



Materialforschung für Großwärmespeicher

Verlegung des neuartigen PP-HTR-Kunststoffliners in Høje Taastrup (DK)
Foto: AGRU Kunststofftechnik GmbH / G quadrat
Geokunststoffgesellschaft mbH

Thomas Riegler, Michael Steineder, Tanja Manninger, Matthias J. Rebhan,
Michael Wechtitsch, Norbert Stricker, Jürgen Gether, Gernot M. Wallner,
Lukas Peham, David Nitsche

Nachhaltige und effiziente Wärmenetze beruhen auf der intelligenten Kopplung von (volatilen) Wärmeerzeugern wie Geothermie, Solarenergie und Wärme aus Power2Heat sowie industrieller Abwärme mit Wärmeabnehmern. Großvolumige Warmwasserspeicher dienen dabei als Puffer, um überschüssige Wärme zu speichern und bei Bedarf abzugeben, was den Einsatz erneuerbarer Energien optimiert.

Oberirdische Stahltankwärmespeicher sind dabei eine bewährte Technologie und etablierter Bestandteil in unseren Wärmenetzen, aber auch Tankwärmespeicher aus hochfesten Betonen haben das Potenzial, als Großwärmespeicher (GWS) eingesetzt zu werden. Bereits realisierte Tankwärmespeicher aus Beton werden meist mittels einer zusätzlichen dünn-schichtigen Edelstahlabdichtung ausgeführt¹, welche eine wesentliche Kostenkomponente darstellt. Die nachfolgend beschriebenen Entwicklungen fokussieren auf Tankwärmespeicher aus Beton, die ohne zusätzliche Abdichtung funktionieren und sowohl oberirdisch als auch unterirdisch situiert werden können. Ein weiterer Vorteil von Tankwärmespeichern aus Beton ist beispielsweise die Möglichkeit der Vorfertigung und damit der Verkürzung der Bauzeit. Eine andere Technologie für GWS sind Erdbeckenwärmespeicher, die mit speziellen Kunststoffbahnen gegen den Untergrund abgedichtet werden und die vor allem in Dänemark als kostengünstige Langzeitwärmespeicher bereits

seit Jahrzehnten erfolgreich angewendet werden (siehe auch den Artikel „Die Entwicklung von Erdbeckenwärmespeichern am Beispiel Dänemark“ auf Seite 10 in dieser Ausgabe).

International finden Bemühungen statt, einerseits die Materialien für den Einsatz in GWS weiterzuentwickeln bzw. zu verbessern, um etwa die Dichtigkeit oder die Lebensdauer und den Temperaturbereich der eingesetzten Materialien zu erhöhen. Andererseits werden die Techniken konstruktiv weiterentwickelt, um die Bauzeit von GWS zu verringern, den Erfordernissen in Bezug auf die geotechnischen Anforderungen zu genügen oder Wartung und Instandhaltung von unterirdischen GWS zu verbessern. Neben den nachfolgend adressierten Schwerpunkten werden beispielsweise auch das Wärmedämmstoffverhalten sowie das Verhalten des Untergrundes unter Speicherbetriebsbedingungen erforscht.

Die Entwicklungen zielen darauf ab, Kosten und Ressourcen einzusparen sowie die Leistungsfähigkeit zu verbessern.

Im folgenden Artikel werden Forschungsarbeiten in Bezug auf Hochleistungsbeton für Tankwärmespeicher sowie neuartige Linermaterialien für Erdbeckenwärmespeicher vorgestellt, die im Rahmen des Energieforschungsprogramms des Klima- und Energiefonds in österreichischen Konsortien durchgeführt werden.

¹ <https://www.energieatlas.bayern.de/energieatlas/praxisbeispiele/details,197>



Hochleistungsbeton für Tankwärmespeicher

Im Forschungsprojekt TESconcrete wird die Materialentwicklung von Ultra-Hochleistungsbetonen (UHPC) für den Einsatz in Tankwärmespeichern, der zugehörige Ingenieurbau sowie die Fertigteilentwicklung untersucht.

