

KUNSTSTOFFE IM TIEFBAU

Langzeitbeständige Liner für Giga-Wasserspeicher

Gernot M. Wallner, David Nitsche, Klaus H. Albers

KURZFASSUNG

Kunststoffe sind von zentraler Bedeutung für die Transformation des globalen Energiesystems und für die voll-solare Energieversorgung der Menschheit. Im vorliegenden Beitrag wird das hohe Innovationspotential von kostengünstigen Polyolefinen (d.h. auf Kohlen- und Wasserstoff basierende, aliphatische Polymerwerkstoffe) für die Abdichtung von großvolumigen Wasserspeichern aufgezeigt.

ABSTRACT

Plastics are of utmost importance for the transformation of the global energy system and a solar energy-based energy supply of humankind. In this paper, the high innovation potential of cost-efficient polyolefins (i.e., carbon/hydrogen-based, aliphatic polymeric materials) is illustrated exemplarily for durable liners of large, seasonal thermal energy storages.

1. EINLEITUNG

Weltweit steigt der Anteil der in Städten oder urbanen Siedlungen lebenden Bevölkerung. Schon heute liegt dieser Anteil bei über 50%. Für die Wärme- und neuerdings auch Kälteversorgung von Städten stellen Fernwärmenetze aus gesamtheitlicher Sicht die beste Lösung dar. Zur Steigerung des erneuerbaren Energieanteils in Fernwärmenetzen werden zunehmend geothermische Anlagen mit Reststoff-Heizkraft-



Abb. 1. Erdbeckenspeicher mit Kunststoffabdichtung (Quelle: PlanEnergi, Dronninglund Fjernvarme (DK))

werken, Großwärmepumpen und industrieller Abwärme kombiniert. Der Dreh- und Angelpunkt für eine voll-erneuerbare Energieversorgung sind jedoch Großwärmespeicher, die es erlauben das volatile Angebot und den schwankenden Bedarf von Wärme zusammenzuführen. Großvolumige Warmwasserspeicher sind zudem von zentraler Bedeutung für die (industrielle) Sektorenkopplung, die Umsetzung

von Power2Heat-Konzepten und eine erfolgreiche urbane Wärmewende [1].

Ein Forschungsschwerpunkt im Bereich der Kunststofftechnik an der Johannes Kepler Universität Linz (JKU) ist die Entwicklung von erneuerbaren Energieversorgungssystemen auf Basis von innovativen und maßgeschneiderten Polymerwerkstoffen. Während in den SolPol-Forschungsprojekten der Fokus bei solar-thermischen und-elektrischen Systemen aus Kunststoff (z.B. Warmwasserkollektorsysteme; Photovoltaik-Anlagen) liegt (www.solpol.at), werden im österreichischen Leitprojekt „giga_TES“ von einem Konsortium aus Forschungs- und Industriepartnern großvolumige Wasserwärmespeicher entwickelt (www.gigates.at). In diesem Technologiefeld sind derzeit nordeuropäische Länder, insbesondere Dänemark, weltweit führend. Etwa 1 bis 2 Wärmespeichergroßprojekte werden derzeit jährlich in Dänemark umgesetzt (s. Abb. 1). In den skandinavischen und baltischen Staaten wird ein Zubau von etwa 25 Mio. Kubikmetern an Großwasserwärmespeicher in den nächsten 10 Jahren prognostiziert [2]. Dafür werden etwa 5 Mio. Quadratmeter an langzeitstabilen Abdichtungsmaterialien gegen das Erdreich (sogenannte Liner) benötigt.

2. KOSTENGÜNSTIGE ABDICHTUNG VON ERDREICHWÄRMESPEICHERN

Für Solarthermie-Großanlagen haben sich ungedämmte Erdreichwärmespeicher mit Wasservolumina bis zu 200.000 m³ als kostengünstigste Variante etabliert (s. Abb. 1). Ein wesentliches Element dieser großvolumigen Wasserwärmespeicher in Erdbecken-Bauweise ist die Abdichtung gegenüber dem Erdreich und dem Deckel. Während anfänglich kostenintensive Edelstahlbleche bevorzugt wurden, haben sich im letzten Jahrzehnt Kunststoffbahnen am Markt durchgesetzt. Dadurch liegen die Kosten der mit Kunststofflinern ausgestatteten Speicher bei etwa 20 €/m³. Als Werkstoffe



