

GROßWÄRMESPEICHER - EIN WEG ZUR VOLLSTÄNDIGEN ERNEUERBAREN WÄRMEVERSORGUNG VON STÄDTEN

Michael Reisenbichler*, Wim van Helden, Ingo Leusbrock, Christoph Muser¹,
Gernot Wallner², Fabian Ochs³, Patrick Reiter⁴

AEE – Institut für Nachhaltige Technologien, Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf,
+43 3112 5886, m.reisenbichler@aee.at, w.vanhelden@aee.at, i.leusbrock@aee.at,
www.aee-intec.at

Kurzfassung: Völlig auf erneuerbare Energien basierende Fernwärmesysteme benötigen große Wärmespeicher im Giga-Bereich (bis etwa 2.000.000 m³), die es ermöglichen, den hohen Anteil an erneuerbarer Wärme und industrielle Abwärme saisonal zu speichern und Fernwärmesystemen ein hohes Maß an Flexibilität zu verleihen. Eine weitere vielversprechende Anwendung für Großwärmespeicher liegt in der Integration von Power2Heat-Konzepten (Stichwort: Sektorkopplung). Im Vergleich zu den derzeit installierten Großwärmespeichern ist eine Verzehnfachung des Volumens erforderlich, während die Integration eines so großen Volumens in eine urbane Umgebung, tiefe Bauweisen erfordert. Die dabei auftretenden breiten wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen bedürfen eines gezielten Forschungsvorhabens, an dem alle Hauptakteure der gesamten Wertschöpfungskette für thermische Großspeichersysteme teilnehmen. Dies geschieht im Leitprojekt „giga_TES“ mit dem Ziel innerhalb von drei Jahren das nötige Know-how für eine nachfolgendes Demonstrationsprojektes in Österreich zu generieren. Im Rahmen des Projektes wurden bereits innovative Tiefbaukonzepte hinsichtlich Wandaufbau und Geometrie entwickelt. Außerdem wurden verschiedene Konzepte für die Nutzung der Oberfläche (z.B. als Naherholungsgebiet) erarbeitet. Bereits durchgeführte Materialentwicklungen neuartiger Polymerwerkstoffe versprechen eine erhöhte Lebensdauer gegenüber aktuell eingesetzter Materialien. Mögliche Anwendungsszenarien in zwei österreichischen Städten wurden untersucht und numerische Systemsimulation der entsprechenden Fernwärmesysteme und Speicherkomponenten durchgeführt.

Keywords: Großwärmespeicher, Erdbecken-Wärmespeicher, saisonale Wärmespeicherung, numerische Simulation, Power2Heat, Sektorkopplung

¹ Ingenieurbüro ste.p ZT GmbH, Mommsengasse 31, A-1040 Wien, +43 1 505 56 87, muser@step-zt.at, www.step-zt.at

² Johannes Kepler Universität Linz – IPMT, Altenberger Straße 69, A-4040 Linz, +43 732 2468 6610, gernot.wallner@jku.at, www.jku.at/en/institute-of-polymeric-materials-and-testing/

³ Universität Innsbruck, Technikerstraße 13, A-6020 Innsbruck, +43 512 507 63601, fabian.ochs@uibk.ac.at, <https://www.uibk.ac.at/bauphysik/>

⁴ S.O.L.I.D. Gesellschaft für Solarinstallation und Design mbH, Puchstraße 25, A-8020 Graz, +43 316 292840, p.reiter@solid.at, <https://www.solid.at/de/>

1 Einleitung und Motivation

Um den Anteil der erneuerbaren Energien weiter zu erhöhen und um unsere langfristigen Klimaziele zu erreichen, benötigen zukünftige Fernwärmesysteme große thermische Energiespeicher. Großwärmespeicher, wie beispielsweise wassergefüllte Erdbeckenspeicher, als Teil von Fernwärmesystemen, ermöglichen einerseits die saisonale Speicherung erneuerbarer Wärme, wie beispielsweise Wärme aus solarthermischen Großanlagen, als auch die kurzfristige und flexible Wärmespeicherung von z.B. industrieller Abwärme oder Tiefen-Geothermie (siehe Abbildung 1 und Abbildung 2).



Abbildung 1: Bisher größter existierender Großwärmespeicher, ein wassergefüllter Erdbeckenspeicher mit einem Speichervolumen von etwa 200.000 m³, in Vojs, Dänemark. Bildquelle: Arcon-Sunmark.

Eine weitere vielversprechende Anwendung liegt in der Zusammenführung des Strom- und Wärmesektors (Stichwort: Sektorkopplung), bei der durch die Integration von Power2Heat-Konzepten elektrische Überschussenergie aus volatilen erneuerbaren Quellen in Wärme umgewandelt wird (siehe Abbildung 2). Dabei können Großwärmespeicher zukünftig eine zentrale Rolle einnehmen, nachdem Großwärmespeicher im Vergleich zu Batteriespeicher eine wirtschaftlich attraktive Möglichkeit sind, Energie langfristig kostengünstig zu speichern. So liegen zurzeit die Investitionskosten von dänischen Großwärmespeichern bei 0,50 € pro Kilowattstunde Speicherkapazität (bzw. 30 € pro Kubikmeter Speichervolumen) [1].

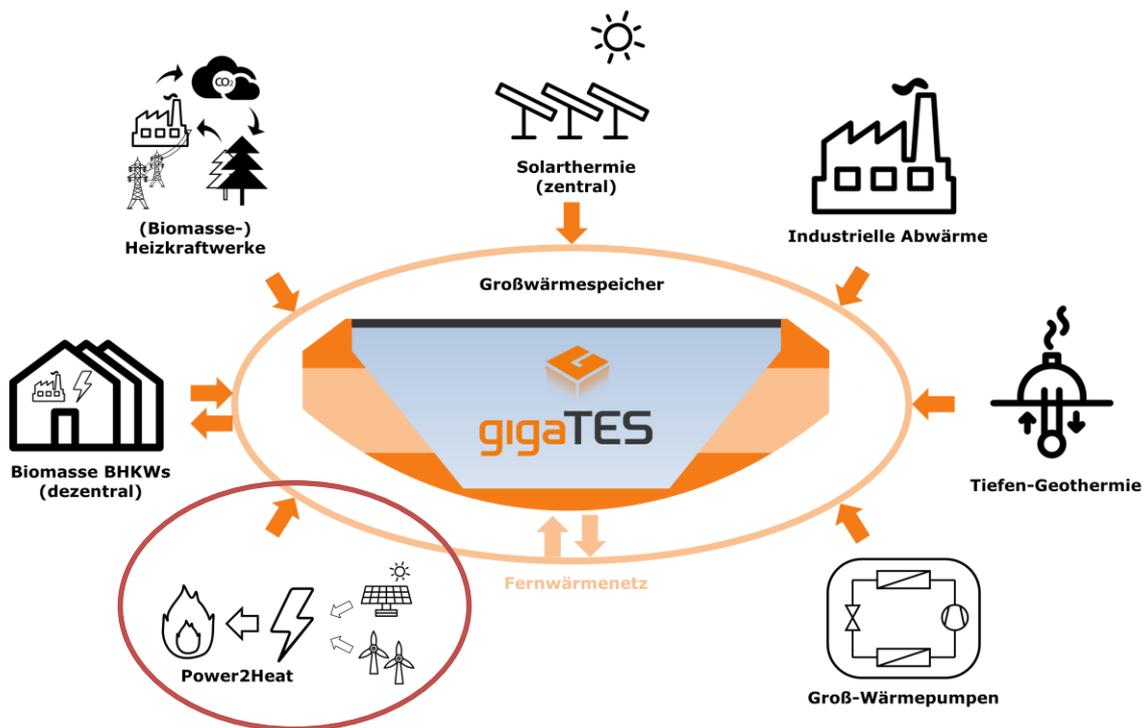


Abbildung 2: Großwärmespeicher als zentrales Element zukünftiger Fernwärmenetze. Abbildung: AEE INTEC, inspiriert von [2]; Symbole: Icongeek26 and Freepik from www.flaticon.com.

Im Vergleich zu den derzeit installierten Großwärmespeicher in Deutschland und vor allem in Dänemark mit Volumina bis zu 200.000 m³ ist für große städtische Fernwärmesysteme in Österreich, wie etwa in Wien, Graz, Salzburg oder Linz, eine Verzehnfachung des Volumens erforderlich. Im Rahmen des österreichischen Flagship-Projektes "giga_TES" werden daher Konzepte für Speicher mit Volumina bis zu 2.000.000 m³, also im Giga-Liter-Bereich untersucht und entwickelt.

Das Streben nach möglichst großen Speichervolumina kann mit den daraus entstehenden positiven Skaleneffekten begründet werden. Einerseits sinken die Wärmeverluste mit zunehmenden Speichervolumen aufgrund des abnehmenden Oberflächen-Volumen-Verhältnisses und ermöglichen somit erst die saisonale Wärmespeicherung mittels Großwärmespeicher. Andererseits sinken mit zunehmender Speichergröße die spezifischen Kosten pro Kubikmeter Speichervolumen signifikant, wie Erfahrungen aus Pilot- und Demonstrationsprojekten sowie kommerziellen Projekten gezeigt haben [3].

Der Markt in Österreich für Großwärmespeicher im Giga-Bereich besteht aus zehn bis 25 Fernwärmenetzen mittelgroßer und großer österreichischer Städte, der für Speicher in kleineren Fernwärmenetzen mehreren Hundert. Zusätzlich bietet der um einiges größere Markt der österreichischen Nachbarländer erhebliche Exportmöglichkeiten für die österreichischen Marktakteure. Darüber hinaus weist die Integration von Großwärmespeicher zur Bereitstellung von Prozesswärme für industrielle Anwendungen ein zusätzliches Marktpotential auf.

2 giga_TES: Giga-Scale Thermal Energy Storage for Renewable Districts

Ein Konsortium bestehend aus Forschungs- und Industriepartnern konzentriert sich im Projekt „giga_TES“ auf die Entwicklung von derartigen Großwärmespeichern. Das Projektkonsortium besteht aus vier österreichischen und zwei ausländischen Forschungsinstituten, die über fundierte Kenntnisse und Erfahrungen auf dem Gebiet der Materialien, Komponenten und Systemtechnologien großer thermischer Energiespeicher verfügen. Darüber hinaus wird das Konsortium durch zwölf Schlüsselunternehmen der Material- und Komponentenindustrie, Bauunternehmen, Ingenieurbüros und Fernwärmenetzbetreibern komplettiert.

3 Problemstellung

Aufgrund der enormen Größe und der hohen Grundstückspreise im urbanen Umfeld müssen tiefe Bauweisen angestrebt werden. Dies wird durch die erschwerenden hydrogeologischen Randbedingungen in Österreich (u.a. hohe Grundwasserschichten) zusätzlich erschwert. Außerdem werden, um die vorhandenen Flächen im urbanen Gebiet optimal zu nutzen, nutzbare Speicheroberflächen gefordert.

(Langzeit-)Erfahrungen mit derartigen Großspeichern sind begrenzt, zeigen allerdings Verbesserungspotenzial bezüglich Leistungsfähigkeit und Haltbarkeit der verwendeten Materialien sowie in der Material- und Komponentenentwicklung in Hinblick auf Kosteneffizienz. Die Anforderung an Kosteneffizienz erfordern höhere Systemspeicherdichten und daraus resultierend höhere Temperaturen, was wiederum zu zusätzlichen Belastungen der Materialien führt. Das als auch die Anforderungen an Dampfundurchlässigkeit, Wartung und Haltbarkeit verlangen nach Entwicklung innovativer Materialien und Komponenten sowie nach neuentwickelten Testmethoden dieser.

Eine weitere Herausforderung stellen die vergleichsweise hohen Vorlauftemperaturen von bis zu 160 °C bestehender Fernwärmesystem in Österreich dar, welche die Integration solcher Speicher zusätzlich erschweren und ausgereifte Gesamtsystemkonzepte erfordern.

4 Ziele

Eines der Hauptziele des Projektes ist die Transformation der Technologie aus Dänemark nach Österreich und Zentraleuropa. Darüber hinaus ergeben sich folgende wesentlichen Ziele für das Projekt:

- Entwicklung neuartiger Konzepte für große thermische Energiespeicher, welche mehr Speicherkapazität aufweisen, energetisch besser (weniger Wärmeverluste) und kosteneffizienter sind, bessere Integration in das gesamte Fernwärmesystem und eine gesteigerte Lebensdauer als aktuelle State-of-the-Art Speicher aufweisen
- Entwicklung neuer Materialien und Komponenten
- Entwicklung innovativer Konstruktionsmethoden und Bauverfahren
- Entwicklung von Simulationsmodellen für den Speicher selbst als auch die Entwicklung von Simulationsmodellen für die Integration des Speichers in Fernwärmenetzen

- Beurteilungen und Untersuchung der operativen und nicht-technischen Aspekte (z.B. Auswirkungen des Speichers auf die Umwelt insbesondere Beeinflussung des Grundwassers)

5 Projektergebnisse

Nachfolgend wird auf einige der bisherigen Ergebnisse aus dem Projekt näher eingegangen.

5.1 Hydrogeologische Bedingungen, Anwendungsszenarien und numerische Simulation

In der ersten Phase des Projektes wurden bestehende Fernwärmesysteme hinsichtlich Größe, Temperaturniveau und Potenzial für die Integration von erneuerbarer Energie und Abwärme charakterisiert, um das Potenzial für eine mögliche Umsetzung von Großwärmespeicher im Giga-Bereich in Österreich zu bewerten. Basierend darauf wurden fünf repräsentative österreichische Standorte und Anwendungsszenarien ausgewählt, welche detaillierter Bewertungen, Simulationen und Optimierungen unterzogen werden. Die hydrogeologischen Bedingungen der Standorte sind unter diesem Hintergrund von großer Bedeutung, da diese weitgehend die Auswahl der Baukonzepte, Materialien und Konstruktionsmethoden beeinflussen. Entscheidend sind hierbei vor allem der Aufbau des Erdreichs und die Tiefe des Grundwassers. Abbildung 3 zeigt exemplarisch die hydrogeologischen Bedingungen anhand eines geologischen Modells für einen Standort der Anwendungsszenarien.

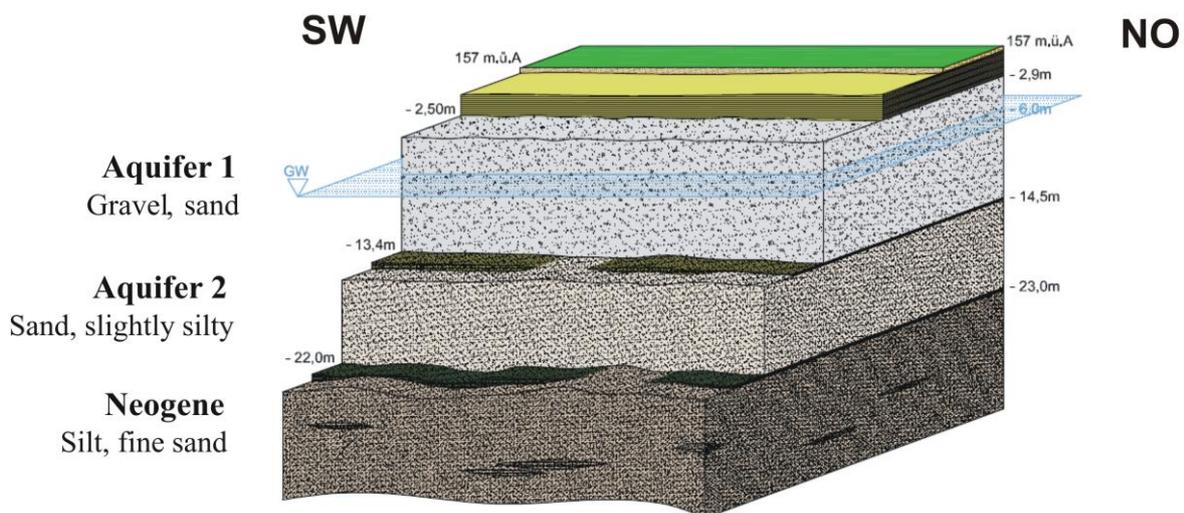


Abbildung 3: Darstellung des Aufbaus des Erdreiches und der Tiefe des Grundwassers anhand eines geologischen Modells exemplarisch für einen Standort der Anwendungsszenarien. Quelle: Geologie und Grundwasser GmbH.

Die hydrogeologischen Bedingungen werden des Weiteren bei der computergestützten Optimierung der Speicherkonzepte unter der Verwendung von FEM-Simulationen untersucht. Abbildung 4 zeigt ein simuliertes Temperaturfeld des umschließenden Erdreichs eines Speichers bei Auftreten von Grundwasserströmungen (im Bild von links nach rechts). Das in dieser Simulation untersuchte Speicherkonzept wurde im Bereich der Grundwasserströmungen mit einer Wärmedämmung versehen. Aus der Abbildung ist gut ersichtlich, dass es durch die Wärmedämmung nur zu einer geringen Beeinflussung bzw.

Erhöhung der Grundwassertemperaturen kommt. Im Bereich des Speicherbodens, ohne Dämmung, muss jedoch mit entsprechend hohen Wärmeverlusten gerechnet werden.

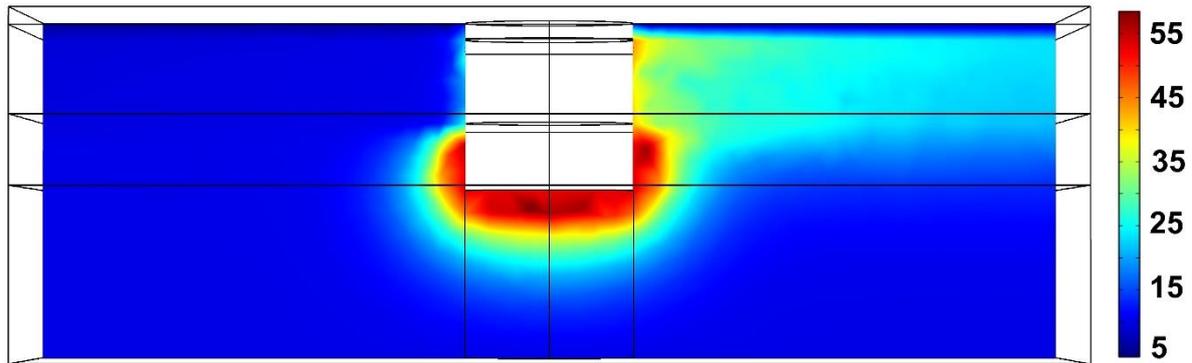


Abbildung 4: Simuliertes Temperaturfeld (in °C) des umschließenden Erdreichs eines Großwasserspeichers bei Auftreten von Grundwasserströmungen. Quelle: Universität Innsbruck.

5.2 Bauformen, Konstruktionsmethoden und Tiefbau

Ein weiteres integrales Ziel des Projektes stellt die Entwicklung möglicher Bauformen, Konstruktionsmethoden und Wandaufbauten für Speichervolumina in der Größenordnung zwischen 100.000 m³ bis 2.000.000 m³ dar. Innovative Tiefbaukonzepte hinsichtlich Wandaufbau und Geometrie wurden bereits im Rahmen des Projektes entwickelt. Außerdem wurden verschiedene Konzepte für die Nutzung der Oberfläche (z.B. als Naherholungsgebiet) erarbeitet.

Im Rahmen des Projektes wurden mögliche Geometrien und Bauformen für Großwärmespeicher, wie grundsätzlich (a) schachtartig mit vertikalen Wänden (siehe Abbildung 5, oben) oder (b) beckenartig mit geböschten Wänden (siehe Abbildung 5, Mitte) als auch Kombinationen aus beiden Geometrien (siehe Abbildung 5, unten) entwickelt. Im Zuge von weiterführenden Analysen und Bewertungen wurden verschiedene Konstruktionsmethoden ermittelt und eine Erhebung der Material- und Baukosten vorgenommen.

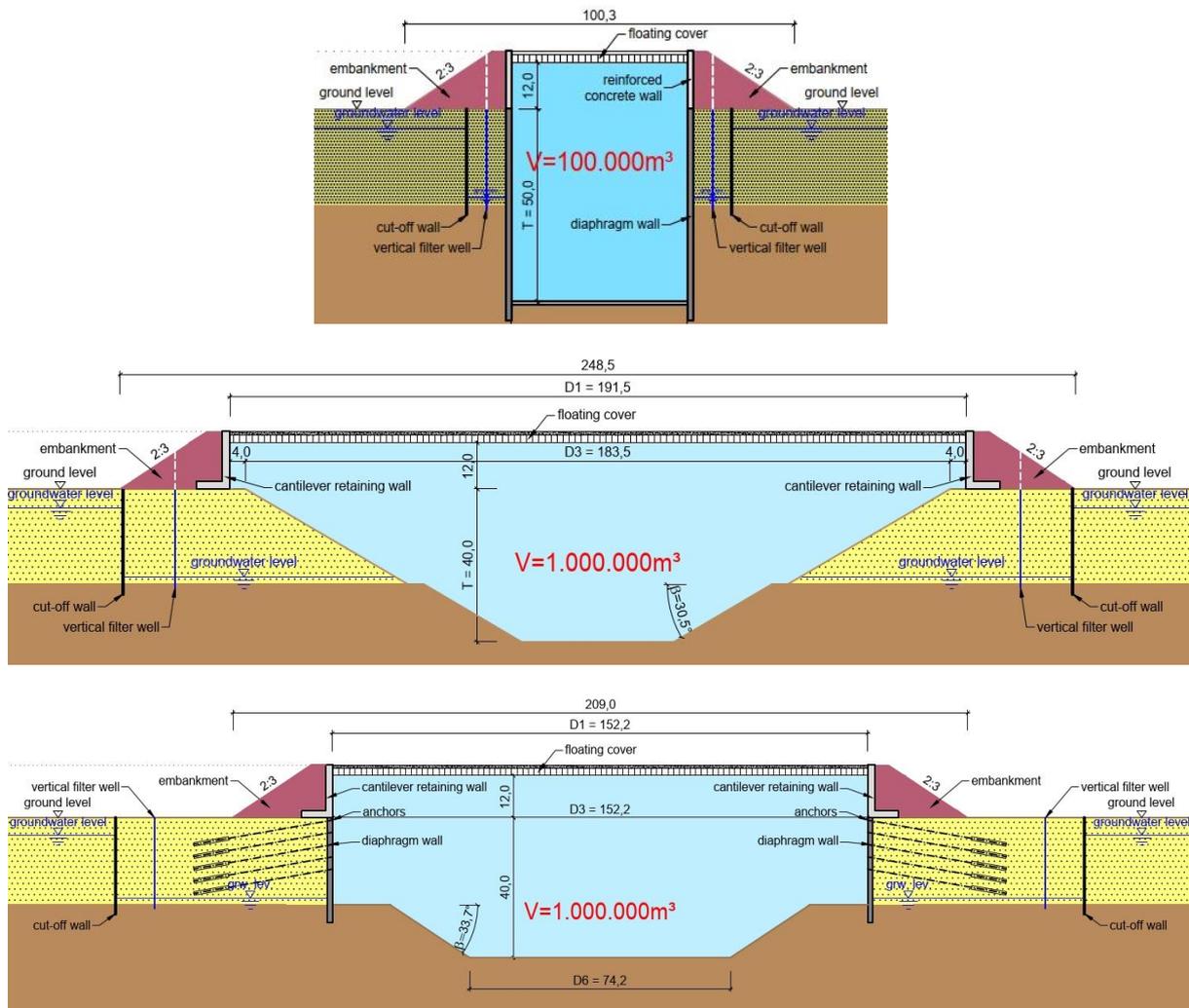


Abbildung 5: Mögliche Geometrien und Bauformen von Großwärmespeichern. Oben: Schachtartig, mit vertikalen Wänden. Mitte: Beckenartig, mit geböschten Wänden. Unten: Hybridvariante aus schachtartiger und beckenartiger Bauweise. Quelle: ste.p ZT-GmbH.

5.3 Neuartige Polymerwerkstoffe

Der Aufbau der Speicherwand besteht grundlegend aus mehreren Schichten, welche neben Festigkeit, Wasser- und Dampfdichtigkeit auch gute Wärmedämmeigenschaften besitzen soll. Durch die bis dato nicht als Stand-der-Technik anzusehenden Anforderungen werden neue Entwicklungen sowie Testmethoden zur Langzeitstabilität innovativer Materialien, wie beispielsweise neuartige Polymerwerkstoffe benötigt.

Derzeit werden für dänische Speicher bei Maximaltemperaturen von etwa 85°C Polyethylen-Liner (PE-Liner) eingesetzt. Für angedachte Großwärmespeicher in Österreich sind jedoch, aufgrund der notwendigen höheren Energiedichte, im Deckelbereich dauerhafte Speichertemperaturen von 95°C gefordert. Wie Laboruntersuchungen ergaben würden bei diesen Temperaturen herkömmliche PE-Liner zu erwartende Lebensdauern von unter 10 Jahren aufweisen [4]. Deshalb wird im Rahmen von „giga_TES“ der Fokus auf die Entwicklung von neuartigen Polypropylen-Liner (PP-Liner) gelegt und umfassenden Laboruntersuchungen unterzogen [5], [6].

Für den PP-Basiswerkstoff ohne Zusatzstabilisierung liegen die Versprödungsdaten in Heißluft bei 95 °C Dauerbelastung bei 10 Jahren (siehe Abbildung 6). Für eine verbesserte Formulierung mit Zusatzstabilisierung ergab sich auf Mikroprüfkörperebene und bei erhöhten Temperaturen von 115 bis 135 °C eine um den Faktor 3,5 längere Versagenszeit. Daraus resultieren Gebrauchsdauern von mehr als 30 Jahren bei Temperaturen von 95°C. [7]

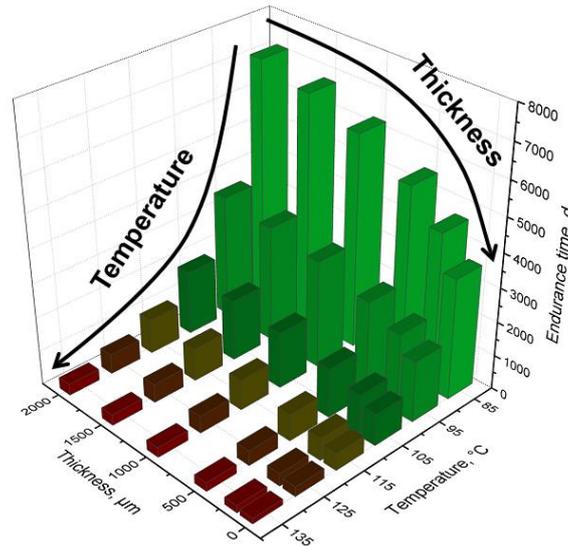


Abbildung 6: Versprödungszeiten in Heißluft für den neuartigen PP-Basiswerkstoff als Funktion der Prüfkörperdicke und der Temperatur [5].

6 Zusammenfassung

Völlig auf erneuerbare Energien basierende Fernwärmesysteme benötigen große Wärmespeicher im Giga-Bereich, die es ermöglichen, den hohen Anteil an erneuerbarer Wärme und industrielle Abwärme saisonal zu speichern und dem Fernwärmesystem ein hohes Maß an Flexibilität zu verleihen. Im Vergleich zu den derzeit installierten Großwärmespeichern ist eine Verzehnfachung des Volumens erforderlich, während die Integration eines so großen Volumens in eine urbane Umgebung, tiefe Bauweisen erfordert. Die dabei auftretenden breiten wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen, das fundamentale Level einzelner Schritte der Material- und Technologieentwicklung sowie die enorme Größe derartiger Speicheranlagen bedürfen eines gezielten Forschungsvorhabens, an dem alle Hauptakteure der gesamten Wertschöpfungskette für thermische Großspeichersysteme teilnehmen. Dies geschieht im Leitprojekt „giga_TES“ (www.gigates.at) mit dem Ziel innerhalb von drei Jahren das nötige Know-how für eine nachfolgendes Demonstrationsprojektes in Österreich zu generieren.

Referenzen

- [1] B. Epp, "Seasonal pit heat storage: Cost benchmark of 30 EUR/m³ | Solarthermalworld.org," www.solarthermalworld.org/, 17-May-2019.
- [2] C. Maaß, M. Sandrock, and R. Schaeffer, "Fernwärme 3.0 - Strategien für eine zukunftsorientierte Fernwärmepolitik," Hamburg, Jan. 2015.
- [3] A. J. Kallesøe and T. Vangkilde-Pedersen, "Underground Thermal Energy Storage (UTES) – state-of-the-art, example cases and lessons learned," 2019.

- [4] M. Grabmann, G. Wallner, W. Buchberger, and D. Nitsche, "Aging and Lifetime Assessment of Polyethylene Liners for Heat Storages – Effect of Liner Thickness," 2017, pp. 1–8, doi: 10.18086/swc.2017.13.07.
- [5] M. Grabmann, G. Wallner, K. Grabmayer, W. Buchberger, and D. Nitsche, "Effect of thickness and temperature on the global aging behavior of polypropylene random copolymers for seasonal thermal energy storages," *Solar Energy*, vol. 172, pp. 152–157, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.05.080.
- [6] M. K. Grabmann, G. M. Wallner, K. Grabmayer, D. Nitsche, and R. W. Lang, "Aging behavior and lifetime assessment of polyolefin liner materials for seasonal heat storage using micro-specimen," *Solar Energy*, vol. 170, pp. 988–990, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.solener.2018.06.046.
- [7] AEE INTEC, "nachhaltige technologien - Erneuerbare Energien und Ressourceneffizienz," no. 04/2019, 2019.



Das Projekt „giga_TES“ wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „Energieforschung (e!MISSION) - 3. Ausschreibung Energieforschung 2016“ durchgeführt.