Bei der Materialentwicklung durch die Smart Minerals GmbH wird neben den hohen Druckfestigkeiten des Ultra-Hochleistungsbetons (150 bis 200 MPa) besonderes Augenmerk auf die Reduktion des Porenraums gelegt, da die Verringerung des Porenraums eine druckdichte Heißwasser-Barriere für das Speichermedium Wasser ermöglicht. Durch den Einsatz von Feinstfüllern, optimierten Zementgehalten und einer angepassten Kornzusammensetzung wird diese druckdichte Heißwasser-Barriere erreicht. Eine Wärmebehandlung von UHPC nach dem Ausschalen kann die Porosität zusätzlich verringern und die Materialfestigkeit weiter erhöhen². Durch das dadurch erzielte dichte Gefüge werden Wasserverluste verringert und zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen wie beispielsweise Edelstahlliner können entfallen. Um den Einsatz ohne Abdichtungsmaßnahmen zu gewährleisten wurde ein umfassendes Vorprüfprogramm durchgeführt, wie beispielsweise Frischbetonprüfungen, Alkali-Kieselsäurereaktionstests, Wärmeausdehnungsprüfungen sowie das Untersuchungen des Schwindverhaltens des UHPC.

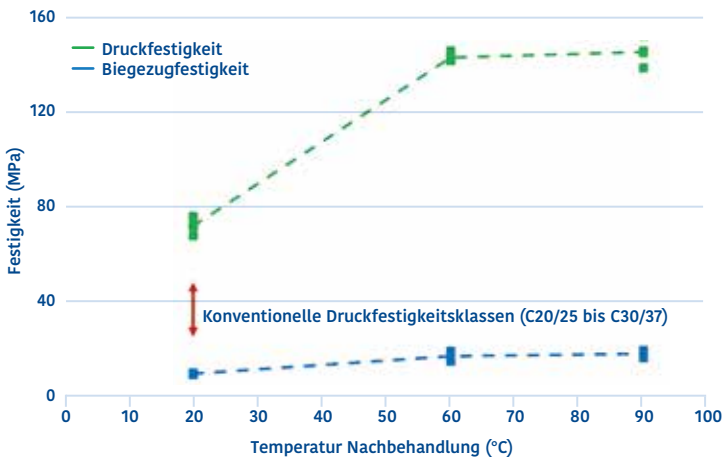


Abbildung 1: Druck- und Biegezugfestigkeit des GWS-UHPC (Ultrahochleistungsbeton für Großwärmespeicher) in Abhängigkeit der Nachbehandlungstemperatur. Die Zunahme der Druck- und Biegezugfestigkeit weist auf eine Änderung des Gefüges und eine Zunahme der Dichtigkeit der Betone mit der Nachbehandlungstemperatur hin
Quelle: Smart Minerals GmbH

Fertigteilmontage

Das statische Konzept von unterirdischen Betontankwärmespeichern besteht darin, große, gekrümmte UHPC-Betonfertigteilelemente vertikal und horizontal vorzuspannen, um den Beanspruchungen aus Wasserdruck und Temperaturbelastungen standzu-

halten. Der Anschluss zur Bodenplatte wird weitestgehend gelenkig ausgebildet, um die Spannungen aus lokalen Schalenbiegemomenten auszugleichen. Die Fertigteilentwicklung erfordert ein komplexes Schalungsbauverfahren, bei dem höchste Präzision und die Einhaltung enger Toleranzen gefordert wird. Eine wesentliche Herausforderung ist die erforderliche 24-stündige Wassernachbehandlung bei 60 °C. Die Dichtung in den Elementstößen erfolgt mit speziellen verdeckten Schlauchdichtungen. Durch die integrierten Kammern passt sich der Schlauch je nach anliegendem Druck flexibel an die Innenwände der Hohlkehle an und gewährleistet so eine optimale Dichtigkeit. Zudem ist die EPDM-Schlauchkammerdichtung thermisch belastbar und hält auch hohen Temperaturen stand, was sie besonders widerstandsfähig und vielseitig einsetzbar macht.

Wechselwirkungen mit dem Untergrund

Neben der Entwicklung der Fertigteilmontage wird im Zuge des Projektes auch die Interaktion zwischen dem GWS und dem Untergrund betrachtet. Besonderer Fokus liegt dabei einerseits auf der Entkopplungsebene zwischen den Fertigteilen und der Baugrubensicherung sowie der Aufstandsfläche des GWS. Ein umlaufender Luftspalt ermöglicht Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen und verringert außerdem die Wärmeabgabe an die Umgebung. An der Aufstandsfläche werden die Einflüsse aus dem Untergrund wie die Gründung zur Setzungsreduktion oder der Auftrieb untersucht. Zudem ist die Interaktion zwischen dem Speicher und dem Boden bzw. dem Grundwasser Untersuchungsgegenstand, um eine unzulässige thermische Beeinflussung³ zu verhindern. Dazu kommen numerische Modelle zum Einsatz, welche sowohl die geotechnischen als auch thermodynamischen Effekte entsprechend abbilden können.

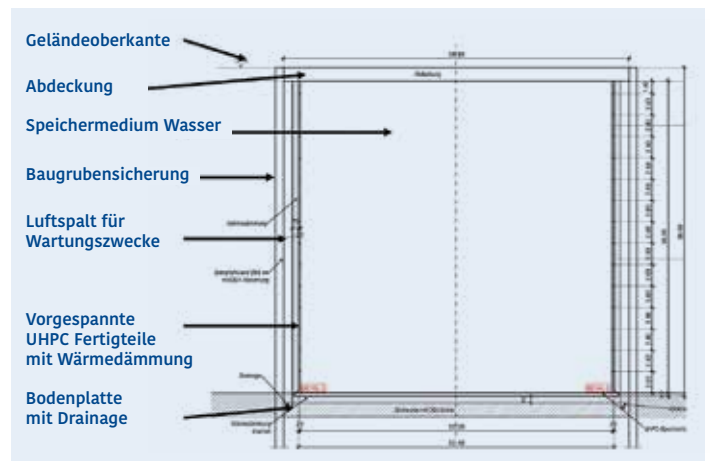


Abbildung 2: Vorgespannte Ultrahochleistungsbeton (UHPC)-Fertigteile mit Wärmedämmung, Vertikalschnitt
Quelle: Wörle Sparowitz Ingenieure Ziviltechniker GmbH

Evaluierung der Entwicklungen

Anhand von Funktionsmustern wird ein umfassendes Prüfprogramm durchgeführt. Dabei werden beispielsweise die Permeabilitätseigenschaften in Abhängigkeit zyklischer Temperatur- und Druckbeanspruchungen der Konstruktion untersucht. Nach Abschluss dieser Tests sind weitere Untersuchungen zur Veränderung der mechanischen Eigenschaften sowie der Gefügestruktur und Porosität durch materialtechnologische und mikroskopische Analysen geplant. Diese Untersuchungen geben Aufschluss über die Dauerhaftigkeit des Materials in dem geplanten Hochleistungskontext.

Zukünftig wird daran gearbeitet, die im Labormaßstab entwickelten Materialien in reale Demonstrationsspeicher zu übertragen um ihre verbesserte Leistungsfähigkeit zu demonstrieren.

Linermaterialien für Erdbeckenwärmespeicher

Erdbeckenwärmespeicher, Pit Thermal Energy Storage (PTES) haben sich als kostengünstige Variante von Großwärmespeichern etabliert. Initiiert durch die bereits oben angesprochenen Pionieraktivitäten in Dänemark befindet sich mittlerweile eine Vielzahl

