

Energie nachhaltig speichern: Sollen erneuerbare Energiequellen wie Sonne und Biomasse verstärkt genutzt werden, so steigt der Bedarf an geeigneten Wärmespeichern, zum Beispiel in Form von großvolumigen, unterirdisch liegenden Pufferspeichern. (Quelle: Dehoust GmbH)



Speicher sind der Schlüssel

Zukünftige Energieversorgung hängt von den richtigen Speichertechniken ab

In Zukunft wird die effiziente Speicherung von Energie – egal ob thermischer oder elektrischer Natur – noch bedeutender. Ziel ist die zeitliche Entkopplung von Energieerzeugung und Energieverbrauch. Denn vor allem bei der Nutzung von erneuerbaren Energien, wie zum Beispiel Solar- oder Windenergie, stimmen das Energie-/Wärmeangebot und die Nachfrage sehr oft nicht überein. Um das Potenzial der erzeugten Energie nicht „verpuffen“ zu lassen, hilft nur eines: Die Energie muss gespeichert werden. Speichertechnik ist also ein zentrales Thema, vor allem dann, wenn im Zeichen der Energiewende die Wärme- und Stromversorgung künftig auf regenerativen Füßen stehen und verstärkt dezentral beispielsweise mittels Blockheizkraftwerken bewerkstelligt werden soll.

Sie tun ihre Arbeit im Stillen und sorgen nur in den allerseltensten Fällen für große Aufmerksamkeit. Untergebracht sind sie meist versteckt in einer Ecke und nehmen dem Gebäudenutzer dennoch in den allermeisten Fällen zu viel Platz in Anspruch. Die Rede ist hier von Wärmespeichern: Dem „unscheinbaren Beiwerk“ der Wärmeerzeuger. Ihre Daseinsberechtigung liegt in der Sammlung und Nutzbarmachung von Wärme, der Bereitstellung von Wärme zu bestimmten, vom Nutzer vorgegebenen Zeiten und in der Minimierung des Verschleißes der Wärmeerzeugungsanlage. Ihr Einsatz, so glaubt man, ist somit wenig spektakulär und seit langem erprobt und etabliert.

Von Effizienz war im Bereich der Wärmespeicher nur selten zu hören, oder anders ausgedrückt, Effizienz spielte hier lange Zeit nicht die Hauptrolle – ganz anders gestalteten sich da

die Dinge im Feld der Wärmeerzeuger oder der Wärmeverteilung und Pumpentechnologie. Dieses Verständnis hat sich mittlerweile grundlegend geändert. Getragen vom Gedanken, beispielsweise solarthermische Energie in der Heizperiode vorrätig zu haben beziehungsweise solare Deckungsbeiträge deutlich zu erhöhen. Getragen auch vom Gedanken der Energiewende, des Atomausstiegs und des Umbaus des Energiesystems: Konventionelle Kraftwerkskapazitäten sollen durch teilweise fluktuierende, erneuerbare Energieträger (Wind-, Sonnenenergie) ersetzt werden, Abwärme industrieller Prozesse soll verstärkt genutzt werden und klassische Verbrennungsmotoren sollen im Verkehr sukzessive durch Elektromotoren substituiert werden.

Hieraus ergibt sich zwangsläufig ein hoher Bedarf an Speichern – an Energiespeichern im Allgemeinen. Egal, ob mit die-

sen nur kurzfristig Energie gespeichert oder Energie über lange Zeit „abrufbar“ bleiben soll. Egal auch, ob es sich bei den Energiespeichern um kleine und mobile oder um große und immobile Einheiten handelt.

Fakt ist: Wo der Bedarf hoch ist, also eine große Nachfrage existiert, da muss ein adäquates Angebot gewährleistet sein. Sollen also Energiespeicher ihre „neue Rolle“ als strategische Elemente des zukünftigen Energiesystems perfekt ausfüllen, so müssen sie verfügbar sein. Marktverfügbar in der richtigen Quantität und Qualität. Das setzt strategische Forschung und Entwicklung im Bereich der Energiespeicher voraus.