Abb. 2: Verschweißung eines Kunststoffliners (Quelle: AGRU Kunststofftechnik GmbH und IAT GmbH)

dominieren derzeit spezielle Polyethylentypen (PE) mit maßgeschneiderter Stabilisierung. Eine neue Werkstoffgeneration basierend auf temperaturbeständigerem Polypropylen (PP) wird an der Johannes Kepler Universität gemeinsam mit den Firmenpartnern AGRU Kunststofftechnik (Bad Hall), Gabriel Chemie (Gumpoldskirchen) und Lenzing Plastics (Lenzing) im Projekt „giga_TES“ entwickelt.

Als Liner für die Abdichtung werden Membran- oder Plattenhalbzeuge mit einer Wandstärke von etwa 2 mm verwendet. Die derzeit zum Einsatz kommenden Polyethylen (PE)-Rohrwerkstoffe mit spezieller Stabilisierung sind über Extrusion kontinuierlich in Bahnen von etwa 6 m Breite herstellbar, einfach verlegbar und vor Ort verschweißbar (s. Abb. 2). Während die Verlegung von Linern in Österreich beispielsweise von IAT GmbH (Wien) ausgeführt wird, zählt in Deutschland und Nordeuropa G quadrat Geokunststoffgesellschaft mbH (Krefeld) zu den namhaftesten Anbietern.

Durch die Stützwirkung der Tragekonstruktion (z. B. Erdreich bei Großspeichern) werden die mechanischen Lasten auf die Linermaterialien als gering eingestuft. Zu den relevanten Belastungsfaktoren zählen das Wärmeträgermedium Wasser und die Umgebungsluft bei erhöhten Temperaturen. Für Stand-der-Technik-Speicher variiert die Maximaltemperatur im Deckelbereich zwischen 55 und 80°C. In einem aktuellen Projekt in Kopenhagen (DK) ist ein Großwärmespeicher mit permanenter Temperaturbelastung von 95°C im Deckelbereich geplant. Repräsentative jährliche Temperaturbelastungsprofile derartiger Wärmespeicher an unterschiedlichen Stellen (Boden, Mitte, Deckel) sind in Abb. 3 gezeigt. Im Gegensatz zu herkömmlichen Tiefbauanwendungen von Abdichtungsmaterialien mit Einsatztemperaturen zwischen 5 und 45°C, ist die Temperaturbelastung in Großwärmespeichern deutlich kritischer und insbesondere bei Polyethylenmaterialien bereits in der Nähe des Schmelzbereiches. Um Korrosion der metallischen Komponenten (z.B. Be- und Entladevorrichtungen, Rohrleitungen) zu vermeiden, wird zunehmend aufbereitetes Wasser mit einem pH-Wert um 9 und einem etwa 1000-fach reduzierten Sauerstoffgehalt im Vergleich zu herkömmlichem Trinkwasser eingesetzt.

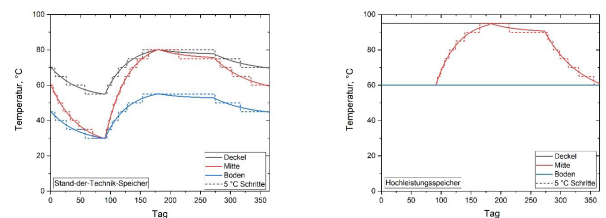


Abb. 3: Temperaturbelastungsprofile im Bereich des Deckels, der Speichermitte und am Speicherboden für einen Stand-der-Technik-Speicher (links; Quelle: UIBK) und einen Hochleistungsspeicher (rechts; Quelle: PlanEnergi).

3. NEUARTIGE PP-MATERIALIEN

Für Stand-der-Technik-Speicher wurden spezielle Polyethylen-Liner (PE) entwickelt und qualifiziert, wobei die durch Alterungsuntersuchungen und durch Annahme kumulativer Schädigungsmodelle abgeleiteten Lebensdauerwerte etwa 20 bis 30 Jahre (s. Temperaturbelastungsprofil Stand-der-Technik-Speicher) betragen [3, 4, 5]. Bei permanentem Betrieb bei 95°C, dies ist ein Temperaturniveau, wie es bei Hochleistungsspeichern im Deckelbereich auftritt, ergaben die Laboruntersuchungen an den PE-Linern jedoch zu erwartende Lebensdauern von unter 10 Jahren [5]. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit der Entwicklung von Linermaterialien mit verbesserter Langzeitperformance bei gleichzeitig einfacher und kostengünstiger Installierbarkeit.

