



## Große Wärmespeicher kostensparend errichten

Ein neu entwickelter oberirdischer Warmwasserspeicher in Segmentbauweise auf dem Prüfstand



*Wissenschaftler erproben einen großen oberirdischen Warmwasserspeicher, der durch die Bauweise mit vorgefertigten Stahl-Segmenten geringere Herstellungskosten hat als vergleichbare Konstruktionen. Das Forschungsprojekt OBSERW baut auf den Erfahrungen mit einem großen Kaltwasserspeicher auf, der sich seit über 10 Jahren im Fernkältenetz der Stadt Chemnitz bewährt. Das in Form und Größe flexible Bauprinzip konnte erstmals auf Warmwasserspeicher übertragen werden, die hohen Temperaturen und Temperaturwechseln standhalten müssen.*

Oberirdische Kaltwasserspeicher mit emaillierten und eingedichteten Segmenten lassen sich kostengünstig herstellen und funktionieren zuverlässig. Dies hat der Bau und langjährige Betrieb eines großen Tankspeichers für das Fernkältenetz der Stadt Chemnitz gezeigt. Um die Segmentbauweise auch für Wärmespeicher nutzbar zu machen, hat ein Konsortium aus Forschung und Industrie das Konstruktionsprinzip, zusammen mit einer Vielzahl von Detaillösungen, weiter entwickelt. „Wir haben die komplexe Aufgabenstellung in einem dreistufigen Verfahren bearbeitet“, erläutert Prof. Thorsten Urbaneck, der das Verbundprojekt koordinierte. „Ausgehend von Werkstoffuntersuchungen in kleinem Maßstab über Laboruntersuchungen von Komponenten haben wir letztlich alle Teilergebnisse zusammengeführt und an einem Pilotspeicher erprobt.“ Dieser Demonstrator wurde in Nortorf, Schleswig-Holstein errichtet. Er fasst etwa 100 m<sup>3</sup> und kann mit einer Leistung von bis zu 230 kW be- und entladen werden. „Perspektivisch können wir Speichergrößen zwischen 500 bis 6.000 m<sup>3</sup> realisieren“, erklärt Thorsten Urbaneck. Zusammen mit den niedrigen Wärmeverlusten und einer stabilen Temperaturschichtung erschließen sich dadurch viele Einsatzmöglichkeiten, sowohl für Kurzzeit- als auch Langzeit-Speicherzyklen. In Solar- und Fernwärmesystemen

Dieses Forschungsprojekt wird gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

kann der Speicher zur Druckhaltung beitragen und so Systemdienste erbringen. Entwicklungsziele waren zudem niedrige Investitions- und Betriebskosten.

### Konstruktionsmerkmale im Überblick

Im Vergleich zu existierenden Flachbodentanks und Kaltwasserspeichern wurde das Konstruktionskonzept grundlegend überarbeitet. Der oberirdische Tankspeicher besteht aus verschraubten Stahlsegmenten. Das Speicherwasser ist unten durch druckbelastbare Schaumglasplatten thermisch vom Betonfundament getrennt. Auch die Wand und die Schwimmdecke sind zur Vermeidung von Wärmeverlusten gedämmt. Die Stärke der Wärmedämmschicht lässt sich entsprechend den Anforderungen anpassen. Der Demonstrator wird, wie es für die Kurzzeitspeicherung in Netzen mit Kraft-Wärme-Kopplung üblich ist, mit zwei radialen Diffusoren nach dem Verdrängungsprinzip be- und entladen. Diese sorgen durch eine radiale Querschnittserweiterung für einen Abbau der zunächst hohen Strömungsgeschwindigkeiten, wodurch sich warmes und kaltes Wasser kaum vermischen und die Temperaturschichtung im Speicher erhalten bleibt. Eine Besonderheit ist die Freiformgestaltung des radialen Diffusors mit sehr niedrigen Druckverlusten. Damit wird eine Unterschreitung des Dampfdruckes im Belader vermieden und es ist eine Entladung bis zu ca. 98 °C möglich. Die gleiche Konstruktion eignet sich auch für solarthermische Systeme mit variablen oder konstanten Vorlauf-Temperaturen. Prinzipiell sind Speichervolumina von bis zu 6.000 m<sup>3</sup> sowie Be- und Entladeleistungen von bis zu 56 MW möglich. Ein Einsatz zur Langzeit-Speicherung kommt auch in Frage.