Energiespeicherung als Schlüsselfrage der Zukunft

Die „Experts Group on Science for Energy“ der **Internationalen Energieagentur** (IEA) hat die Entwicklung effizienter und

kostengünstiger Energiespeicher als die wichtigste Herausforderung zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten identifiziert. Vor allem zur Erschließung und Integration erneuerbarer Energien und zur Steigerung der Energieeffizienz sind Energiespeicher unerlässlich. Hierzu stellt das **Bayerische Zentrum für Angewandte Energieforschung** (ZAE Bayern) fest: „Die Integration stark fluktuierender Energiequellen, wie Wind, Photovoltaik oder Solarthermie, ist auf effiziente Speichertechnologien für elektrische und thermische Energie angewiesen. Zur Effizienzsteigerung in industriellen Prozessen oder Gebäuden ist vor allem die Speicherung von Wärme und Kälte von großer Bedeutung. Nicht zuletzt spielen elektrische Energiespeicher auch eine entscheidende Rolle bei der Elektromobilität.“

Die heutige und vor allem die zukünftige Bedeutung von Energiespeichern ist demnach nicht zu unterschätzen. Speicher erfüllen essentielle Aufgaben im Bereich der technischen und wirtschaftlichen Systemoptimierung: So stellen sie beispielsweise in modernen Hybridfahrzeugen Zusatzleistung zur Verfügung, ermöglichen den Betrieb von Inseln, glätten Lastgänge, erhöhen Nutzungszeiten oder optimieren thermische Prozesse. Speicher sorgen außerdem für erhöhten Komfort und gesteigerte Mobilität – zum Beispiel im Smartphone. Energiespeicher gleichen zeitliche und räumliche Unterschiede zwischen Energieangebot und Energiebedarf aus. Letztendlich sorgen sie für Versorgungssicherheit. Dabei dürfen jedoch die Anforderungen an Energiespeicher für einen flächendeckenden Einsatz nicht unterschätzt werden – Anforderungen vor allem im Hinblick auf die energetische Qualität, die Sicherheit, Lebensdauer, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit. Sollen die Technologien zu Kernelementen zukünftiger Energieversorgungssysteme werden, dann muss eine ausreichende

und bezahlbare Leistungsfähigkeit gegeben sein. Es muss daran geforscht und gearbeitet werden, die Verluste, Selbstentladung und den Hilfsenergieverbrauch zu reduzieren, die Betriebssicherheit und Lebensdauer der Speicher zu steigern und bei der Herstellung, Nutzung und Entsorgung umwelt- und ressourcenschonend zu handeln.

Besonders hinsichtlich der Leistungsfähigkeit beziehungsweise der Energiedichte existieren gewaltige Unterschiede zwischen den verschiedenen Speichertechnologien:

- **Mechanische Speicher:**
Pumpwasserspeicher (1 kWh/m³ bei 360 m Höhe);
Druckluftspeicher (1,3 kWh/m³ bei 30 bar)
- **Thermische Speicher:**
Wasser, Beton (20 bis 80 kWh/m³);
Latentwärmespeicher (ca. 100 kWh/m³);
Sorptionsspeicher (100 bis 300 kWh/m³)
- **Elektrochemische Speicher:**
Lithium-Ionen-Batterie (ca. 200 kWh/m³)
- **Chemische Speicher:**
Gasförmiger Wasserstoff (700 kWh/m³);
Flüssiger Wasserstoff (2.400 kWh/m³);
Benzin (12.000 kWh/m³).

Entwicklungen im Bereich der thermischen Energiespeicher

Als Alternative zu den traditionellen Warmwasserspeichern sollten Latentwärmespeicher bereits vor vielen Jahren in die Gebäude- und Heizungstechnik eingeführt werden (Abb. 1). Latentwärmespeichermaterialien, auch PCM (Phase Change Materials) genannt, speichern große Mengen Wärme durch einen Phasenwechsel – etwa von fest zu flüssig. Die meisten Anwendungen von PCM mit dem Motiv „Energiesparen“ dienen dem Puffern von Temperaturzyklen in Ge-

bäuden. Schwerpunkt ist dabei die Vermeidung von Spitzentemperaturen und somit die Einsparung von Kühlenergie: Bei konventioneller Nachtlüftung wird die Warmluft im Gebäude durch kalte Nachtluft ersetzt. Mit Latentspeichermaterialien kann die Wärmekapazität eines Gebäudes erhöht und dadurch die Nachtkälte in der Gebäudemasse gespeichert werden. Generell lassen sich folgende Anwendungen von Phase Change Materials in Gebäuden unterscheiden:

- PCM in die Gebäudestruktur integriert (Wand, Decke),

- PCM in sonstigen Gebäude-Komponenten (z. B. Fassadenelement),
- PCM in Wärme- und Kältespeichern.