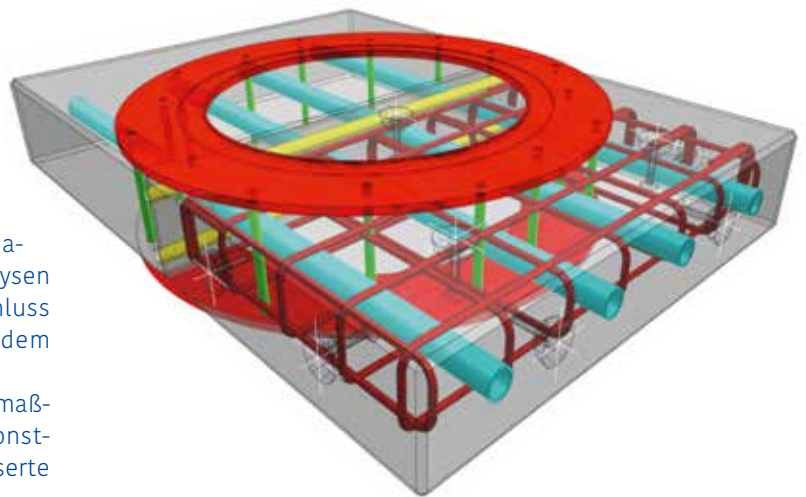


Abbildung 3: Funktionsmuster der UHPC-Fertigteilbauweise für Großwärmespeicher zum Test der Permeabilität der Fugenkonstruktion (gelb) in Abhängigkeit des Vorspanngrades sowie von Änderungen der physikalischen und mechanischen Betoneigenschaften durch zyklische Heißwasser- und Druckbeaufschlagung, blau: Leerverrohrung für Vorspannlitzen, grün: Leerverrohrung für Laborteststand-Anschluss, dunkelrot: Bewehrungsstahl, hellrot: Dichtung für Laborteststand-Anschluss

Quelle: MABA Fertigteilindustrie GmbH

ANZEIGE



Die Dichtungsbahn für die neue Generation von Wärmespeichern

- Schlüsseltechnologie für die Energiewende
- Längere Lebensdauer unter Extrembedingungen
- Kosteneffizienter, flexibler Betrieb
- Exzellente Produkteigenschaften



weiterer Erdbeckenwärmespeicher in Deutschland, Finnland, Frankreich, Österreich, Polen oder China in Konzeption, Planung oder Umsetzung. Eindeutig feststellbar ist der Trend zu immer höheren Speichertemperaturen. Während bei den meisten dänischen Erdbeckenwärmespeichern das obere Temperaturlimit bei 80 °C liegt, wurde 2022 ein Speicher in Høje Taastrup (DK) mit einer maximalen Wassertemperatur von 90-95 °C in Betrieb genommen.

Wesentliches Merkmal erfolgreich umgesetzter PTES ist ein hoher Anteil leistungsfähiger und gleichzeitig kosteneffizienter Polymerwerkstoffe für die Abdichtung der Speicher gegen das Erdreich, aber auch für die Wärmedämmung der schwimmenden Deckelkonstruktion. Für Erdbeckenwärmespeicher mit einer maximalen Betriebstemperatur von 80 °C sind Polyethylen (PE)-Abdichtungsmaterialien aber auch PE-Schaumstrukturen für die Wärmedämmung bestens etabliert. Mittlerweile gibt es mehrere kommerzielle Anbieter von PE-basierenden Halbzeugen und Verlegungstechnologien (z. B. Solmax, AGRU & G quadrat, Layfield, Termonova).

Im Forschungsprojekt SolPol-6 wird das in Vorgängerprojekten erarbeitete hochtemperaturbeständige Polypropylen (PP-HTR)-Linermaterial weiterentwickelt.

² Ursache hierfür ist unter anderem die gesteigerte puzzolanische Aktivität von Mikrosilica und Quarzmehl bzw. die Zunahme der CSH-Phasen durch die Wärmebehandlung.^[1]

³ vgl. ÖWAV Regelblatt 207 und WRG

Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Fortführung der umfassenden Alterungsuntersuchungen und auf der vergleichenden Lebensdauerabschätzung von PE- und PP-basierenden Linermaterialien für PTES-Speicher mit Maximalbetriebstemperaturen im Bereich von 80 bis 95 °C. Durch umfassende Laborexposition in Heißwasser und -luft in einem Temperaturbereich zwischen 65 und 135 °C wurde für das neuartige PP-HTR-Linermaterial nachgewiesen, dass im Vergleich zu kommerziell erhältlichen PP-Rohrwerkstoffen mit Stabilisierung auf Basis phenolischer Antioxidantien unter einer Grenztemperatur von 110 °C kein ausgeprägter Übergangsbereich mit geringerer Aktivierungsenergie für Abbauprozesse auftritt. Die Zusatzstabilisierung erweist sich als besonders effektiv im Betriebstemperaturbereich des Erdbeckenwärmespeichers bis 95 °C. Zudem wurde im Rahmen der mittlerweile knapp 10-jährigen Exposition im Labormaßstab die Gebrauchsdauer

bei 105 °C experimentell nachgewiesen. Wie in der Dissertation „Global ageing behaviour of polyolefinic liner and foam materials for large thermal energy storages“ an der JKU Linz klar herausgearbeitet und kürzlich beim peer-review Journal of Energy Storage eingereicht, wurden für den neuartigen PP-HTR-Linerwerkstoff bei Speichermaximaltemperaturen zwischen 85 und 95 °C um einen Faktor von etwa 6 höhere Lebensdauerwerte als für üblicherweise eingesetztes PE abgeschätzt.

Materialforschung ist zentral für die Entwicklung der Großwärmespeichertechnologie, da sie deren Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und Effizienz steigert. Neue Materialien ermöglichen höhere Speichertemperaturen und reduzieren Wärmeverluste, was die Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit verbessert. Fortschritte in Dichtungs- und Dämmmaterialien machen Bau und Betrieb sicherer und kosteneffizienter – ein wichtiger Schritt für die Energiewende. ■



Dipl.-Ing. Thomas Riegler ist Projektleiter der Forschungsgruppe „Thermische Energiespeicher“ bei AEE INTEC. t.riegler@aee.at

Dr. techn. Michael Steineder ist Forschungsmitarbeiter bei der Smart Minerals GmbH. steineder@smartminerals.at

Dr. Tanja Manninger leitet den Fachbereich Forschung bei der Smart Minerals GmbH. Manninger@smartminerals.at

Dr. techn. Mattias J. Rebhan ist Wissenschaftler am Institut für Bodenmechanik, Grundbau und Numerische Geotechnik an der Technischen Universität Graz.

Dipl.-Ing. Michael Wechtitsch ist Abteilungsleiter für Tragwerksplanung bei Wörle Sparowitz Ingenieure ZT GmbH.

Norbert Stricker ist technischer Projektleiter bei der MABA Fertigteileindustrie GmbH.

Jürgen Gether ist Geschäftsführer bei STT GmbH.

ao.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot M. Wallner leitet die Forschungsplattform SolPol und das Christian Doppler Labor AgePol am IPMT der JKU Linz. gernot.wallner@jku.at

Dipl.-Ing. Dr. techn. Lukas Peham hat auf der SolPol-Forschungsplattform und im CD-Labor AgePol seine Doktorarbeit zur vergleichenden Bewertung von PE- und PP-Materialien für PTES durchgeführt. lukas.peham@jku.at

Dipl.-Ing. David Nitsche ist Werksleiter für Folienextrusion bei der AGRU Kunststofftechnik (Bad Hall, OÖ).
Internet: www.agru.at, Email: nd@agru.at

Weiterführende Informationen / Links im E-Paper



Projekt
TESconcrete

^[1] Jennifer C. Scheydt „Mechanismen der Korrosion bei ultrahochfestem Beton“, Hochschulschrift, Institut für Massivbau und Baustofftechnologie, Materialprüfungs- und Forschungsanstalt, MPA Karlsruhe, 2013. ISBN: 978-3-7315-0113-8



Foto: Postl

„Forschung und Entwicklung sind für MABA von entscheidender Bedeutung, zum einen um innovative Lösungen zu schaffen und zum anderen unsere Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. Durch enge Kooperationen mit Forschungseinrichtungen können wir neueste Technologien anwenden und in unsere Produkte integrieren. Dies eröffnet uns neue Geschäftsfelder und trägt aktiv zur nachhaltigen Entwicklung in der Bauindustrie bei.“

Franz Buschmüller, Geschäftsführung MABA Fertigteileindustrie GmbH