Das Druckniveau im Dachraum des Speichers entspricht dem Umgebungsdruck. Die maximale Speichertemperatur wird durch den Siedepunkt des Wassers bestimmt. Das heißt, der Speicher ist nicht für klassische Primärnetze mit Vorlauf-Temperaturen von über 100 °C konzipiert. Dieser Beschränkung stehen jedoch gewichtige Vorteile gegenüber: Druckbehälterkonstruktionen mit starken Stahlwänden sind nicht notwendig. Kostengünstig können große Speichervolumina mit guter Wärmedämmung und kleinem Oberflächen-Volumen-Verhältnis hergestellt werden. Dies mindert die externen Wärmeverluste. Auch der Aufwand für Verrohrung und Instrumentierung ist gering.

Ein besonderes Augenmerk lag auf der Abdichtung der Segmente und der Schraubverbindungen. Der Dichtstoff muss hohen Wassertemperaturen und wechselnder Temperaturbeanspruchung dauerhaft standhalten. Auch die Beherrschung von Wasserdampf- und Sauerstoffdiffusion stellte eine Herausforderung dar. Ebenfalls mussten Lösungen zur Minimierung von Wärmebrücken gefunden werden.

### Dichten, Beschichten und Dämmen

Eine zentrale Aufgabe war es, die Dichtigkeit der Segmentfugen dauerhaft zu gewährleisten. Im Labor untersuchten die Wissenschaftler verschiedene Dichtstoffe auf ihre thermisch-mechanische Belastbarkeit. Die besten Ergebnisse lieferte ein kondensationsvernetztes Silikon. Dieses kam dann auch im Demonstrator zum Einsatz.

Für den Korrosionsschutz der Stahlsegmente, der gleichzeitig die Wasserqualität gewährleistet, wurden verschiedene Beschichtungen im Labor geprüft und an-

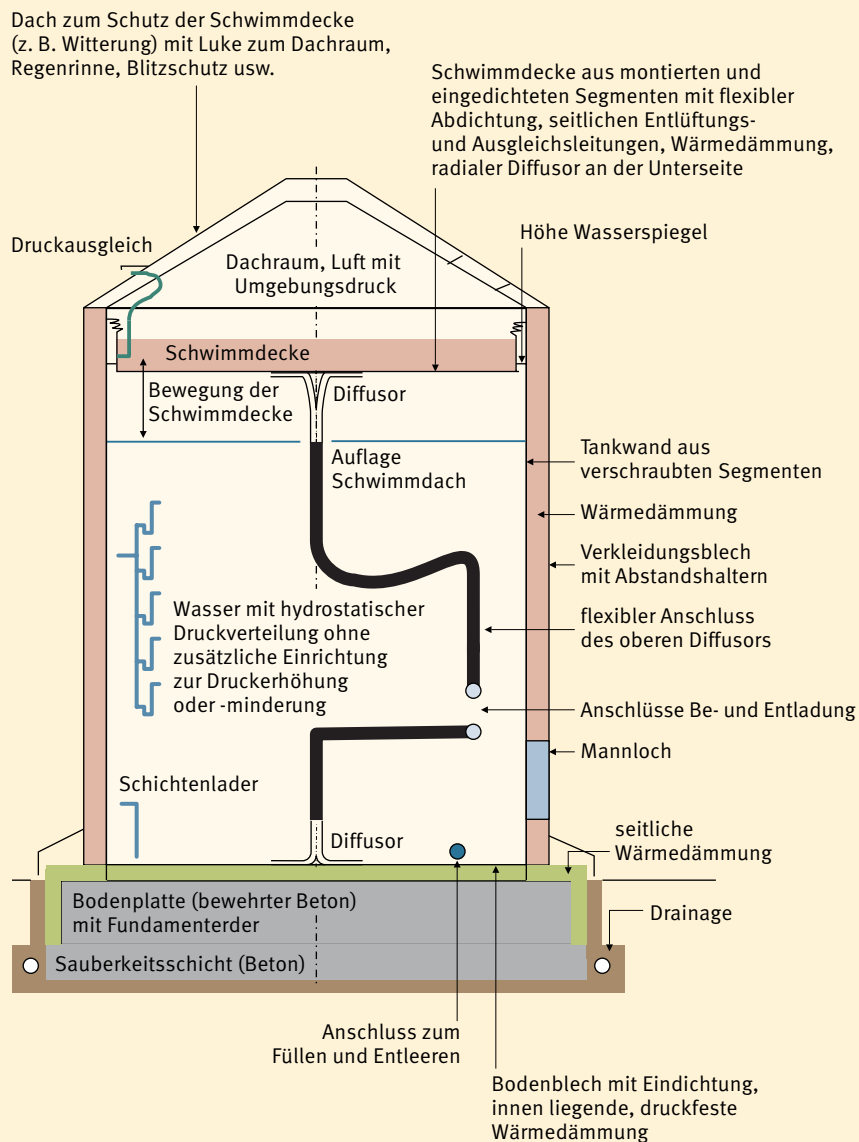


Abb. 1 Schematischer Aufbau des Demonstrators

schließend am Demonstrator praktisch erprobt. Fast alle Beschichtungen zeigten nach etwa einem Jahr Betrieb mit Temperaturbeanspruchungen von bis zu 92 °C keine sichtbaren Veränderungen und eignen sich somit als Korrosionsschutz.