Gegenüber konventionellen sensiblen Wärmespeichern ermöglichen PCM-Speicher hohe Energiedichten bei weitgehend konstanter Betriebstemperatur. So gilt für viele Materialien, dass bei einer Temperaturänderung um wenige Kelvin beim Schmelzvorgang gegenüber sensibler Speicherung eine bis zu 10-fach höhere Wärmespeicherdichte erzielt werden kann. Abbildung

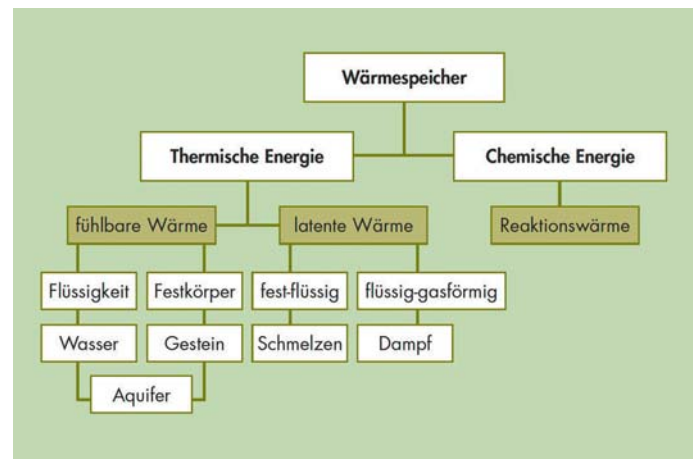


Abb. 1 · Einteilung der Wärmespeicher. (Quelle: BINE Informationsdienst)

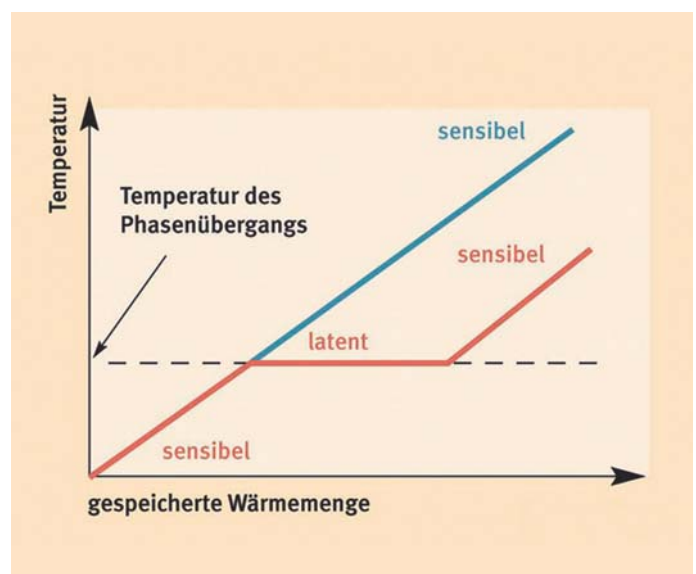


Abb. 2 · Temperaturverlauf als Funktion der gespeicherten Wärmemenge bei sensibler und latenter Wärmespeicherung. (Quelle: ZAE Bayern)



Abb. 3 · Zeolith-Kügelchen können Wasserdampf in ihren Poren binden, dabei entsteht Wärme.
(Quelle: Fraunhofer IGB)

2 zeigt: Die Speicherung von Wärme ist gewöhnlich mit einer Temperaturerhöhung des Speichermaterials verbunden, die der gespeicherten Wärmemenge proportional ist (blaue Kurve). Bei der latenten Wärmespeicherung erfolgt nach Erreichen der Phasenübergangstemperatur eine Zeit lang keine Erhöhung der Temperatur – so lange, bis das Speichermaterial vollständig geschmolzen ist (rote Kurve). Beim Erstarren wird die eingespeicherte Wärme wieder abgegeben.

