewende gelingen, müssen Power-to-Heat-Technologien verstärkt zur Verwertung erneuerbaren Stroms eingesetzt werden. Hierzu müssen von der Politik zunächst die regulatorischen Rahmenbedingungen hinsichtlich Abgaben und Umlagen angepasst werden. Die weitere Entwicklung von Power-to-Heat wird den Bedarf an Wärmespeichern antreiben. Der Ausbau von Wärmespeichern ist derzeit immer noch in seinen Anfängen, doch aufgrund des enormen Potenzials durch die Energiewende ist künftig ein weiterer starker Zuwachs zu erwarten.



Dr. Armin Kraft,
Geschäftsführer,
EEB Enerko
Energiewirtschaftliche
Beratung GmbH,
Aldenhoven



Dr. Marius Maximini,
Technische Planung,
EEB Enerko
Energiewirtschaftliche
Beratung GmbH,
Aldenhoven

>> armin.kraft@enerko.de
marius.maximini@enerko.de

>> www.enerko.de

43208