Parallel untersuchten und verglichen die Projektpartner verschiedene Wärmedämmstoffe für die Decken- und Wanddämmung. Aus technischen, wirtschaftlichen und ökologischen Gründen erwiesen sich dabei schüttfähige Polyurethan-Partikel als beste Wahl. Diese werden als Recycling-Material zu vergleichsweise niedrigen Kosten angeboten. Das Schüttgut füllt Zwischenräume, die zwischen dem Verkleidungsblech und der geschraubten Wand auftreten, problemlos auf. Dem gegenüber wäre der Einbau von Wärmedämmplatten sehr viel aufwendiger gewesen, denn die Verschraubung der Segmente sowie die Abstandshalter und weitere Bauelemente erschweren eine Montage. Die Einfülltechnik reduziert somit auch die Herstellungskosten.

Typische Problempunkte von Dämmschüttungen erwiesen sich in praxisnahen Tests als unkritisch. So weist das Ausgangsmaterial Schwankungen in der Produktqualität auf, diese wirken sich aber im betrachteten Anwendungsfall nicht auf die Verwendbarkeit und nur unwesentlich auf die Dämmwirkung aus. Es lassen sich Schüttungen über mehrere Meter Füllhöhe, z. B. im Wandaufbau, realisieren, ohne dass es zu wesentlichen Änderungen der Eigenschaften oder zu Setzungen kommt.



**Abb. 2** Aufbau der Speicherwand: Das Verkleidungsblech ist über thermisch entkoppelte Edelstahl-Streifen mit den verschraubten Segmenten verbunden. Der Zwischenraum wird durch eine Polyurethan-Schüttung gedämmt.



**Abb. 3** Oben links: die Schwimmdecke im Dachraum ist flexibel abgedichtet. Zur Dämmung werden die Segmente mit einer PU-Schüttung befüllt. Den Abschluss bilden begehbare XPS-Wärmedämmplatten. Unten links: der obere Diffusor ist in die Schwimmdecke integriert. Seine Form wurde speziell optimiert. Rechts: Der 100 m<sup>3</sup> fassende Demonstrator in Nortorf wurde über ein Jahr ausgiebig getestet.

Die Hydrophobierung der Partikel erwies sich als äußerst effektiv. Unter Wasser gelagerte Partikel nehmen auch über Monate hinweg nur sehr wenig Wasser auf. Schüttungen mit Kontakt zur Umgebungsluft trocknen schnell. Die Wissenschaftler konnten keine feuchtigkeitsbedingten signifikanten Degradationsvorgänge feststellen.

Wie bei den meisten Dämmstoffen steigt die effektive Wärmeleitfähigkeit mit der Temperatur, hier allerdings nur schwach und unkritisch. Beachtenswerter sind hingegen Konvektionsströmungen, die zwar im Deckenaufbau vernachlässigbar sind, bei der senkrechten Lage des Wandaufbaus jedoch die Dämmwirkung vermindern können. Durch Konvektionsbremsen (XPS-Platten) ließen sich die Transportvorgänge im Labor jedoch wirksam unterdrücken.

### Segmentbauweise auch bei der Schwimmdecke

Der Speicher unterscheidet sich von bisherigen Konstruktionen vor allem im Dachraum. Das Dach aus gekanteten Blechen gewährleistet den Schutz des Pilotspeichers vor Umwelteinflüssen. Bei größeren Speichern ist der Einsatz von Gespärredächern vorgesehen. Auch für die Schwimmdecke verfolgten die Wissenschaftler konsequent die Segmentbauweise. So konnten sie auch hier die Vorteile des Leichtbaus sowie eines einfachen Transports nutzen. Die Decke wurde aus Einzelbauteilen zu einer festen Platte verschraubt, deren Stabilität die Montage des Diffusors erlaubt. Bis

zu einer Speichergöße von 6.000 m<sup>3</sup> ist ein einzelner Diffusor ausreichend. Da sich der radiale Diffusor direkt an der Unterseite der Schwimmdecke befindet, erlaubt er die Nutzung der gesamten Speicherzone. Weiterhin treten nur geringe Mischeffekte zwischen dem einströmendem Beladefluid geringerer Dichte und dem im Speicher befindlichen Fluid höherer Dichte auf. Dies ist besonders wichtig für eine hohe Qualität der thermischen Schichtung.