Aufgrund intensiver Forschung sind heute viele Phasenwechselmaterialien bekannt, die sich für den Einsatz als Latentwärmespeicher eignen und mit ihren Schmelzpunkten einen weiten

Temperaturbereich abdecken. Durch unterschiedliche Mischungen von Wasser mit Salzen können zum Beispiel Salzlösungen mit Schmelzpunkten weit unter 0°C hergestellt werden – oder Salzhydrate mit Schmelzpunkten im Temperaturbereich von 5 bis 130°C. Dadurch ergeben sich viele Anwendungen in den Bereichen Heizen, Kühlen und Klimatisieren. Als organische Materialien eignen sich vor allem Paraffine und Fettsäuren. Sie weisen meist niedrigere Speicherdichten und vergleichsweise höhere Kosten als Salzhydrate auf. Im Gegensatz zu Salzhydraten sind sie jedoch technisch leichter handhabbar.

Energie kann außerdem auf thermochemischem Wege gespeichert werden, zum Beispiel

in Sorptionspeichern. Hier wird einem Sorptionsmedium abwechselnd Wasser entzogen und wieder zugeführt. Die dadurch ausgelösten chemischen Reaktionen führen zur Freisetzung nutzbarer Wärme beziehungsweise Kälte. Zeolithe sind ein solches Medium: Die Speicherkapazität von Zeolithen wird in vielen technischen Bereichen bereits genutzt, angefangen von Geschirrspülmaschinen über Kühlaggregate bis hin zu Gas-Wärmepumpen. Das Potenzial steckt in ihrer porösen Oberfläche (Abb. 3). In einem Gramm der Zeolith-Kügelchen verbergen sich bis zu 1.000 Quadratmeter Oberfläche. Kommt das Material mit Wasserdampf in Berührung, bindet es diesen in den Poren, und Wärme entsteht. Zum Speichern der Wärme wird das Wasser entfernt und das Material – wiederum mit Wärme – getrocknet. Mittels sorptiver Speicherung mit Zeolith Kügelchen kann im Vergleich zu Wasser etwa drei- bis viermal so viel Wärme über längere Zeiträume hinweg eingelagert werden. Die Behälter müssen demnach etwa ein Viertel so groß sein wie Wasserspeicher.

Es wird deutlich, dass im Bereich der Wärmespeicher sehr wohl Alternativen zum „Allerwelts“-Medium Wasser existieren. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass die unterschiedlichen Speichersysteme und Speichermedien unterschiedlichste Einsatzbereiche beziehungsweise Arbeitstemperatu-

ren aufweisen. Somit kann ein Medium allein nicht alle Anwendungsfelder abdecken. Es kommt in Zukunft also darauf an, für einen spezifischen Anwendungsfall, für ein konkretes Projekt die richtige Speicherlösung baukastenmäßig auszuwählen. Für die Alternativen im Bereich der thermischen Speicher – Latentwärmespeicher und Sorptionspeicher – liegen abgesicherte Erfahrungswerte für die unterschiedlichen Anwendungen, wie Solarenergie-, Biomassenutzung und Kraft-Wärme-Kopplung, allerdings noch nicht ausreichend vor, sodass der Nutzen dieser Technologien jeweils im Detail nachgewiesen werden muss, was einen erheblichen planerischen und konzeptionellen Aufwand bedeutet.

Die Ergebnisse einiger Demonstrationsprojekte zeigen jedoch, dass bei geeigneter Dimensionierung und Auslegung signifikante Verbesserungen erreicht werden können: So hat das **Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB** zusammen mit Industriepartnern, unter anderem mit der **ZeoSys GmbH**, einen Zeolith-Wärmespeicher entwickelt. Die Forscher zeigten zunächst an einem 1,5-Liter-Reaktor und später an einem 15-Liter-Reaktor, wie das Verfahren grundsätzlich funktioniert. Sie untersuchten, welche der verschiedenen Zeolithe sich am besten eignen und wie groß die Kügelchen sein müssen. In den Versuchen konnte darüber hinaus die Wärme ohne größere Verschleißerscheinungen viele tausend Male gespeichert werden. Die Ergebnisse übertrugen die Forscher auf eine Versuchsanlage mit 750 Litern Speichervolumen. Der Speicher befindet sich hierbei in einem transportablen Container. Die Wissenschaftler können die Anlage so unter realistischen Bedingungen an den unterschiedlichsten Einsatzorten testen. In einem nächsten Schritt wollen die Fraunhofer-Forscher die Herstellungskosten reduzieren, die Anlage weiter optimieren und