In Deutschland fokussierten sich die Entwicklungen auf Abdichtungsbahnen aus Edelstahl. Der höhere Materialpreis von Edelstahl und die wesentlich aufwändigere Verlegung und Verschweißung bedingen allerdings bis zu 10-fach höhere Kosten für die Abdichtung. In den österreichischen Großforschungsvorhaben „SolPol-4/5“ und „giga_TES“ wurde der Fokus der Entwicklungen auf Polypropylenwerkstoffe (PP) mit spezieller Mikromorphologie gelegt. Im Gegensatz zu PE weist PP eine höhere Schmelztemperatur auf. In Zusammenarbeit der Firmen AGRU Kunststofftechnik (Bad Hall, OÖ), Gabriel Chemie (Gumpoldskirchen, NÖ) und Lenzing Plastics (Lenzing, OÖ) sowie dem Institut für Polymeric Materials and Testing der JKU Linz (OÖ) wurden neuartige PP-Typen entwickelt, mit maßgeschneiderten Stabilisierungspaketen weiter optimiert und in umfassenden Laboruntersuchungen ausgetestet. Dazu wurde eine spezielle Prüfmethodik implementiert, die auf spannförmigen Mikroprüfkörpern mit Dicken von 50 bis 500µm basiert [6].

In Abb. 4 ist die Temperatur- und Dickenabhängigkeit des PP-Basiswerkstoffes exemplarisch gezeigt. Während der Einfluss der Temperatur durch eine Arrhenius-Beziehung beschreibbar ist, folgt die Dickenabhängigkeit einem Potenzgesetz. Eine höhere Dicke bedeutet eine verzögerte Diffusion von oxidierenden Substanzen (z.B. Sauerstoff) in den Liner und hat eine längere Versagensdauer zur Folge. Für den PP-Basiswerkstoff (ohne Zusatzstabilisierung) mit einer Dicke von 2 mm wurden bei 95°C Dauerbelastung in kritischerer Heißluftumgebung eine Versprödungszeit von 10 Jahren abgeleitet [7, 8]. Für die beste Formulierung (mit Zusatzstabilisierung) ergab sich auf Mikroprüfkörperebene und bei erhöhten Temperaturen von 115 bis 135°C eine um den Faktor 3 bis 4 längere Versagenszeit. Daraus resultieren selbst für den kritischen Deckelbereich von Hochleistungsspeichern mit Heißwasser bei 95°C Gebrauchsdauern von mehr als 30 Jahren. Für Stand-der-Technik-Speicher kann mit dem optimierten PP-Linermaterial die Lebensdauer in allen Bereichen (Deckel, Wand, Boden) auf deutlich mehr als 50 Jahre angehoben werden.

Weiterführende Untersuchungen beschäftigten sich mit der großtechnischen Prozessierbarkeit und der Verleg- und Verschweißbarkeit des optimierten, langzeitbeständigeren PP-Linermaterials. Vom Firmenpartner AGRU Kunststofftechnik wurden bereits 6 Meter breite Bahnen mit hoher

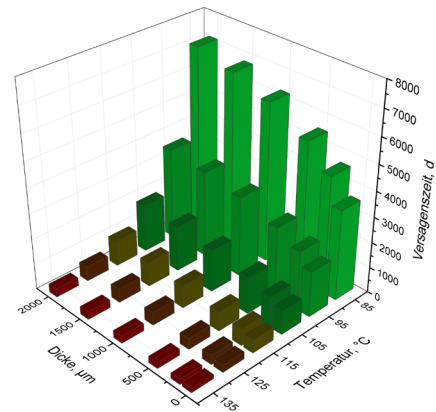


Abb. 4. Versprödungszeiten in Heißluft für den neuartigen PP-Basiswerkstoff als Funktion der Prüfkörperdicke und der Temperatur [7].

Qualität gefertigt. Zudem wurde in laufenden Untersuchungen nachgewiesen, dass die Temperatur des Schweißautomaten-Heizkeils keinen signifikanten Einfluss auf die Stabilisierung und Langzeitbeständigkeit des Materials ausübt. Aufgrund des einzigartigen Leistungsprofils des PP-Linermaterials wurde es kürzlich für ein aktuell in Umsetzung befindliches dänisches Speicherprojekt ausgewählt. Die Installation des sogenannten PP-HTR-Liners erfolgte im Juni 2020 (s. Abb. 5).



Abb. 5. Verlegung des neuartigen PP-HTR-Kunststoffliners in Høje Taastrup (DK; Quelle: AGRU Kunststofftechnik GmbH und G quadrat Geokunststoffgesellschaft mbH)

4. AUSBLICK

Im Vergleich zu PE weist PP aufgrund des niedrigeren Kristallinitätsgrades eine höhere Permeationsrate für Wasserdampf auf. Um Wasserverluste gänzlich zu unterbinden, werden daher im Projekt „giga_TES“ Mehrlagenlaminare mit einer wasserdampfdichten Sperrschicht entwickelt. Zur langzeitigen Kopplung der anorganischen Sperrschicht mit dem neuartigen PP-Liner erweist sich eine dünne Kunststoff-Haftvermittlerschicht als besonders vielversprechend, die ursprünglich für die Einkapselung von Photovoltaikmodulen entwickelt wurde.

LITERATUR

- [1] Wallner, G.M., Traxler, I., Grabmann, M., van Helden, W. (2019). Neuartige Kunststoffliner für großvolumige Warmwasserspeicher, nachhaltige technologien, 4, 15-17.
- [2] Skytte, K., Bergaentzlé, C., Fausto, F.J., Gunkel, P.A. (2019). Flexible Nordic Energy Systems, Flex4RES summary report, Technical University of Denmark, Lyngby.
- [3] Paranowska, I., Pedersen, S. (2013). Lifetime Determination for Polymer Liners Used in Construction of Seasonal Thermal Storage, Proceedings of 5th European Weathering Symposium EWS, September 21-23, Lisbon, Pt, 9 pages.
- [4] Wallner, G.M., Grabmayer, K., Beißmann, S., Schobermayr, H., Buchberger, W., Lang, R.W. (2013). Methoden zur beschleunigten Alterungsprüfung von Kunststoffen, erneuerbare energie, 1, 18-20.
- [5] Grabmann, M.K., Wallner, G.M., Buchberger, W., Nitsche, D. (2017). Aging and Lifetime Assessment of Polyethylene Liners for Heat Storages – Effect of Liner Thickness, Proceedings ISES Solar World Congress 2017, 753-760
- [6] Grabmayer, K., Beißmann, S., Wallner, G.M., Nitsche, D., Schnetzinger, K., Buchberger, W., Schobermayr, H., Lang, R.W. (2015). Characterization of the influence of specimen thickness on the aging behavior of a polypropylene based model compound, Polymer Degradation and Stability, 111, 185-193.
- [7] Grabmann, M.K., Wallner, G.M., Grabmayer, K., Buchberger, W., Nitsche, D. (2018). Effect of thickness and temperature on the global aging behavior of polypropylene random copolymers for seasonal thermal energy storages, Solar Energy, 172, 152-157.
- [8] Grabmann, M.K., Wallner, G.M., Grabmayer, K., Nitsche, D., Lang, R.W. (2018). Aging behavior and lifetime assessment of polyolefin liner materials for seasonal heat storage using micro-specimen, Solar Energy, 170, 988-990.

PERSONENBESCHREIBUNG

ao.Univ-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Gernot M. Wallner ist stellvertretender Leiter des Instituts für Polymerwerkstoffe und Prüfung der JKU Linz und beschäftigt sich seit mehr als 20 Jahren mit der Entwicklung von Kunststoffen für solartechnische Anwendungen, Internet: www.jku.at/ipmt, Email: gernot.wallner@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

Dipl.-Ing. Klaus H. Albers ist geschäftsführender Gesellschafter der G quadrat Geokunststoffgesellschaft mbH, Internet: www.gquadrat.de, E-Mail: albers@gquadrat.de