Eine Folie dichtet den Randbereich zwischen Speicherwand und Schwimmdecke flexibel ab. Auch diese wurde nach Laborversuchen unter verschiedenen Fabrikaten ausgewählt. Die getestete Konstruktion ermöglicht einen Höhenausgleich von etwa 70 bis 100 cm. Die Höhenauslenkung orientiert sich an den Erfordernissen größerer Speicher. Damit kann der Speicher temperaturbedingte Volumenänderungen sehr gut kompensieren. Analog zum Wandaufbau wurde eine Partikel-Schüttung als Wärmedämmung eingesetzt. Auf den Stegen der Schwimmdecke verlegte Hartschaum-Platten erlauben es, den Dachraum zu begehen und zu inspizieren.

### Aufbau des Bodens

Die Speicherwand ist direkt auf dem Fundament befestigt. Der Lastabtrag der Speicherwand findet demzufolge direkt in das Fundament statt. Die Wärmedämmung aus Schaumglasplatten ist auf dem Fundament montiert. Ein Edelstahlblech schließt den Speicher am Boden ab und schützt die innenliegende Dämmung gegen den Eintritt von Speicherwasser. Die Abdichtung zwischen Bodenblech und Speicherwand wird im Anschlussbereich mit dem gleichen Dichtstoff realisiert, der zur Abdichtung der Wandsegmente zum Einsatz kommt. Der gesamte Wandaufbau dehnt sich bei Temperaturerhöhung aus und zieht sich bei einer Temperaturabsenkung wieder zusammen. Daher sind die Dichtungen besonders belastet. Im Testbetrieb traten aber keinerlei Probleme auf. Boden und Wandanschluss sind nahezu frei von Wärmebrücken und nur das Bodenblech trennt die Wärmedämmschichten vom Speichermedium. Es kommt deswegen zu keinen Aufheizverlusten.

### Fazit und Ausblick

Das Projekt hat gezeigt, dass durch neue Entwicklungen und vielfältige Optimierungen ein neuartiger Speichertyp entstanden ist. Die vielen Versuche im Labor und unzählige Simulationen wurden hier nicht vorgestellt. Basierend darauf wurde der Demonstrator erstellt und anschließend intensiv geprüft. Hier konnten komplexe Versuche die Praxistauglichkeit bzw. die Erfüllung der Projektziele nachweisen. Nach den ersten Vorstellungen des Demonstrators verzeichnen die Projektpartner ein reges Interesse von Stadtwerken, Planungsbüros und öffentlichen Einrichtungen.

Die Forscher sehen zukünftig zwei Tätigkeitsfelder. Diverse konstruktive Details (bspw. Wärmebrücken) können weiterentwickelt werden, um die externen Wärmeverluste weiter zu reduzieren, eine einfachere Fertigung zu ermöglichen und eine kostengünstige Herstellung zu gewährleisten. Der nächste große Schritt besteht dann in der Überführung der neu entwickelten Konstruktionsprinzipien auf sehr große Speicher und die Anpassung an die damit verbundenen höheren Lasten.



## Wärmespeicher in Wärmenetzen

In Wärmeversorgungssystemen lassen sich mit thermischen Energiespeichern viele Vorteile realisieren. Ihr Einsatz vermindert oftmals Investitionen im Spitzenlastbereich, steigert die Wirkungs- bzw. Nutzungsgrade und reduziert Betriebskosten. Beispielsweise kann das Zu- und Abschalten eines Erzeugers vermieden werden, wodurch sich Anfahrverluste vermindern und Laufzeiten erhöhen. Der Betrieb bei optimalen Betriebspunkten senkt Verbrauch und Verschleiß. Durch die zeitliche Entkopplung von Wärmeüberschuss und Netzlast erhält das Versorgungssystem eine höhere Flexibilität. Heizkraftwerke können sich durch die Zwischenspeicherung von Wärme teilweise von der Fernwärmenachfrage entkoppeln und strompreisorientiert betrieben werden.

Ein wesentlicher Vorteil thermischer Speicher ist, dass auch mehrere Energiequellen wie z. B. Solarthermie, Wärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung und Biomasse gut eingebunden werden können. Vor allem die Möglichkeit zur Integration erneuerbarer Energiequellen verbessert den Primärenergiefaktor des gesamten Wärmeversorgungssystems. Mit zunehmendem Anteil der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien steigt der Stellenwert der Wärmespeicherung bei KWK-Anlagen.