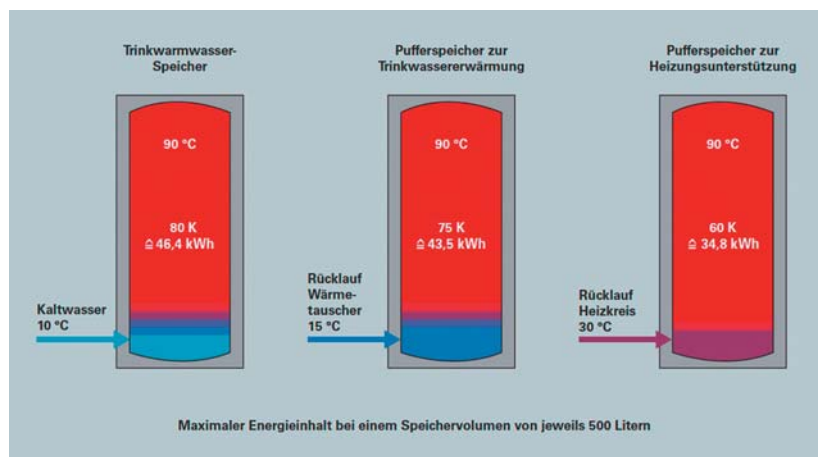


Abb. 4
Der Energieinhalt eines Warmwasserspeichers wird maßgeblich von der niedrigsten Temperatur bestimmt, die im Speicher möglich ist. (Quelle: Viessmann Deutschland GmbH)

für verschiedene Anforderungen anpassen. Zentrales Ziel sei vor allem, die Wärme sowohl in Industrieanlagen als auch in kleinen Blockheizkraftwerken, wie sie etwa in größeren Wohnobjekten vorkommen, speichern zu können.

Wasser als Speichermedium

In der Heizungstechnik wird – nach wie vor – auf thermische Speicher zurückgegriffen, die Wasser als Speichermedium nutzen. Grund: Wasser ist ein jederzeit verfügbares, kostengünstiges und technisch gut beherrschbares Medium. Es lässt sich problemlos lagern, mit Wärme beladen und auch wieder entladen. Wasser weist zudem eine hohe Wärmekapazität von $c_w = 4,187 \text{ kJ}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ beziehungsweise $c_w = 1,163 \text{ Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ auf. Auch Langzeit- und Saisonalspeicher arbeiten üblicherweise mit Wasser als Speichermedium. Mit einem Volumen von mehreren tausend Litern (große Standspeicher) oder gar mehreren tausend Kubikmetern (Betonbecken) ermöglichen diese eine Wärmespeicherung über einen längeren Zeitraum und sind häufig zentraler Bestandteil solarer Nahwärmenetze.

Entscheidend für die Planung eines Warmwasserspeichers ist nicht sein Volumen, sondern der Energieinhalt, welcher von der Temperaturspreizung abhängig ist (Abb. 4). Je größer die Spreizung, desto größer wird der nutzbare Energieinhalt pro Volumeneinheit des Speichers. Um das notwendige Speichervolumen zu bestimmen, wird die Temperaturspreizung auf der Wärmeabnahmeseite berücksichtigt. Da die maximale Speichertemperatur durch das Medium Wasser vorgegeben ist, stellt die minimal mögliche Temperatur das entscheidende Kriterium für die Bestimmung des Speichervolumens dar. Die Masse des gespeicherten Wassers beziehungsweise das gespeicherte Wasservolumen lässt sich mit folgender Formel berechnen:

$$m = \frac{Q}{c_w \cdot \Delta\theta}$$

m Masse in kg
 Q Energieinhalt in Wh
 c_w Wärmekapazität Wasser in $\text{Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
 $\Delta\theta$ Temperaturdifferenz in K

Unabhängig vom Volumen ist es von Vorteil, Speicher schlank und hoch auszuführen. Der Grund dafür liegt in den unterschiedlichen Dichten von kaltem und warmem Wasser und der daraus resultierenden Temperaturschichtung im Speicher. Diese Schichtung ist ausgesprochen stabil, kann allerdings durch unerwünschte interne Strömungen und Verwirbelungen zerstört werden, was unbedingt zu vermeiden ist. In einem Solarpeicher muss beispielsweise eine möglichst kalte untere Schicht gewährleistet sein, damit der Solarkreis mit einer niedrigen Rücklauftemperatur fahren und die thermische Solaranlage mit gutem Wirkungsgrad arbeiten kann. Um auch bei liegenden Speichern eine optimale Temperaturverteilung und laminare Einstromung zu erhalten, müssen speziell ausgelegte Verteilerrohre integriert werden.

Bei der Festlegung des Speichervolumens müssen auch die Wärmeverluste des Speichers beachtet werden. Grundsätzlich gilt die Aussage: Ein großer Speicher ist vorteilhafter als mehrere kleine. Die Wärmeverluste eines großen Speichers sind wegen des besseren Oberflächen-Volumen-Verhältnisses (A/V-Verhältnis) im Vergleich zu mehreren kleinen Speichern immer deutlich geringer. Allerdings müssen bei der Auswahl auch objektbezogene Grenzen wie zum Beispiel die Raumhöhe berücksichtigt werden. Die Speicherverluste werden unterschieden in Bereitschaftswärmeverluste (in kWh/d, vgl. DIN 4753-7) und in die Wärmeverlustrate (in W/K, vgl. DIN EN 12977-3). Je nach Größe weist beispielsweise ein hochwertiger Standardspeicher zur solaren Trinkwasserer-



Abb. 5 · Stehender Heizungspufferspeicher mit hochwirksamer PUR-Schaum-Isolierung und zusätzlicher GFK-Außenschale für den unterirdischen Einbau. (Quelle: Dehoust GmbH)

wärmung im Einfamilienhaus einen Wärmeverlust zwischen 1,5 und etwa 3 kWh/d auf – vorausgesetzt, der Speicher und dessen Anschlüsse wurden optimal ausgeführt. Bei unzureichender Dämmung können die Verluste aber deutlich höher ausfallen. Besonders kritisch sind mangelhaft gedämmte Speicheranschlüsse zu sehen. Eine wirksame und hocheffektive Isolierung des Speichers ist somit eine Grundvoraussetzung für den wirtschaftlichen Betrieb (Abb. 5).

Heizwasser-Pufferspeicher als „Energieverwalter“

In Heizungsanlagen treten Wärmespeicher zum Beispiel als bivalente Speicher-Wassererwär-

mer in Erscheinung, die mit zwei Wärmeübertragern ausgestattet sind – ein unterer für den Anschluss an den Kollektorkreis zur solaren Erwärmung des Trinkwassers und ein oberer für den Anschluss an die Nacherwärmung durch den Heizkessel. Dagegen werden Heizwasser-Pufferspeicher, aufgrund der schlechten Regelbarkeit, für Heizkessel zur Verfeuerung von Scheitholz notwendig. Denn der Wärmeinhalt des im Brennraum enthaltenen Brennstoffs beziehungsweise die Wärmenentwicklung im Brennraum ist häufig größer als die momentane Wärmeabnahme der Verbraucherkreise. Weiter benötigen unregelmäßig Wärmequellen einen Pufferspeicher zur Begrenzung der Schaltzyklen der

Kompressoren, da auch hier in Schwachlastzeiten die Wärmeabnahme durch die Verbraucher nicht sichergestellt ist. Pufferspeicher finden ihren Einsatz außerdem bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und Blockheizkraftwerken, um ausreichende Betriebszeiten zu gewährleisten. Puffer- oder Kombispeicher (Kombination aus Heizwasser-Pufferspeicher und Speicher-Wassererwärmer) werden also dann verwendet, wenn Heizwasser als Speichermedium gewählt wird. Das ist zum Beispiel auch der Fall, wenn eine thermische Solaranlage neben der Trinkwassererwärmung eine solare Heizungsunterstützung gewährleisten soll. In Pufferspeichern können so die Energieströme in bi- oder multivalenten Anlagen optimal „verwaltet“ werden (Abb. 6).

Da es sich um geschlossene Speicherkreise handelt, können Pufferspeicher aus Stahl ohne jeglichen Korrosionsschutz verwendet werden. Zudem werden sie mit geringerem Druck betrieben und bieten so einen Preisvorteil gegenüber Speicher-Wassererwärmern, welche Trinkwasser als Speichermedium nutzen. Weiter sind Pufferspeicher aus Kunststoff marktverfügbar. Dieses Material ist leicht und preisgünstig, kann allerdings nur mit geringeren Maximaltemperaturen und drucklos betrieben werden.

Abgestimmt auf die jeweiligen baulichen Voraussetzungen können Heizwasser-Pufferspei-

cher oberirdisch aber auch unterirdisch aufgestellt werden. Gerade die unterirdischen stehenden Warmwasser-Wärmespeicher schließen eine Lücke im Marktangebot: Denn nicht selten werden zu kleine Speicher eingebaut, da der Platz im Haus beziehungsweise im Heizungskeller nicht ausreicht.

Fazit

Effiziente Warmwasserspeicher setzen eine niedrige Wärmedurchlässigkeit der verwendeten Materialien sowie ein möglichst kleines A/V-Verhältnis voraus. Zur reinen Vermeidung von Wärmeverlusten wären demnach kugel- oder würfelförmige Speicher ideal. In der technischen Anwendung haben sich aber zylindrische Formen durchgesetzt, welche eine stabile Schichtung des Wassers auf unterschiedlichen Temperaturniveaus begünstigen und zudem einfacher zu handhaben sind. Eine Schlüsselrolle bei der Speicherung thermischer Energie spielt der Pufferspeicher: Als „Energieverwalter“ ermöglicht dieser die Integration unterschiedlicher Wärmeerzeuger und -abnehmer. Außerdem kann er bei geringer Wärmeabnahme die Energie vorrätig speichern oder bei Bedarf Leistungsspitzen abfedern. Gepaart mit einer optimierten Regelung und einem ausgefeilten Wärmemanagement ermöglichen diese Fähigkeiten eine strategische Einbindung der unterschiedlichsten regenerativen Quellen – ganz im Sinne der Energiewende. Effiziente Wärmespeicher und Wärmenetze bilden das Rückgrat einer auf erneuerbaren Energien basierenden, zukunftsfähigen Energieversorgung. Die Entwicklung effizienter und kostengünstiger Energiespeicher kann somit als die wichtigste Herausforderung zukünftiger Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten identifiziert werden. Denn vor allem um das Stromnetz langfristig stabil zu halten, braucht es Möglichkeiten, Energie kurz- und langfristig zu speichern. ■

[J. Gamperling]

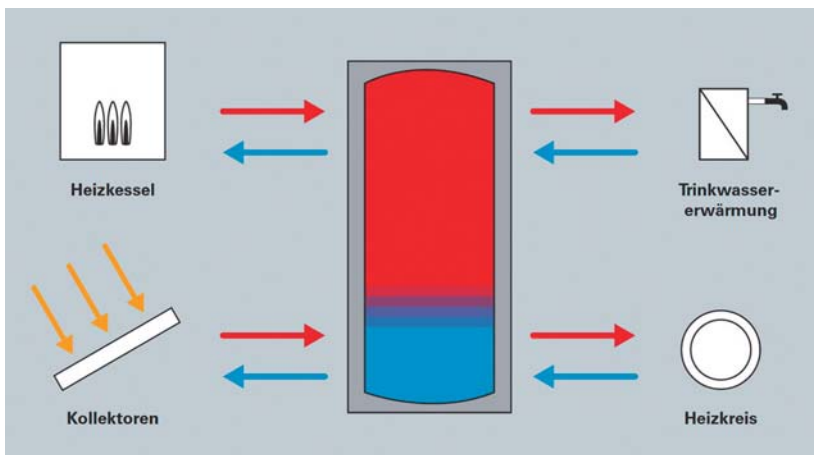


Abb. 6 Als „Energieverwalter“ ermöglicht der Pufferspeicher die Integration unterschiedlicher Wärmeerzeuger und -abnehmer. (Quelle: Viessmann Deutschland GmbH)