Aufgrund dieses vielfältigen Nutzens wurden in den letzten Jahren zahlreiche Wärmespeicher in Fernwärmesystemen installiert. Hier kann man eine starke Nachfrage über die Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz-Förderung beobachten. Die Kapazität von Großwärmespeichern hat sich in Deutschland zwischen 2012 und 2016 von 8 GWh<sub>th</sub> auf 20 GWh<sub>th</sub> mehr als verdoppelt. Ein Forschungsprojekt (FKZ 03ET1188A) gibt für einen flächendeckenden Ausbau von Wärmespeichern in der Fernwärmeversorgung ein Potenzial von ca. 88 GWh<sub>th</sub> an. Die Forscher untersuchten, unter welchen Randbedingungen die Investition in den Bau eines Wärmespeichers und einer Power-to-Heat-Anlage wirtschaftlich ist und welche Verbesserungen sich aus umweltpolitischer Sicht ergeben. Das Projekt wurde an der TU Berlin in Zusammenarbeit mit der Hochschule Hannover, der Universität Leipzig sowie mit Beratung durch Industriepartner durchgeführt.

Klassische Fernwärmenetze werden oft bei Temperaturen über 100 °C betrieben. Dort kommen vorwiegend schlanke Druckbehälter-Konstruktionen oder sogenannte Zwei-Zonen-Speicher zum Einsatz. Viele Wärmeversorger streben aufgrund der entsprechend hohen thermischen Verluste des Netzes niedrigere Vorlauf-Temperaturen an. Das OBSERW-Projekt berücksichtigt diese Tendenz, da der Speicher für Sekundärnetze konzipiert ist. Weitere Trends sind die Dezentralisierung der Energieerzeugung sowie die Integration in Quartierskonzepte. Auch hierfür kann dieser Speichertyp eingesetzt werden.

## Projektbeteiligte

- » **Praxisnahe Entwicklung und Demonstration:** farmatic tank systems, Nortorf, Dipl.-Ing. Robert Beyer, info@farmatic.com | farmatic.com/de/
- » **Koordination/Wissenschaftliche Begleitung:** TU Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau, Professur Technische Thermodynamik (PTT), Prof. Dr.-Ing. habil. Thorsten Urbaneck www.tu-chemnitz.de/mb/TechnThDyn/
- » **Wissenschaftliche Begleitung:** Universität Stuttgart, Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE) (ehemals ITW), Dr.-Ing. Harald Drück, Dipl.-Ing. Dominik Bestenlehner, M.Sc. Markus Gensbaur, M.Sc. Stephan Lang, pm@igte.uni-stuttgart.de | https://www.igte.uni-stuttgart.de

## Mehr vom BINE Informationsdienst

- » Kältespeicher optimiert Fernkältesystem. BINE-Projektinfo 12/2008
- » Vakuumtank speichert Wärme. BINE-Projektinfo 14/2014
- » Dieses Projektinfo gibt es auch online und in englischer Sprache unter [www.bine.info/Projektinfo\\_10\\_2018](http://www.bine.info/Projektinfo_10_2018).

BINE Informationsdienst berichtet aus Projekten der Energieforschung in seinen Broschürenreihen und dem Newsletter. Diese erhalten Sie im kostenlosen Abonnement unter [www.bine.info/abo](http://www.bine.info/abo)

## Impressum

**Projektorganisation**  
Bundesministerium  
für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
Jörg vom Schloß  
52425 Jülich

**Förderkennzeichen**  
03ET1230A-C

**ISSN**  
0937-8367

**Herausgeber**  
FIZ Karlsruhe · Leibniz-Institut  
für Informationsinfrastruktur GmbH  
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
76344 Eggenstein-Leopoldshafen

**Autor**  
Dr. Franz Meyer

**Urheberrecht**  
Titelbild und alle Abbildungen:  
T. Urbaneck, TU Chemnitz  
Eine Verwendung von Text und  
Abbildungen aus dieser Publikation  
ist nur mit Zustimmung der BINE-Redaktion  
gestattet. Sprechen Sie uns an.

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Projektinfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228 92379-44**  
**[kontakt@bine.info](mailto:kontakt@bine.info)**

**BINE Informationsdienst**  
Energieforschung für die Praxis  
Ein Service von FIZ Karlsruhe

Kaiserstraße 185–197  
53113 Bonn  
[www.bine.info](http://www.bine.info)

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages