

IEA Energiespeicher (ES) Task 39: Großwärmespeicher für Fernwärmesysteme

Arbeitsperiode 2020 - 2023

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 19/2026

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leitung (interimistisch): DI (FH) Isabella Warisch

Kontakt zu „IEA Forschungskooperation“: Mag.^a Sabine Mitter

Autorinnen und Autoren:

Wim van Helden, AEE INTEC

Fabian Ochs, Universität Innsbruck

Abdulrahman Dahash, AIT

Gernot Wallner, JKU

Maria Moser, SOLID

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Wien, 2026. Stand: September 2024

Rückmeldungen: Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an iii3@bmimi.gv.at.

Disclaimer:

Dieser Ergebnisbericht wurde von der Fördernehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die Fördernehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die Fördernehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die Fördernehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts im Rahmen der IEA Forschungsk Kooperation. Es wurde vom Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Kooperationsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu unterstützen.

Die IEA Forschungsk Kooperationen umfassen eine breite Palette an Energiethemen mit dem Ziel Energiesysteme, Städte, Mobilitäts- und Industriesysteme fit für eine nachhaltige Zukunft bis 2050 zu machen. Auch Themen wie Gendergerechtigkeit oder Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftsaspekte werden berücksichtigt.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch die vielen IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und neue internationale Standards. Auch in der Marktumsetzung konnten richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Daher werden alle Berichte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMIMI über die Plattform [nachhaltigwirtschaften.at](https://www.nachhaltigwirtschaften.at) veröffentlicht.

Inhalt

1 Kurzfassung	7
2 Abstract	9
3 Ausgangslage	11
4 Projektinhalt	12
5 Ergebnisse	15
5.1 Subtask A: Anwendungsszenarien, Systemkonzepte, Integrationsaspekte.....	15
5.2 Subtask B: Komponenten- und Materialdatenbank	23
5.3 Subtask C: Round Robin Simulation	28
5.4 Subtask D: Informationsmaterial für relevante Stakeholder-Gruppen	37
6 Vernetzung und Ergebnistransfer	46
7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	47
Tabellenverzeichnis	49
Abbildungsverzeichnis	50
Literaturverzeichnis	51

1 Kurzfassung

Großwärmespeicher werden zukünftig eine Schlüsselrolle in Fernwärmesystemen einnehmen, diesen Systemen die nötige Flexibilität verleihen sowie die breite Integration von erneuerbaren Energiequellen ermöglichen und damit maßgebend zur Erreichung unserer Energie- und Klimaziele beitragen. Eine breite Einführung dieser Technologie ist nur möglich, wenn die vorhandenen Kenntnisse und Erfahrungen auf eine große Anzahl von Ländern und Expert:innen ausgeweitet und vertieft werden, um die technologischen und nicht-technologischen Herausforderungen bei der Planung, Realisierung und Betrieb von Großwärmespeichersystemen zu überwinden.

Mit diesem Hintergrund wurde der sogenannten Task 39 „Großwärmespeicher für Fernwärmesysteme“ des Energiespeicherprogramms der Internationalen Energie Agentur durchgeführt. Das übergeordnete Ziel des Task 39 war, die Aspekte zu ermitteln, die bei der Planung, Entscheidungsfindung und Realisierung von Großwärmespeichern und bei der Integration in die Fernwärmenetze von Bedeutung sind, und die Erkenntnisse in verschiedene Formen der Verbreitung zu überführen. Dieses Hauptziel wurde in mehrere Arbeitsziele aufgeteilt, und durch eine Gruppe von internationalen Expert:innen in 4 Subtasks bearbeitet. Die Ergebnisse der Arbeiten sind auf der Website des Task39 verfügbar.

Die wichtigsten Empfehlungen, die sich aus der Arbeit und den Diskussionen der Expert:innen der Task 39 sowie aus der Konferenz, den Webinaren und den Workshop-Diskussionen ergeben haben, lauten:

- Großwärmespeicher sind Schlüsselemente des zukünftigen Energiesystems und werden dazu beitragen, den Anteil der erneuerbaren Energien in den Wärme- und Stromnetzen zu erhöhen.
- Die Entwicklung von Fernwärmenetze ist eine Chance für die Integration von mehr erneuerbaren Energien.
- Solange es eine Nachfrage nach Großwärmespeicher geben wird, besteht eine zentrale Herausforderung für die Fachleute und Hersteller:innen von diesen Speichern darin, die Technologien zuverlässig zu machen und ihre Verwendung in verschiedenen Kontexten und Ländern zu demonstrieren.
- Die Fachleute, die sich mit LTES beschäftigen, bilden derzeit eine kleine Gemeinschaft, und andere Akteure sollten aktiver in die Verbreitungsaktivitäten einbezogen werden: Fernwärmeverbände, kleinere Gemeinden, Städte und Verwaltungen.
- Es gibt eine Reihe von wichtigen Leistungsindikatoren, die bei der Entscheidungsfindung für die Integration von Langzeitwärmespeichern helfen sollen. Wirtschaftliche, soziale und finanzielle Indikatoren müssen weiterentwickelt werden, und die Interessensgemeinschaft zu Großwärmespeichern sollte mit Experten aus diesen Bereichen verstärkt werden.

- Es steht numerische Simulationssoftware zur Verfügung, um die Leistung von Großwärmespeichern als Komponente eines Netzes zu bestimmen. Für die Optimierung von Fernwärmesystemen mit integrierten Großwärmespeicher-Komponenten werden noch spezielle, schnelle und genaue Auslegungswerkzeuge für Großwärmespeicher-Technologien benötigt.
- Es besteht ein Bedarf an detaillierteren Material- und Komponentendaten, die über die Materialdatenbank öffentlich zugänglich sind, und ein großer Bedarf an praktischen Daten zur Materialalterung und -abbau sowie an theoretischen Modellen, mit denen die Lebensdauer von Materialien abschätzbar ist.

Diese Empfehlungen bildeten die Grundlage für die Arbeit im Anschluss an Task 39: Task 45 „Beschleunigung der Markteinführung von Großwärmespeicher (Accelerating the Uptake of Large Thermal Energy Storages)“. Der Task begann am 1. Januar 2024 und hatte eine Laufzeit von 4 Jahren.

2 Abstract

Large Thermal Energy Storage systems will play a key role in district heating systems in the future, giving these systems the necessary flexibility and enabling the broad integration of renewable energy sources, thus making a significant contribution to achieving our energy and climate goals. A broad introduction of this technology is only possible if the existing knowledge and experience is expanded and deepened across many countries and experts to overcome the technological and non-technological challenges in the planning, implementation and operation of large thermal energy storage systems.

With this background, the so-called Task 39 "Large thermal energy storages for district heating systems" of the International Energy Agency's Energy Storage program was carried out. The overall goal of Task 39 was to identify the aspects that are important in the planning, decision-making and implementation of large thermal energy storages and in their integration into district heating, and to transfer the findings into various forms of dissemination. This main goal was divided into several work objectives and worked on by a group of international experts in 4 subtasks. The results of the work are available on the Task39 website.

The main recommendations that emerged from the work and discussions of the Task 39 experts, as well as from the conference, webinars and workshop discussions are:

- Large thermal energy storages are a key element of the future energy system and will help to increase the share of renewable energy in district heating and electricity networks.
- The development of district heating networks is an opportunity for the integration of more renewable energy.
- While there will be a demand for large thermal energy storages, a key challenge for the experts and manufacturers of these storage systems is to make the technologies reliable and to demonstrate their use in different contexts and countries.
- The professionals working on LTES currently form a small community and other actors should be more actively involved in the dissemination activities: district heating associations, smaller municipalities, cities and policy and decision makers.
- There are several key performance indicators to help in decision-making for the integration of large thermal energy storage technologies. Economic, social and financial indicators need to be further developed, and the large thermal energy storage community should be strengthened with experts from these fields.
- Numerical simulation software is available to determine the performance of large thermal energy storage as a component. Dedicated, fast and accurate design tools for large thermal energy storage technologies are still needed to optimize district heating systems with integrated large thermal energy storage components.

- There is a need for more detailed material and component data publicly available through the Materials Database and a great need for practical data on material ageing and deterioration as well as theoretical models that can be used to estimate the lifetime of materials.

These recommendations formed the basis for the work following Task 39: Task 45 “Accelerating the Uptake of Large Thermal Energy Storages”. The task started on 1 January 2024 and will run for 4 years.

3 Ausgangslage

Die Europäische Union und auch viele andere Länder haben ehrgeizige Ziele hinsichtlich der Anpassung an den Energie- und Klimawandel und streben daher zukünftig eine Steigerung der Energieeffizienz sowie eine 100%-ig erneuerbare Energieerzeugung an. Großwärmespeicher integriert in Fernwärmesystemen können dabei zukünftig eine Schlüsselrolle einnehmen, da sie diesen Systemen die nötige Flexibilität verleihen und die breite Integration von erneuerbaren Energiequellen (z.B. Solarthermie) sowie Sektorkopplungs-Konzepten ermöglichen. Jedoch ist eine breite Einführung dieser Technologie nur möglich, wenn die vorhandenen Kenntnisse und Erfahrungen auf eine große Anzahl von Ländern und Expert:innen ausgeweitet und vertieft werden, um die technologischen und nicht-technologischen Herausforderungen bei der Planung, Realisierung und Betrieb von Großwärmespeichersystemen zu überwinden. Zudem erfordern bestehende und zukünftige große Fernwärmesysteme größere Speicher, was wiederum zusätzliche technologische Herausforderungen birgt. Gegenwärtige Erfahrungen mit Großwärmespeicher zur Integration in Fernwärmesystemen liegen zum Beispiel in der Nutzung von Erdbecken-Wärmespeichern bis 200.000 m³ und von Behälter-Wärmespeichern bis 50.000 m³ vor.

Großwärmespeicher erhöhen die Flexibilität in Fernwärmesystemen (gegebenenfalls auch die von Kraftwerken und Industrieprozessen), sie ermöglichen einen höheren Anteil an erneuerbarer Energie sowie Abwärme, sie können durch Power-to-Heat (P2H) Spitzenlastfunktionen für Stromnetze bieten und damit Sektorkopplung von Strom- und Wärmesektor ermöglichen.

Der Markt für Großwärmespeicher wächst, wobei in Dänemark und Deutschland neue Anlagen gebaut und geplant werden, meist Erdbecken-Wärmespeicher mit Volumina im Bereich von 400.000 bis 500.000 m³ (z.B. in Dänemark). In Österreich ist ein Großwasserwärmespeicher in der Größenordnung von 1.000.000 m³ im Zusammenhang mit dem Vorhaben „BigSolarGraz“ angedacht. Um die Markteinführung dieser großen Speicher zu erleichtern und zu beschleunigen, sind bessere Kenntnisse über Materialien und Konstruktionen erforderlich, um die Lebensdauer der Speicher zu verbessern, es werden bessere Werkzeuge für den Entwurf, die Planung und die Integration der Speicher benötigt, und Entscheidungsträger:innen müssen mehr über das Potenzial, die Integrationsmöglichkeiten und die Wettbewerbsfähigkeit dieser Speicher erfahren.

4 Projektinhalt

Ziel des Task 39 war die Bestimmung der essenziellen Aspekte bei der Planung, Auslegung und Realisierung von Großwärmespeicherprojekten zur Einbindung in Fernwärmesystemen sowie industriellen Prozessen unter der Berücksichtigung unterschiedlicher Standorte und Systemkonfigurationen. Die Hauptziele des Task 39 lauten:

- Definition von repräsentativen Anwendungsszenarien, der damit verbundenen Randbedingungen und Key Performance Indicators;
- Definition von Speicherkonzepten für ausgewählte Anwendungsszenarien;
- Entwicklung, Verbesserung und Durchführung von neuen Materialtestverfahren;
- Erstellung von Richtlinien zur Erzielung einer angemessenen Wasserqualität;
- Vergleich von Performance und Genauigkeit von numerischen Simulationsmodellen für Großwärmespeicher (Round-Robin-Simulationen);
- Ableitung von standardisierten Validierungstests für numerische Simulationsmodelle und Erstellung von abgestimmten Informationsmaterialien für relevante Stakeholder-Gruppen (Entscheidungstragende, Interessensvertretungen, Städte, Gemeinden, etc.) und aktive Dissemination dieser Informationen.

Inhalte

Der Task 39 besteht aus 4 Subtasks (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Subtask A arbeitete an Anwendungsszenarien, der Definition von Key Performance Indicators (KPIs), der Bewertung von Speicherkonzepten in den Szenarien und der Detaillierung von Integrationsaspekten. Subtask B zielte darauf ab, eine Materialdatenbank zusammenzustellen, die für Großwärmespeichern eingesetzt werden kann. Subtask C war einem Round-Robin der numerischen Simulationen von Großwärmespeicher mit realen Validierungsdatensätzen gewidmet. Subtask D hatte zum Ziel, Informationspakete für Entscheidungstragende zu entwickeln und zielgerecht zur Verfügung zu stellen.

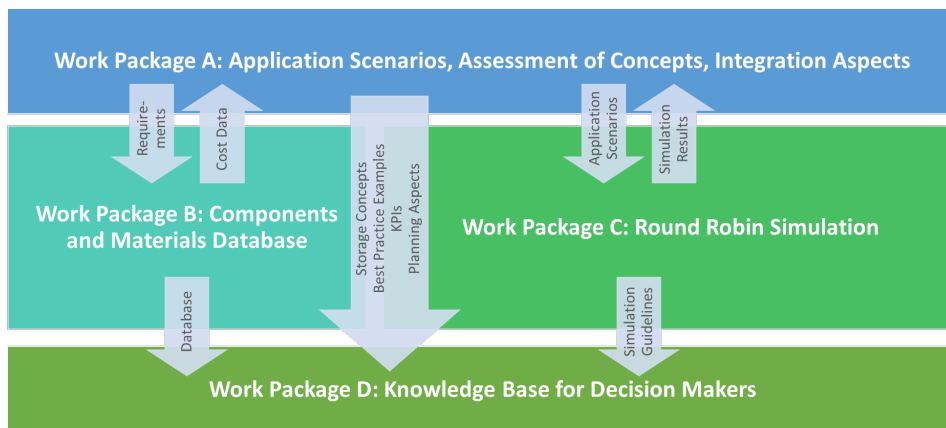


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Arbeitsprogrammes des Task 39 und des Informationsflusses zwischen den Subtasks

In diesem Bericht werden Großwärmespeicher auch bezeichnet mit der englischen Abkürzung LTES (Large Thermal Energy Storages). Im Task39 wurden grundsätzlich vier LTES-Technologien betrachtet: Aquiferspeicher (ATES), Erdsondenspeicher (Borehole TES, BTES), Tankspeicher (TTES) und Erdbeckenspeicher (Pit TES, PTES), siehe Abbildung 2 weiter unten.

Die österreichischen Partner im Task39, mit ihren inhaltlichen Beiträgen, sind: Universität Innsbruck (numerische Simulationen), SOLID (Konzepte, Anwendungsszenarien), JKU Linz (polymere Werkstoffe und Materialcharakterisierung), AIT (numerische Simulationen) und AEE INTEC (Task Management, numerische Simulationen, Konzepte).

Tabelle 1: Auflistung der internationalen Teilnehmer:innen am Task 39.

AEE Institut für Nachhaltige Technologien (AT)	Bobach Solutions Aps (DK)
Austrian Institute of Technology (AT)	Aalborg University Copenhagen (DK)
Universität Innsbruck (AT)	Technical University of Denmark (DK)
Johannes Kepler Universität Linz (AT)	Ramboll (DK)
SOLID GmbH (AT)	CEA (FR)
AGRU (AT)	Newheat (FR)
Natural Resources Canada (CA)	CREAR/University of Florence (IT)
Gquadrat (DE)	Ecovat (NL)
Hamburg Institut (DE)	IF Technology (NL)
Solites (DE)	Chalmers University (SE)
Solmax (DE)	Dalarna University (SE)
Stadtwerke München (DE)	MuoviTech (SE)
Steinbeis-Innovationszentrum Energie+ (DE)	Cukurova University (TR)
Technische Hochschule Ulm (DE)	Gazi University (TR)
Universität Kassel (DE)	Nottingham Trent University (UK)
Vattenfall Wärme Berlin AG (DE)	University of Birmingham (UK)
PlanEnergi (DK)	TESS (US)
Aalborg CSP (DK)	US Army Engineering Corps (US)

5 Ergebnisse

5.1 Subtask A: Anwendungsszenarien, Systemkonzepte, Integrationsaspekte

Ziel dieses Subtasks war die Erstellung von Material, das einen Überblick über den Stand der LTES, KPIs für die Leistungsbewertung, LTES-Referenzen und Projektentwicklungsphasen, gemeinsame Herausforderungen und bewährte Verfahren bietet. Den Hauptakteur:innen der LTES, wie z. B. der Projektentwicklung, soll eine solide Grundlage an Materialien zur Verfügung stehen, um ein LTES-Projekt von der Sondierung bis zur Umsetzung zu verfolgen.

Definition von Großwärmespeicher

Um den Rahmen für die Arbeit in Task 39 abzustecken, wurde in einem ersten Schritt eine Definition für LTES festgelegt. Dabei war es notwendig zu klären, welche Speicher in die kommenden Untersuchungen einbezogen werden sollen. Die vereinbarte Definition im Rahmen dieses Tasks ist die folgende:

“Großwärmespeicher sind sensible Wärmespeicher mit einer Kapazität von mindestens 1 GWh Wärme pro Jahr bei atmosphärischem Druck. Die gespeicherte Wärme soll zur Einspeisung in Fernwärmenetze geeignet sein und bei Temperaturen über 50°C liegen.”

Diese Definition

- schließt Phasenwechselmaterialien (phase-change material PCM) Speicher und thermochemische Materialien (TCM) Speicher aus,
- gibt eine Mindestgröße des Speichers an, um als “groß” zu gelten,
- schließt Druckspeicher aus und
- gibt eine Mindesttemperatur für die Ausspeisung an.

Die in diesem Task betrachteten Speicher sind also TTES, PTES, BTES und ATES, da diese die oben genannten Kriterien erfüllen. Der Umfang des Speichers kann eine Nachheizereinheit wie z. B. eine Wärmepumpe für BTES umfassen, um die Kriterien zu erfüllen.

Bewertung der LTES-Leistung auf Basis der KPIs

Key performance indicators (KPIs) sind in jedem Abschnitt eines LTES-Projekts notwendig, um alle Aspekte auszuwerten. KPIs können in allen Projektphasen genutzt werden:

- In der Sondierungsphase werden sie dazu verwendet, eine Vorauswahl der wichtigsten LTES-Technologien zu treffen und eine grobe Größenordnung auf der Grundlage der ersten technisch-wirtschaftlichen Studien auf Systemebene festzulegen.
- In der Entwurfsphase werden sie verwendet, um die in der vorangegangenen Phase getroffene Technologieauswahl und -dimensionierung zu vervollständigen. Außerdem werden die KPIs zur Berechnung der erwarteten Leistung und des Zielpreises auf der Speicherebene verwendet.
- In der Ausschreibungsphase werden sie eingesetzt, um die besten Produkte und die besten Lieferant:innen auf technisch-wirtschaftlicher Ebene auszuwählen und einen klaren Vertrag zwischen dem Projekteigentümer:innen und den Lieferant:innen in Bezug auf Preis, Haltbarkeit und Leistung zu schließen.
- In der Umsetzungsphase nutzt man technische KPIs zur Leistungsprüfung während der Inbetriebnahme des Speichers. In der Betriebsphase werden sie zur Überwachung des Speicherbetriebs, zur Leistungsprüfung und zur Fehlererkennung eingesetzt.

Es gibt viele verschiedene Indikatoren, die für die Durchführung der oben genannten Aktivitäten verwendet werden können. In den Subtasks wurde eine umfassende Liste von KPIs in Abstimmung mit den verschiedenen Teilnehmer:innen erstellt und es wurden Fallbeispiele vorgestellt, um ihre Verwendung zu veranschaulichen.

Liste der KPI

Eine Liste von KPI wurde erstellt und stellt eine erste Referenz zur Leistungsüberwachung dieser Speichertypen dar. Sie zielt darauf ab, technische, wirtschaftliche und ökologische Aspekte erschöpfend zu behandeln.

Es wird zwischen Key Design Parameters (KDPs) und Key Performance Indicators (KPIs) unterschieden. Erstere werden als ein Wert definiert, der vor der Implementierung der Speicherung ermittelt werden kann. Dabei handelt es sich um theoretische Zahlen, die vorrangig für die Planung und Dimensionierung der Langzeitspeicher verwendet werden, wie z. B. das Volumen, die benötigte Fläche oder die Speicherkapazität. Letztere sind als Werte definiert, die erst nach der Inbetriebnahme ermittelt werden können, d. h., sie können erst berechnet werden, wenn der Speicher in Betrieb ist. Es handelt sich dabei um Überwachungsdaten, die hauptsächlich zur Charakterisierung der Leistung der Langzeitspeicher verwendet werden, wie z. B. geladene und entladene Energie, Energieeffizienz oder der Tarif für die Wärmeversorgung der Fernwärmenetz-Verbraucher.

Die aufgelisteten KPIs werden mit ihrer Formel, Einheit, ihrer Verwendung und einer Referenz vorgestellt. Außerdem sind sie in verschiedene Kategorien eingeteilt:

- Ihre Art: technisch, wirtschaftlich oder ökologisch.
- Die Speicher, für die sie gelten: TTES, PTES, BTES und/oder ATES.
- Der Anwendungsbereich dieses KPI: Speicher allein, Speichersystem oder das gesamte Fernwärmenetzsystem.

- Die Projektphase, in der dieser KPI berechnet werden sollte: Sondierung, Entwurf oder Betrieb.
- Die Hauptzielgruppe: politische Entscheidungsträger:innen, Projekteigner:innen/-entwickler:innen oder den Forschungs-/Ingenieurbereich.

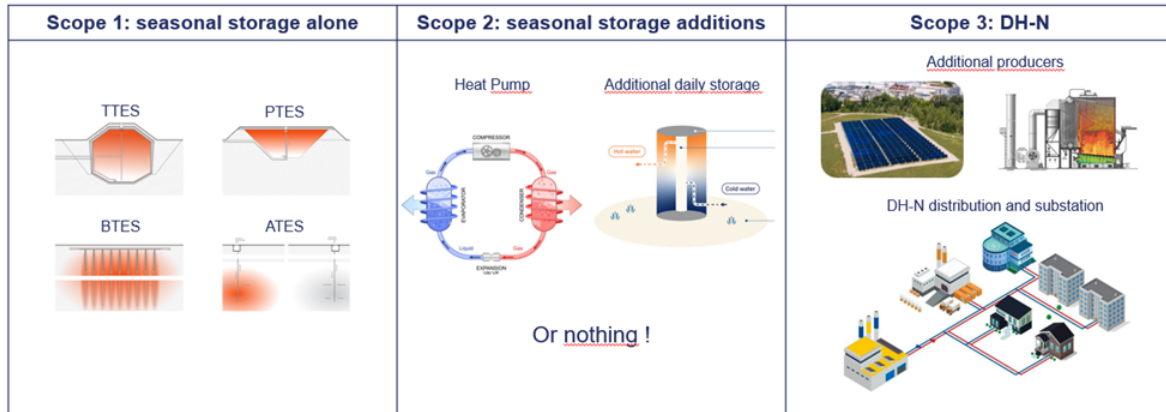


Abbildung 2: Für die Abgrenzung der Indikatoren berücksichtigte Bereiche

Diese Liste kann als Referenz für verschiedene Akteur:innen von LTES-Projekten verwendet werden, um das Verhalten eines LTES aus ihrer Sicht zu analysieren. Ein Auszug aus dieser Liste mit den wichtigsten KPIs ist verfügbar im [Hauptbericht](#) des Subtask, entsprechend der Gliederung in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..** Die gesamte Liste ist auf Anfrage erhältlich und wird im Task 45 weiter ergänzt.

Tabelle 2: Auszug aus der im STA-Hauptbericht vorgestellten KPI-Liste

KPI	Description	Unit	Reference
MIX number	Quantifies the temperature distribution inside the storage	-	(Sifnaios, I., Jensen, A.R., Furbo, S., Fan, J., 2022)
Figure of Merit	Quantifies the losses within the storage due to losses to the ambient and destratification	-	
Exergy yield	Quantifies the usability of the stored energy	-	
Exergy efficiency	Quantifies the storage efficiency regarding its energy quality	%	(Sifnaios, I., Jensen, A.R., Furbo, S., Fan, J., 2022)
Stratification coefficient	Quantifies the stratification based on the deviation of the storage temperature profile to its mean temperature	K ²	(Sifnaios, I., Jensen, A.R., Furbo, S., Fan, J., 2022)
Exergy destruction	Exergy destroyed within the storage (excluding heat losses)	MJ/m ³	(Sifnaios, I., Jensen, A.R., Furbo, S., Fan, J., 2022)

Min/max temperature for the discharge	Dischargeable temperature range from the storage	K	(Yang, T., Liu, W., Kramer, G. J., Sun, Q., 2021)
Min/max return temperature	Return temperature range from the storage	K	
Charged heat	Heat charged over a period	GWh	(Pan, X., Xiang, Y., Gao, M., Fan, J., Furbo, S., Wang, D., Xu, C., 2022)
Discharged heat	Heat discharged over a period	GWh	(Pan, X., Xiang, Y., Gao, M., Fan, J., Furbo, S., Wang, D., Xu, C., 2022)
Internal energy change	Energy variation within the storage between the end and the start of a period	GWh	(Pan, X., Xiang, Y., Gao, M., Fan, J., Furbo, S., Wang, D., Xu, C., 2022)

Beispiel einer Nutzung von KPI in typischen LTES-Anwendungen

Um die erstellte Liste zu vervollständigen, wurden in Beitrag A4 Fallbeispiele vorgestellt, um die Verwendung mehrerer der wichtigsten KPIs zu veranschaulichen. Zunächst wurden die Definitionen der Indikatoren für die Energiebilanz, die Anzahl der Zyklen und die Schichtung ausführlicher dargestellt, und ihre Interpretation wurde erläutert. Somit kann dieses Dokument ergänzend zur Liste verwendet werden, um ein besseres Verständnis dieser KPIs zu erlangen.

Interne Studien, die von NewHeat (FR) mit ihren internen Modellierungswerkzeugen, einschließlich TTES und PTES, durchgeführt wurden, wurden anschließend beschrieben, um die Interpretation der KPIs zu veranschaulichen. Es wurde gezeigt, wie wichtig gut definierte KPI (insbesondere Exergie- und Energieeffizienz) für die Analyse der Leistungen von LTES sind, damit die Art und Weise ihrer Berechnung von allen verstanden wird, die sie nutzen möchten. Einerseits können sie verwendet werden, um den Einfluss verschiedener Betriebsbedingungen (Regelungsstrategie und jährliche Schwankungen von Wärmeangebot und -nachfrage) auf die Leistung des Speichersystems zu quantifizieren, und ermöglichen so die Optimierung von Betriebsstrategien. Andererseits ermöglichen die KPIs die Definition einer Leistungsgarantie auf der Grundlage der Ergebnisse der Modellsimulation, die den Einfluss der Auslegungsparameter auf die von den Langzeitspeichern gelieferte Wärme zeigt.

Diese Arbeit verdeutlichte die Bedeutung von Testverfahren, die in der Nachfolge Task 45 behandelt werden, um einen gemeinsamen Standard für jede KPI-Berechnung zu gewährleisten.

Liste von LTES-Projekten

Eine Liste existierender LTES Projekte wurde ausgearbeitet, um alle Referenzen an einem Ort zu sammeln und eine Datenbank für künftige Projektentwicklungen bereitzustellen und einen Überblick über frühere Erfahrungen zu bieten.

Diese Liste enthält die vier in dem Task behandelten Technologien sowie Referenzen, die der Definition eines LTES Speichers entsprechen. Von dieser Definition wurden einige Ausnahmen gemacht. Einerseits wurde die Liste für TTES, für die es zu viele Referenzen gibt, auf Projekte mit einem Volumen von mehr als 5'000 m³ beschränkt. Andererseits gab es für BTES und PTES keine Beispiele, die der Definition entsprachen, weshalb Projekte mit einer Kapazität von weniger als 1 GWh beibehalten wurden.

Diese Liste ist online auf einem von PlanEnergi (DK) gehosteten SharePoint verfügbar und kann durch Ausfüllen eines Formulars, dessen Ergebnis vom Host verarbeitet wird, ergänzt oder bearbeitet werden.

Country	Storage type	Location/name	Storage duration	Application/purpose	Storage medium	Storage volume [m ³]	Status	Year commission	Storage capacity [MWh]	Max. charge temp. [°C]	Source of information/comments
Austria	TTES	Linz	Daily		Water	35.000	Operational				Brochure of references from Bilfinger
Austria	TTES	Salzburg Nord	Daily		Water	29.000	Operational				Brochure of references from Bilfinger
Austria	TTES	Wels	Daily		Water	5.000	Operational				Brochure of references from Bilfinger
Canada	BTES	Drake Landing (Okotoks)	Seasonal	Seasonal storage of solar heat, for 52 high energy-efficiency houses	Soil	33.700	Operational	2006	760	80	HeatStore deliverables D1.1, D1.2, D1.3
China	BTES	Guangzhou	Seasonal	Seasonal storage of waste heat from fuel cells and solar heat for use by absorption	Soil	39.800	Operational	2002	1.350	90	HeatStore deliverables D1.1, D1.2, D1.3
China	PTES	Tibet Langzai	Weekly	Seasonal/weekly storage of solar heat	Water	15.000	Operational	2018	700		Aalborg CSP
Denmark	BTES	Braedstrup	Seasonal	Seasonal storage of solar heat	Soil	19.000	Operational	2012	444	80	HeatStore deliverables D1.1, D1.4, D1.2, D1.3
Denmark	PTES	Marstal 1	Seasonal	Seasonal storage of solar heat	Water	10.000	Decommissioned	2003	600		PlanEnergi
Denmark	PTES	Marstal 2	Seasonal	Seasonal storage of solar heat	Water	75.000	Operational	2012	6.000	90	HeatStore deliverables D1.1
Denmark	PTES	Dronninglund	Seasonal	Seasonal storage of solar heat	Water	60.000	Operational	2013	5.400	90	HeatStore deliverables D1.1
Denmark	PTES	Gram	Seasonal	Seasonal storage of solar heat	Water	122.000	Operational	2014	9.718	90	HeatStore deliverables D1.1, Danish HEATSTORE Theme Day (2021)
Denmark	PTES	Nyord	Seasonal	Seasonal storage of solar heat	Water	203.000	Operational	2015	12.840	90	http://climateaction.eu/2020/05/16/operational-heatings/
Denmark	PTES	Tofthund	Seasonal	Seasonal storage of solar heat	Water	85.000	Operational	2017	6.770	90	Ramboll, Danish HEATSTORE Theme Day (2021)
Denmark	PTES	Højte Tastrup	Weekly	Flexible use of biomass and waste incinerator CHP heat, connected to DHN	Water	70.000	Operational	2023	1.195	95	PlanEnergi, DTU, Flex-TEs project
Denmark	PTES	Risskov	Multifunctional	Flexible use of biomass and waste incinerator CHP heat, connected to DHN	Water	200.000	Announced		-		PlanEnergi
Denmark	PTES	Glesne	Multifunctional	Flexible use of biomass and waste incinerator CHP heat, connected to DHN	Water	73.000	Announced		-		PlanEnergi
Denmark	TTES	Copenhagen	Hourly/Daily	Store heat from electric boiler & Heat Pump (power-to-heat)	Water	22.000	Announced	2025 (planned)	1.000	120	https://www.kk.dk/sites/default/files/agenda/41133276-468c-4368-96c7-81f56-83064c/f41edab6-f038-4810-943e-698
Denmark	TTES	Silleborg	Daily/weekly	Daily/weekly storage of solar heat	Water	4*18'000	Operational	2017			
Denmark	TTES	Aalborg	Hourly/Daily	Store heat from electric boiler & HP (power-to-heat)	Water	4*30'000	Under construction		4*3'000	98	Aalborg Forsyning
Denmark	TTES	Copenhagen - Amagervejset	Daily	Flexible use of biomass CHP heat, connected to DHN	Water	24.000	Operational		1.000	115	https://www.varmesat.dk/fileadmin/user_upload/varmesat/
Denmark	TTES	Copenhagen - Avedøreværket	Daily	Flexible use of biomass CHP heat, connected to DHN	Water	2*22'000	Operational		2.200		https://www.varmesat.dk/fileadmin/user_upload/varmesat/
Denmark	TTES	Nybyggervej Fælled	Daily		Water	5.000	Operational	2020			https://steeltank.dk/reference/varmekkumulering/
Denmark	TTES	Ribe	Daily		Water	5.400	Operational	2020			https://steeltank.dk/reference/varmekkumulering/
Denmark	TTES	Jäbybro	Daily		Water	6.000	Operational	2018			https://steeltank.dk/reference/varmekkumulering/
Denmark	TTES	Næstved	Daily		Water	6.555	Operational	2016			https://steeltank.dk/reference/varmekkumulering/
Denmark	TTES	Slagelse	Daily		Water	6.000	Operational	2014			https://steeltank.dk/reference/varmekkumulering/
Denmark	TTES	Slagen	Daily		Water	6.240	Operational	2011			https://steeltank.dk/reference/varmekkumulering/
Denmark	TTES	Braedstrup	Daily	Daily/weekly storage of solar heat	Water	5.542	Operational	2012	277		https://www.fu.dk/reference/
Denmark	TTES	Aalborg Aalborg Forsyning	Daily		Water	54.630	Under construction	ongoing			https://www.fu.dk/reference/
Denmark	TTES	Silleborgs, Silleborgs Varme A1	Daily		Water	14.000	Operational	2017			Rodoverken, Grantor
Denmark	TTES	Silleborgs, Silleborgs Varme A2	Daily		Water	14.000	Operational	2017			Rodoverken, Grantor
Denmark	TTES	Kalundborg, Energi E2 A/S	Daily		Water	20.000	Operational	2012			Rodoverken, Grantor
Finland	TTES	Turtu	Daily		Water	9.828	Operational	2023	393		https://www.fu.dk/reference/
Finland	BTES	Tononlampi	Seasonal	Seasonal storage of industrial waste heat and solar heat	Soil	10.400	Operational	2019	350	60	HeatStore
Finland	TTES	Heisingfors, Heisingfors Energi	Daily		Water	26.000	Operational	1993			Rodoverken, Grantor
Finland	TTES	Mariehavn, Alanda Kraft AB	Daily		Water	7.200	Operational	1990			Rodoverken, Grantor
Germany	PTES	Reichstag, Berlin	Weekly	Heating and cooling of the Reichstag	Water	2000	Operational	2000	3.500	70	HeatStore deliverables D1.1, https://www.geothermal-energy.org/pdf/IGASstandard/WGC/2000/R0493.PDF
Germany	TTES	Niedertrum	Seasonal	Seasonal storage of solar heat	Soil	63.400	Operational	1997	2.100	75	HeatStore deliverables D1.1
Germany	BTES	Enslinchen	Seasonal	Seasonal storage of solar heat	Soil	87.400	Operational	2008	760	95	HeatStore deliverables D1.1

Abbildung 3: Auszug aus der LTES-Liste, die auf der Task 39-Website vorgestellt wurde

Methode zur Ausführung eines LTES-Projektes

Schließlich bestand ein großer Teil der Arbeit in Subtask A darin, Leitlinien für die Entwicklung von LTES-Projekten zu erstellen, um den verschiedenen Interessengruppen einen Leitfaden für ihr Verständnis und ihre Rolle während eines LTES-Projekts an die Hand zu geben. Die Vorgehensweise wurde innerhalb des Subtask A-Hauptberichts in zwei Teile aufgeteilt. Zunächst wurde ein Standardprozess für die Entwicklung einschließlich der wichtigsten Aktivitäten, Herausforderungen und Instrumente vorgestellt. Zweitens wurden tatsächliche Projektentwicklungen parallel zum Projektentwicklungsprozess dargestellt, um Beispiele aus der Praxis für die im ersten Teil vorgestellten Aktivitäten und Herausforderungen zu geben.

Zunächst wird die Entwicklung eines LTES-Projekts in 4 Phasen unterteilt, die in der folgenden Abbildung dargestellt sind. Da sich dieser Bericht an die Projektbeteiligten richtet, werden sie in die einzelnen Phasen eingeteilt, um ihren Fokus schnell zu verstehen.

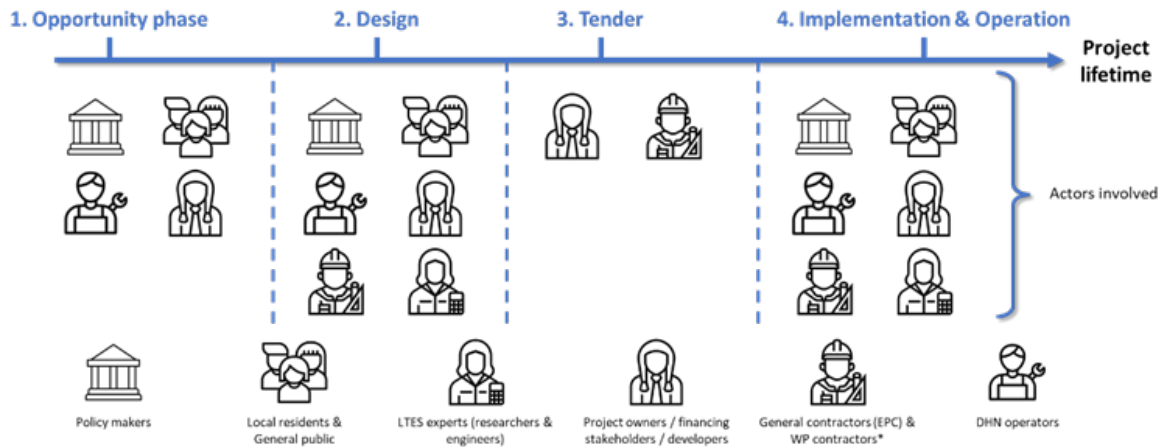


Abbildung 4: Abschnitte eines LTES-Projekts und beteiligte Akteure

Dieser Bericht ist sowohl als synthetische Version in [Deliverable A1](#) als auch als detaillierterer Bericht im Hauptbericht des Subtasks verfügbar. Die synthetische Version kann in ein zweiseitiges Faltblatt für jede Phase eines LTES-Projekts umgewandelt werden, um z.B. Entscheidungsträger:innen einen schnellen Zugang zu den wichtigsten Informationen zu ermöglichen.

Für jede in der Abbildung 4 beschriebene Phase werden in dem Bericht die wichtigsten Ziele, Aktivitäten, gemeinsamen Herausforderungen, Instrumente und am häufigsten verwendeten Indikatoren beschrieben. Diese Hauptthemen bieten einen globalen Überblick über den Ertrag der Erfahrungen aus bestehenden Projekten und die Schlüssel zur Entwicklung neuer Projekte. Weitere Einzelheiten finden Sie im Subtask A [Hauptbericht](#).

Hauptaktivitäten in der Planungsphase

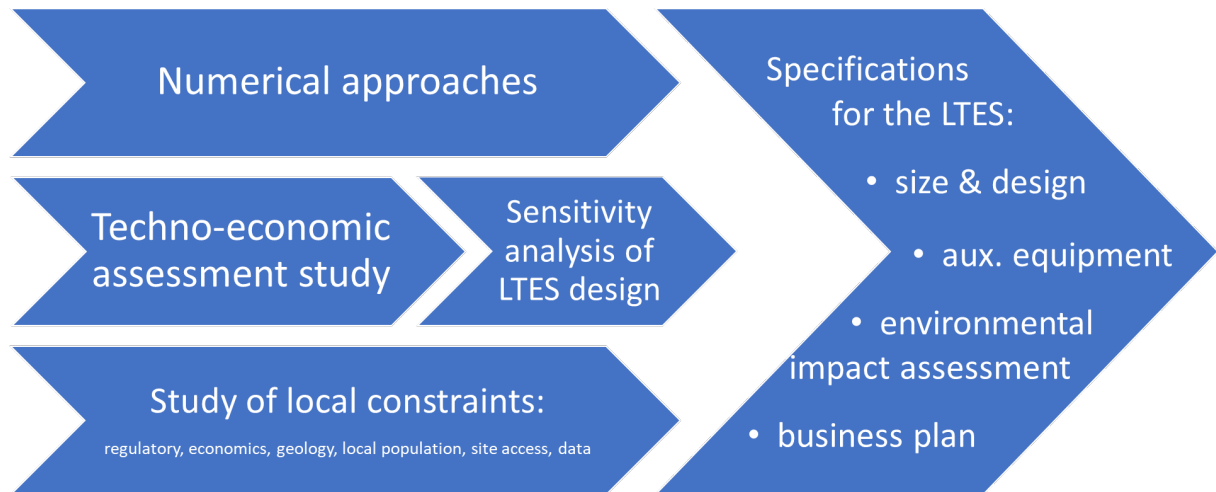


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Aktivitäten in der Entwurfsphase



Häufige Herausforderungen während Implementierung und Betrieb

- Schlechte Wetterbedingungen während der Durchführung (Wind, Regen, Frost/Schnee)
- Begrenzte Verfügbarkeit von Wasser zum Auffüllen
- Geringe Qualität der Ausführung (unzureichende Qualitätssicherung), was zu Leckagen, fehlerhaften Geräten/Komponenten und Verzögerungen führt
- Geologische Bedingungen, die von den Erwartungen abweichen (z. B. Gestein statt Erde im Untergrund)
- Von den Planungshypothesen abweichende Speicherbetriebsarten und Wärmelasten
- Empfindlichkeit der LTES-Leistung gegenüber den Betriebsbedingungen
- Lebensdauer des Speichers und Wartungsaufwand

Verwendete Mittel und Werkzeuge für die Sondierung

- Vereinfachte Modellierungswerkzeuge vor der Machbarkeitsstudie (energetische, thermohydraulische Ansätze)
- Vereinfachte/simulierte Randbedingungen zur Einleitung von Berechnungen
- Geschäftsplan
- Vorhandene Literatur über die Beschaffenheit der Böden und Umweltauflagen
- Stadtplanungsdokumente
- Offen zugängliche Daten über das Vorhandensein von Grundwasser, Topologie, Wetterbedingungen usw.
- Bibliografie/Referenzen zu bewährten Praktiken für die verschiedenen Technologien von LTES

Tabelle 3: Hauptindikatoren für die Ausschreibungsphase

Akteur:in	Technischer Indikator	Ökonomischer Indikator	Ökologischer Indikator
 <p>Projekteigentümer:in / Finanzierungsbeauftragte / Entwickler:in</p>	<p>- Schlüsselindikatoren für das entsprechende Arbeitspaket LTES-Komponenten</p>	<p>- Aktualisierter gewichteter DHN-Marktwärmepreis mit oder ohne LTES - CAPEX des Projekts - OPEX-Schätzungen</p> <p>In der Regel kann jedes Arbeitspaket in €/m³ oder €/m² ausgedrückt werden, um verschiedene Angebote leichter vergleichen zu können.</p>	<p>Jede von der Verwaltung auferlegte Umweltbeschränkung (und der damit verbundene KPI) in den erhaltenen Genehmigungen muss beantragt werden</p>
 <p>Allgemeine Unternehmen (EPC) & WP-Auftragnehmer:innen</p>	<p>- Leistungsindikatoren für die entsprechenden Komponenten des Arbeitspakets LTES</p>	<p>- CAPEX des Pakets</p>	<p>Alle von der Verwaltung in den erteilten Genehmigungen auferlegten Umweltbeschränkungen (und die damit verbundenen KPI) müssen sichergestellt werden</p>

Fallstudien: Anwendung auf ein bestehendes LTES-Projekt

Das Deliverable (A2) dient zur Veranschaulichung der im vorangegangenen Teil vorgestellten Ergebnisse anhand von Beispielen aus der realen Projektentwicklung.

Ein Projekt je Technologie wurde ausgewählt:

- Berlin 56'000 m³ TTES für Fernwärme im Besitz von Vattenfall und in Betrieb seit 2023
- Dronninglund 60'000 m³ PTES im Besitz von Dronninglund Fernwärme und in Betrieb seit 2014
- Emmaboda 140 Bohrloch BTES im Besitz von Xylem Water Solutions AB und in Betrieb seit 2010
- Middenmeer 440'000 m³ ATES im Besitz von Ennatuurlijk Aardwarmte und in Betrieb seit 2021

Die Projektentwickler:innen wurden gebeten, ein Feedback zu ihren Erfahrungen in ihrem Projekt zu folgenden Themen zu geben:

- Modellierung und Größenanpassung
- Speichermaterialien
- Land
- Genehmigungsverfahren
- Vertragliche Regelung
- Ausschreibungsprozess

- Bau
- Betrieb und Instandhaltung

Zusammen mit Deliverable A1 erhält jede:r potenzielle Akteur:in ein Gesamtbild der Projektentwicklung mit synthetischem und detailliertem Material, um eine breite Öffentlichkeit zu erreichen.

5.2 Subtask B: Komponenten- und Materialdatenbank

Die Eigenschaften von Materialien und Komponenten sind für die Planung, den Entwurf und die Leistungsbewertung eines jeden thermischen Energiespeichersystems von wesentlicher Bedeutung. Die Leistung der einzelnen Komponenten/Materialien steht in direktem Zusammenhang mit der Lebensdauer und den Kosten/Nutzen-Analysen einer thermischen Speicherstruktur. Die Materialien in einer thermischen Speicherstruktur sind höheren Temperatur- und Feuchtigkeitsniveaus ausgesetzt als in Umgebungsbedingungen. Daher sind zuverlässige und genaue Materialdaten unerlässlich.

Ziele von Subtask B waren die Erstellung einer Materialdatenbank, Leitlinien für eine angemessene Wasserqualität, Empfehlungen für den Korrosionsschutz und Vorschläge für neuartige hygrothermische und mechanische Prüfverfahren. Das Thema „Vorschlag für neue hygrothermische und mechanische Prüfverfahren“ wurde jedoch nicht behandelt. Es wurden einige Testmethoden zusammengestellt. Im Allgemeinen wird die Folgeaufgabe (Task45) die in diesem Bericht beschriebenen Fortschritte aufgreifen, um den Detaillierungsgrad für jedes Ziel weiter zu verbessern.

Die Erstellung einer Datenbank und von Leitlinien für alle Arten von Wärmespeichern war eine Herausforderung. Daher versuchten die Gruppenmitglieder, allgemeinere Leitlinien zu erstellen, die für fast alle Technologien gelten, und in einigen Fällen waren sie spezifischer für eine bestimmte Technologie.

Daten zu Material und Komponenten

Es wurde ein Status der verfügbaren Materialien erhoben und aufgelistet. Mit Hilfe von schematischen Zeichnungen jedes Speichertyps soll eine prinzipielle Visualisierung ihrer Zusammensetzung erfolgen. Die gesammelten Material- und Komponentendaten berücksichtigen zunächst die PTES-Technologie. Es wurde eine beachtliche Auswahl an Werkstoffen zusammengetragen, wobei zu fast allen Werkstoffen ein Kommentarfeld ausgefüllt wurde, um nähere Informationen, oft aus Projekterfahrungen, zu erhalten. Außerdem wurden die gemeinsamen Materialien der PTES-Technologie mit anderen Technologien in den Teil der Datenbank übertragen, der sich auf diese Technologien bezieht. Schließlich wird die Datenbank für die Technologien durch relevante Materialeigenschaften für die jeweilige Speichertechnologie ergänzt.

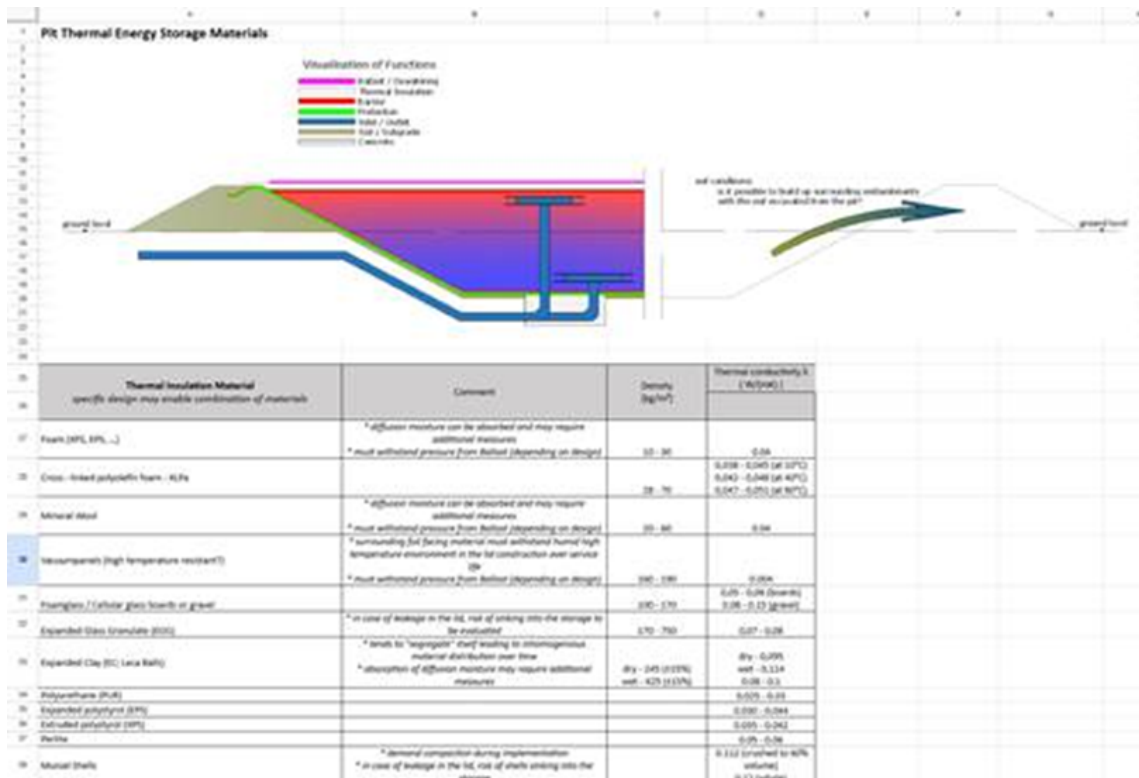


Abbildung 6: Auszug aus der Beispiel-Excel-Datei für Materialdaten für PTES

Die Materialentwicklung für PTES hingegen ist noch im Gange, um alle Aspekte des Umgangs mit den verschiedenen Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Betrieb, z. B. hohe Temperaturen und hohe Feuchtigkeit, abzudecken. Die Bauweise ist teilweise oberirdisch, z. B. durch große Erddämme zur Gewinnung großer Volumina. Daher gibt es auch bei anderen Aspekten, wie z. B. bestimmten Bauteilen oder der Landschaftsgestaltung, in gewissem Maße Schnittstellen, die Potenzial für weitere Untersuchungen bieten.

Datenbank

Die Einrichtung einer Datenbank zielt darauf ab, aktuelle und genaue Informationen über LTES-Materialien und -Komponenten bereitzustellen. Der Entwurfsprozess besteht aus verschiedenen Schritten, die i) die Definition des Zwecks der Datenbank, ii) das Auffinden und die Organisation der Informationen in Tabellen, iii) die Auswahl der in jede Tabelle aufzunehmenden Informationen und iv) die Festlegung der Beziehungen zwischen ihnen umfassen.

Die Datenbank wird auf dem 'Supergen Energy Storage Network' gehostet (<https://supergenstorage.org/>), eine Plattform für die Energiespeicherung, die den Zusammenschluss (Expert:innen) und die Verbreitung (Wissen) von Wissenschaft, Industrie und Politik unterstützt. Die Website des Supergen Energy Storage Network+ ist mit <https://ukesto.supergenstorage.org> verknüpft, wo Einrichtungen und Datenbanken zur Energiespeicherung im Vereinigten Königreich vorgestellt werden.

Messmethoden zur Abschätzung der Lebensdauer

Die Lebensdauer der Materialien und Komponenten ist entscheidend für die wirtschaftliche Machbarkeit aller thermischen Speichertechnologien. Die Messung der Lebensdauercharakterisierung von Materialien in Echtzeit und im Maßstab ist zeitaufwändig. Im Allgemeinen werden die Messungen beschleunigt und die Probengröße minimiert. Am Institut für Polymeric Materials and Testing der Universität Linz, AT, wurde eine Prüf- und Bewertungsmethode auf der Basis von miniaturisierten Proben implementiert. Besonderes Augenmerk wurde auf die Beschleunigung der Alterungsmechanismen durch erhöhte Temperatur und Miniaturisierung der Proben gelegt. Es wurde eine Methode verwendet, die auf kumulativen Schäden basiert. Die Bewertung der Lebensdauer basiert auf a) simulierten Temperaturbelastungsprofilen für LTES und b) extrapolierten experimentellen Alterungsdaten auf der Ebene der Mikro-Proben. Diese Daten wurden gewichtet und unter Berücksichtigung eines kumulativen Schadensmodells akkumuliert.

Schüttfähige Dämmstoffe

Es wurden Versuche durchgeführt, um den Mechanismus der Wärmeübertragung in porösen Dämmmaterialien zu verstehen. Poröse schüttfähige Dämmstoffe (wie Schaumgasschotter) sind eine gute Lösung für erdverlegte TES, da sie korrosionsbeständig sind und leicht und ohne Gerüst installiert werden können. In der TES-Decke und den Seitenwänden können jedoch der große Temperaturunterschied zwischen dem TES-Wasser und dem umgebenden Erdreich und die hohe Porosität dieser Art von Isolierung zur Entwicklung einer natürlichen Konvektion führen, die durch den Dichtegradienten innerhalb der Isolierschicht angetrieben wird. Dies erhöht die lokale Wärmeübertragung und die Wärmeverluste durch die TES-Hülle. Materialtests wurden mit numerischen Simulationen kombiniert, um den Schwellenwert für die Entwicklung der natürlichen Konvektion zu verstehen und so das optimale Isoliermaterial und seine Konfiguration auszuwählen. Die Ergebnisse dieser Studien wurden auf der IRES 2022 Konferenz, der Enerstock 2024 Konferenz und im Abschlussbericht des Subtasks B präsentiert.

Leitlinien für eine angemessene Wasserqualität und Verfahren zur Erlangung dieser Wasserqualität

Das Wasser wird als Wärmeträger im Fernwärmenetz und als Speichermedium, z. B. in PTES, verwendet. Die Herausforderungen in Bezug auf die Wasserqualität in einem Fernwärmenetz sind denen einer thermischen Speicherstruktur (TSS) sehr ähnlich. Daher wurden vorhandene Kenntnisse aus dem Fernwärmebereich und Erfahrungen aus PTES genutzt.

Das Wasser in einem LTES sollte eine ausreichende Qualität aufweisen, um die folgenden Funktionen zu erfüllen: Vermeidung oder Minimierung von Korrosion in metallbasierten Komponenten, Vermeidung von Bakterienwachstum im Speicher, Vermeidung schädlicher Auswirkungen auf die Lebensdauer des Polymers und anderer Materialien für ein LTES.

Das Wasser in einem LTES kann in einem offenen oder geschlossenen System zirkulieren. In einem offenen System steht das Wasser in Kontakt mit der atmosphärischen Luft. So kann das Wasser

nicht sauerstofffrei gehalten werden, was das Risiko von Korrosionsschäden erhöht. Die Wassertemperatur in einem LTES liegt zwischen 5°C und 95°C.

Tabelle 4 und Tabelle 5 zeigen die notwendige Wasserqualität für PTES und Fernwärmenetze in Deutschland.

Tabelle 4: Anforderungen an Kreislaufwasser in Industrie- und Fernwärmesystemen und Empfehlungen für deren Betrieb in Deutschland (Arbeitsblatt AGFW FW 510)

Worksheet AGFW FW 510					
Requirements for circulation water in industrial and district heating systems and recommendations for their operation					
Parameter	Unit	Reference Value			Evaluation parameter in relation to faults / corrosion signs
		low in salt	high in salt		
Appearance		clear, free from suspended particles			
ph-value at 25 °C		9.0 - 10.0	9.0 - 10.5	9.0 - 10.5	
Remaining hardness	°dH	< 0.1	< 0.1	< 0.1	
conductivity at 25 °C	µS/cm	10 - 30	> 30 - 100	≥ 100 - 1500	
oxygen content	mg/l	< 0.1	< 0.05	< 0.02	
chloride, Cl	mg/l				< 53
sulfide, S ²⁻	mg/l				≤ 0.03
sulphite, SO ₃ ²⁻	mg/l				< 5
sulphate, SO ₄ ²⁻	mg/l				for dosing with sulphite max 250 mg/l
phosphate, PO ₄ ³⁻	mg/l				< 10
iron content total, Fe _{total}	mg/l				< 0.1
copper content total, Cu _{total}	mg/l				≤ 0.01
N ₂	mg/l				≤ 10
TOC					if the normal operating value is exceeded (depending on the raw water)
H ₂					concentration at high points or in the exhaust air of the vacuum degasser, indication of electrochemical corrosion
aluminium					to check for incorrect use of material
zink					to check for incorrect use of material, indication of electrochemical corrosion
DOC					indication of foreign substance input
CH ₄					indication of sulphate-reducing bacteria
Silicate, SiO ₃ ²⁻					indication of external water contamination - for low salt operation

Tabelle 5: Mindestanforderungen an die Wasserqualität PTES mit einem Diffusionssystem aus Kohlenstoffstahl, bei dem die Korrosion so weit wie möglich minimiert werden sollte. Die Leitfähigkeit steigt aufgrund der PH-Einstellung durch Natriumhydroxid.

Appearance		Clear and colourless
Odour		Odourless
Solid particles	mg/l	<0.2
Oil and grease content	mg/l	Free of oil and gas
Residual hardness	°dH	<0.005
Conductivity at 25 °C	µS/cm	<0.2 before pH adjustment/<20 after pH adjustment

Chlorides, Cl ⁻	mg/l	<0.01
Sulphates, SO ₄ ⁻⁻	mg/l	<0.01
Total Iron, Fe _{total}	mg/l	<0.005
Total Copper content, Cu _{total}	mg/l	<0.003
pH		9.8±0.2

Richtlinien/Empfehlungen für den Korrosionsschutz

Der Korrosionsschutz ist für alle Metallteile relevant, die in direktem Kontakt mit dem LTES-Speichermedium und der Wärmeträgerflüssigkeit stehen. Das sind Diffusoren, Rohre, Wärmetauscher, Pumpen und Ventile. In diesem Zusammenhang ist das Wärmeträgermedium immer Wasser, das wie oben beschrieben in gewissem Maße aufbereitet wird. Die notwendigen Vorkehrungen zur Vermeidung von Korrosion hängen in hohem Maße mit dem Grad der Wasseraufbereitung und der Fähigkeit zusammen, die Wasserqualität in einem kontrollierten Zustand zu halten. Die Leitlinien und Empfehlungen für den Korrosionsschutz beruhen auf den Erfahrungen mit herkömmlichen Warmwassersystemen und auf den Erfahrungen mit bestehenden LTES.

Für TTES (Tankspeicher) aus Stahl können die Empfehlungen für Fernwärmenetz-Systeme (Rohrnetz) verwendet werden. Der Hauptgrund dafür ist, dass der Sauerstoffgehalt im Wasser auf ein Minimum reduziert werden kann. In Stahltanks unter Druck gibt es keinen Kontakt mit atmosphärischer Luft aus der Umgebung, und in Stahltanks ohne Druck wird die atmosphärische Luft durch eine Schicht aus Dampf oder Stickstoff von der Wasseroberfläche ferngehalten. Das bedeutet, dass normaler Kohlenstoffstahl verwendet werden kann und kein weiterer Korrosionsschutz erforderlich ist, wenn die Wasserqualität auf dem von den Fernwärmeorganisationen vorgegebenen Niveau gehalten wird.

Bei Speichern in offenen Systemen wie PTES sind die Anforderungen an den Korrosionsschutz höher, da das Wasser mit der atmosphärischen Luft in Kontakt kommt und Sauerstoff im Wasser nicht vermieden werden kann. In diesen Projekten wurde bisher eine Vielzahl von Ansätzen für den Korrosionsschutz realisiert. Die Erfahrungen aus einigen dieser Projekte sind in dem Leitfaden beschrieben (Requirements for water quality in pit thermal energy storages, Bobach, 2022) und über die Task 39 Website verfügbar.

Die Ansätze in den bestehenden PTES-Projekten können in drei Kategorien unterteilt werden: Kohlenstoffstahl und beschichteter Kohlenstoffstahl in Kombination mit einer geringen Wasseraufbereitung und Edelstahl in Kombination mit einer hohen Wasseraufbereitung (Chlorid Gehalt < 1mg/l).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der einzige sichere Ansatz zur Vermeidung von Korrosion die Kombination von rostfreiem Stahl und einem hohen Grad an Wasseraufbereitung ist. Dieser Ansatz wurde in Dronninglund, DK seit 2013 und in Langkazi, Tibet seit 2018 verfolgt, ohne Anzeichen von Korrosion. Die genutzte Stahlqualität in diesen Projekten ist Stainless steel AISI316. Stainless steel AISI304 oder 316 kann verwendet werden, wenn der Chloridgehalt weniger als 1mg/l beträgt, um Spannungsrisskorrosion bei erhöhten Temperaturen zu vermeiden, siehe Abbildung 7.

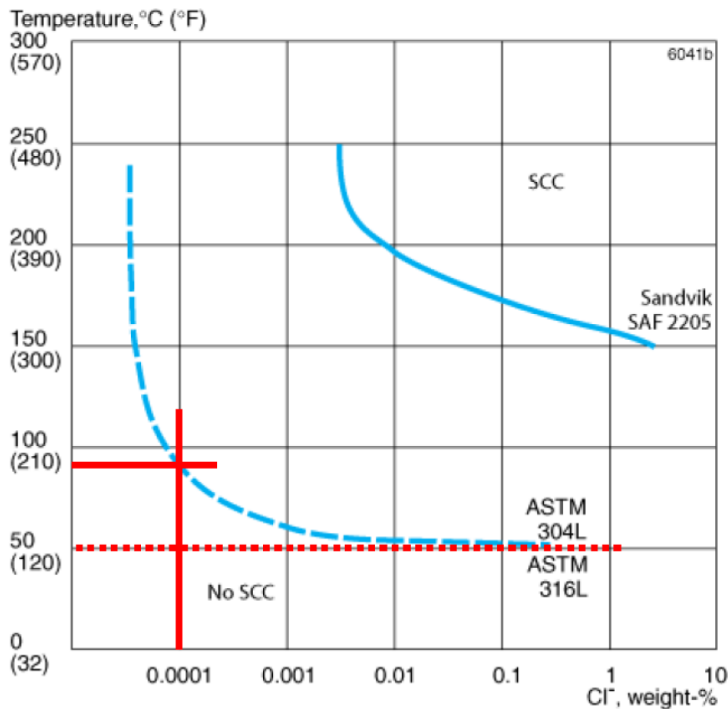


Abbildung 7: Beständigkeit gegen Spannungsrisskorrosion für verschiedene Stahlqualitäten in neutralem Wasser mit 8 ppm Sauerstoff

5.3 Subtask C: Round Robin Simulation

Für die richtige Auslegung und Systemintegration großer thermischer Energiespeicher (LTES) sind geeignete, genaue und verifizierte Simulationsmodelle unerlässlich. In der Vergangenheit wurden verschiedene Modelle für unterschiedliche LTES-Konzepte entwickelt (siehe Abbildung 8 und Tabelle 6), Simulationsplattformen und Anwendungszwecke.

Wichtige Aspekte bei einer LTES-Projektentwicklung sind z.B. die LTES-Dimensionierung, die nur unter Berücksichtigung der LTES-Systemintegration durchgeführt werden kann. Geeignete Modelle hierfür müssen die kurzfristige Interaktion mit den Energieerzeugern und -quellen sowie den Energieverbrauchern des Systems berücksichtigen. Modelle für diesen Zweck sind meist für System-simulationsplattformen wie TRNSYS oder Modelica/Dymola entwickelt worden. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die detaillierte Auslegung und Optimierung eines LTES auf

Komponentenebene. Für diese Aufgabe werden Modelle in detaillierteren und flexibleren Simulationswerkzeugen wie COMSOL Multiphysics verwendet.

Tabelle 6: Überblick der LTES Simulationsmodelle der Task 39 Partner

Zweck/ Speichertyp	Systemsimulation		TES Design Optimierung
ATES	TRNSYS: Type 345 TRNAST Type 1380		FEFLOW MODFLOW HST2D/3D
BTES	TRNSYS: Type 346 SBM , Type 370 Type 557 DST, Type 1373	Modelica: MoSDH library – BTES model	COMSOL Mul- tiphysics ANSYS FLUENT FEFLOW
PTES	TRNSYS: Type 343 (cone), Type 1322 (pyr- amid) Types 1535/1301 (cone), UGSTS MATLAB Simulink: Matlab Large-Scale TES	Modelica: Dymola Dis PlaTES LargeTESmtk – PTES model MoSDH library – PTES model	COMSOL Mul- tiphysics ANSYS FLUENT OpenFOAM
TTES	TRNSYS: Type 340 (above ground) Type 342 (buried and above- ground) Types 534/708 (ground buried) Type 1534 (above ground) Types 1534/1302 (ground bur- ied)	Modelica: Dymola Dis PlaTES LargeTESmtk – PTES model MoSDH library – TTES model MATLAB Simulink: Matlab Large-Scale TES	

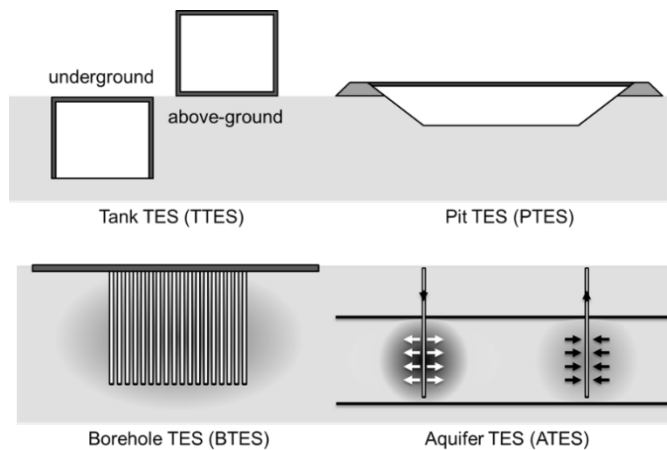


Abbildung 8: Überblick über die in den vergleichenden Simulationen berücksichtigten LTES-Konzepte.

Das Ziel von Subtask C war die Entwicklung und Anwendung einer Verifikationsmethode für LTES-Simulationsmodelle.

Methodologie

Die Verifizierung von Simulationsmodellen kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Übliche Ansätze sind der Vergleich von Simulationsergebnissen mit Messdaten oder mit analytischen Lösungen oder der Vergleich von Simulationsergebnissen zwischen verschiedenen, idealerweise teilweise bereits validierten Simulationsmodellen. Aufgrund der hohen Komplexität und der dynamischen Betriebsbedingungen sind analytische Lösungen nur für einzelne oder sehr vereinfachte Aspekte der Wärmeübertragung verfügbar. Auch ist es schwierig, qualitativ hochwertige Messdaten für LTES zu finden, da keine Laborexperimente im realen Maßstab zur Verfügung stehen und die Überwachungssysteme der realisierten Projekte für betriebliche und nicht für wissenschaftliche Zwecke ausgelegt sind. Die Vollständigkeit und Qualität der Messdaten können daher in den meisten Fällen nicht den wissenschaftlichen Anforderungen genügen. Aus diesen Gründen wurde ein Verifikationsverfahren entwickelt, das auf vordefinierten und repräsentativen Testfällen und vergleichenden Simulationen basiert. Konkret wurden (1) Testfälle für die im Endbericht dargestellten LTES-Konzepte definiert, (2) Simulationsmodelle für die Testfälle erstellt und von den Teilnehmer:innen des Subtask angewendet und (3) die Simulationsergebnisse der Modelle verglichen. Da einige der Modelle bereits zuvor validiert wurden, kann ein Vergleich der Modellergebnisse ein valider Weg zur Verifizierung sein, wenn die Abweichungen zwischen den betreffenden Modellergebnissen akzeptabel sind.

Tabelle 7 gibt einen Überblick über die für die Vergleichssimulationen definierten Testfälle. Für jeden Testfall wurde eine detaillierte Beschreibung der spezifischen Speicherkonfiguration und der erforderlichen Simulationsergebnisse erstellt. Diese Testfallbeschreibungen sind in einer der Subtask Deliverables verfügbar, siehe unten.

Tabelle 7: Übersicht der für die Überprüfung der LTES-Simulationsmodelle definierten Testfälle (CH: Laden, DC: Entladen, BHE: Erdwärmesonde).

Testfall	ATES-1	BTES-1	PTES-1-C	PTES-1-P	TTES-1-AG	TTES-1-UG
Beschreibung	ATES zwei Quellen	BTES zylindrisch	PTES Abgestumpfter und umgedrehter Kegel	PTES Abgestumpfte und umgedrehte Pyramide	TTES oberirdisch (above ground)	TTES unterirdisch (under- ground)
TES Volumen	375 000 m ³ (Boden)	80 000 m ³ (Boden)	100 000 m ³ (Wasser)	100 000 m ³ (Wasser)	50 000 m ³ (Wasser)	100 000 m ³ (Wasser)
Speichermedium	Boden- wasser	Boden	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
Isolation	-	oben	oben	oben	oben, seit- lich, unten	Oben
CH/DC Anlagen	zwei Quellen	128 BHE	Oben & un- ten Diffu- soren	Oben & un- ten Diffuso- ren	Oben & un- ten Diffuso- ren	Oben & un- ten Diffu- soren

In diesem Stadium wurden einfache Jahresbetriebsprofile für die Testfälle festgelegt. Es wurde eine viermonatige Ladeperiode mit konstantem Massenstrom und konstanten Eintrittstemperaturen angenommen, gefolgt von einer einmonatigen Leerlaufphase. Danach folgt eine viermonatige Entladeperiode (wiederum mit konstanten Massenströmen und Eintrittstemperaturen), gefolgt von einer dreimonatigen Leerlaufphase. Der Simulationszeitraum für die Testfälle betrug fünf Jahre. Für den Testfall ATES-1 wurden jedoch zehn Jahre verwendet. Die mehrjährigen Simulationszeiträume wurden verwendet, um auch die Aufheizphase des umgebenden Bodens zu berücksichtigen, die hauptsächlich in den ersten Betriebsjahren stattfindet.

Neben den LTES-Konfigurationen und den Betriebsprofilen wurde für jeden Testfall ein Satz von Modelloutputs definiert, um eine klare und effiziente Bewertung der Simulationsergebnisse zu ermöglichen. Die vordefinierten Outputs umfassen die wichtigsten Energieströme, Temperaturen und Massenströme der hydraulischen Kreisläufe für die Ladung und Entladung der LTES sowie Temperaturentwicklungen in den Speichervolumina und an bestimmten Stellen des umgebenden Bodens. Für die vordefinierten Modelloutputs ist auch eine Auswertungsvorlage verfügbar. Tabelle 8 gibt einen Überblick über die wichtigsten Aspekte bei der Definition der Testfälle.

Tabelle 8: Parameter zur Definition der Testfälle.

<ul style="list-style-type: none"> • LTES Konfiguration, z.B. <ul style="list-style-type: none"> • Geometrie • Quellenkonfiguration • borehole heat exchanger Konfiguration (BHE) • hydraulische Anlagen/ Verbindungen für Be- und Entladung • insulation • Thermophysikalische Eigenschaften <ul style="list-style-type: none"> • Wasser • Isolationsmaterial • Bodeneigenschaften 	<ul style="list-style-type: none"> • Numerische Parameter <ul style="list-style-type: none"> • Diskretisierung • far field boundaries • Simulationszeitraum und Zeitschritte • Randbedingungen <ul style="list-style-type: none"> • Startbedingungen • Betriebsprofile • Outputs des Modells <ul style="list-style-type: none"> • Strömungen und Temperaturen in hydraulischen Kreisläufen • Wärmeströme • Positionen von Temperatursensoren: <ul style="list-style-type: none"> • innerhalb des Speichervolumens • im umgebenden Erdreich
---	--

Ergebnisse und Diskussion

Tabelle 9 gibt einen Überblick über die Teilnahme an den verschiedenen Testfällen.

Tabelle 9: Überblick über die Teilnahme an den verschiedenen Testfällen.

Testfall	Anzahl von Teilnahmen	Anzahl von teilnehmenden Institutionen	Anzahl verschiedener LTES Modelle
ATES-1	4	3	4
BTES-1	6	4	4
PTES-1-C	12	9	6
PTES-1-P	2	2	2
TTES-1-AG	4	3	4
TTES-1-UG	9	7	7

Exemplarisch werden hier einige ausgewählte Ergebnisse für den Testfall PTES-1-C vorgestellt. Weitere Ergebnisse für alle Testfälle sind im Bericht C3a "Results of comparative simulations" enthalten.

Die Ergebnisse für die Hauptwärmeströme werden in Abbildung 9 für das 5. Betriebsjahr dargestellt. Die Abweichungen gegenüber den entsprechenden Mittelwerten zwischen den neun hier dargestellten Beiträgen betragen $\pm 2\%$ für die zugeführte Wärme, $\pm 3\%$ für die abgeführte Wärme, $\pm 1\%$ für die thermischen Gesamtverluste und -33% bis $+12\%$ für die interne Energieänderung im betrachteten Zeitraum. Die relativen Abweichungen für die interne Energieänderung

scheinen hoch zu sein; die absoluten Werte und die Abweichung sind jedoch gering, wie man in Abbildung 9 sieht.

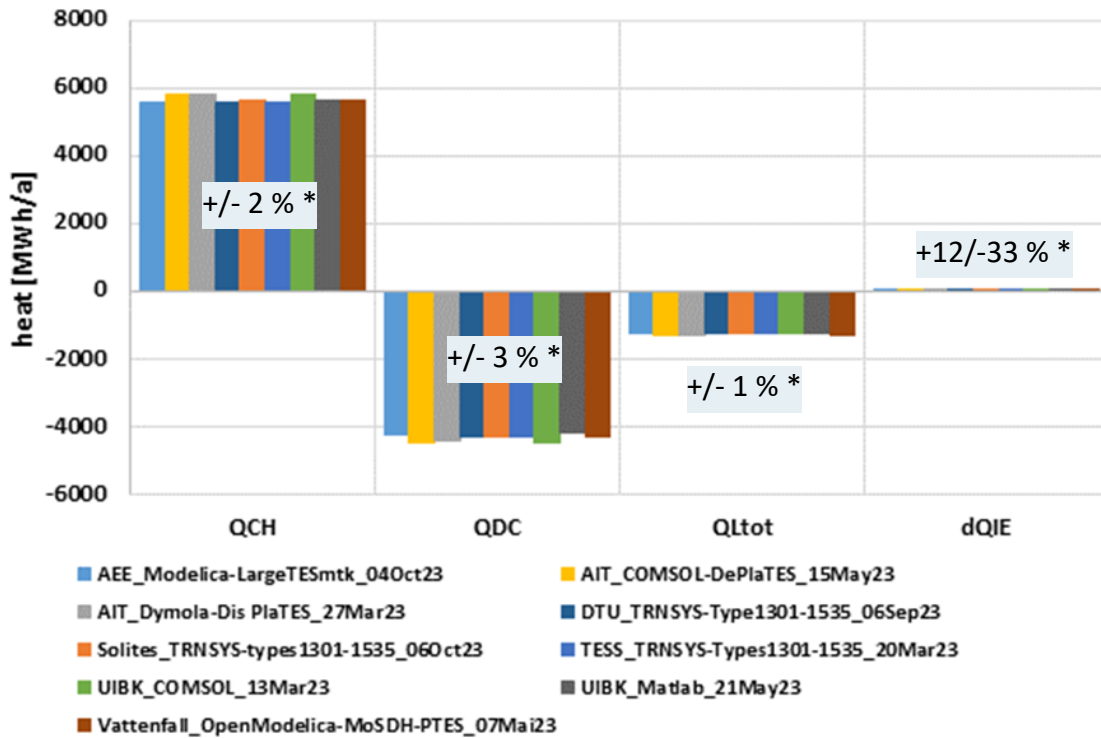


Abbildung 9: Ergebnisse für eingespeicherte (QCH) und entladene (QDC) Wärme, thermische Gesamtverluste (Qltot) und Änderung des inneren Energiegehalts (dQIE) im 5. Betriebsjahr für neun Teilnahmen am kegelförmigen PTES-Testfall (PTES-1-C).

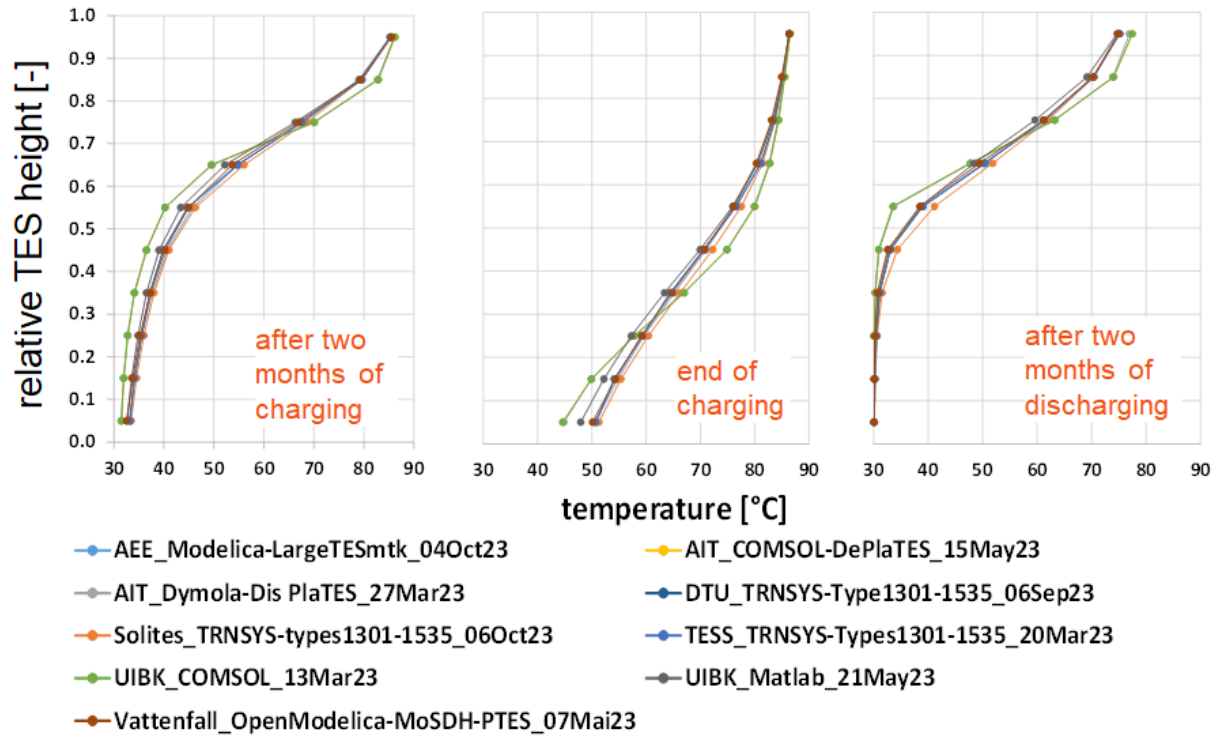


Abbildung 10: Ergebnisse für die Temperaturverteilung innerhalb des Wasservolumens nach zwei Monaten Ladung im 5. Betriebsjahr für den konischen PTES-Testfall (PTES-1-C).

Abbildung 10 zeigt die Temperaturschichtung im Wasservolumen der PTES nach zweimonatigem Laden (links), am Ende der Ladezeit nach vier Monaten (Mitte) und nach zweimonatigem Entladen (rechts) im fünften Betriebsjahr. Alle vorgestellten Modelle zeigen ein ähnliches Temperaturniveau und eine ähnliche Schichtung. Bei genauerer Betrachtung sind jedoch zwei Gruppen von Modellen zu erkennen, wobei eine Gruppe zu einer etwas stärker ausgeprägten Temperaturschichtung neigt als die andere Gruppe. Die Gruppe, die eine etwas stärkere Schichtung aufweist, umfasst zwei COMSOL-Modelle und ein Dymola-Modell (Dis PlaTES). Diese Modelle haben einen anderen numerischen Ansatz für die Berechnung der Wärmebilanz im Wasservolumen (integraler Ansatz) als die anderen Modelle (nodaler Ansatz). Die bisher durchgeführten Arbeiten lassen keine Aussage darüber zu, welches der Ergebnisse der beiden Gruppen richtiger ist als das andere. Weitere Untersuchungen werden im folgenden IEA ES Task 45 durchgeführt.

In Abbildung 11 werden die berechneten Austrittstemperaturen der LTES während des Ladens und Entladens dargestellt. Diese Temperaturen hängen stark mit der thermischen Schichtung innerhalb des Speichers zusammen und zeigen die bereits erwähnten leichten Abweichungen für die beiden unterschiedlichen numerischen Ansätze.

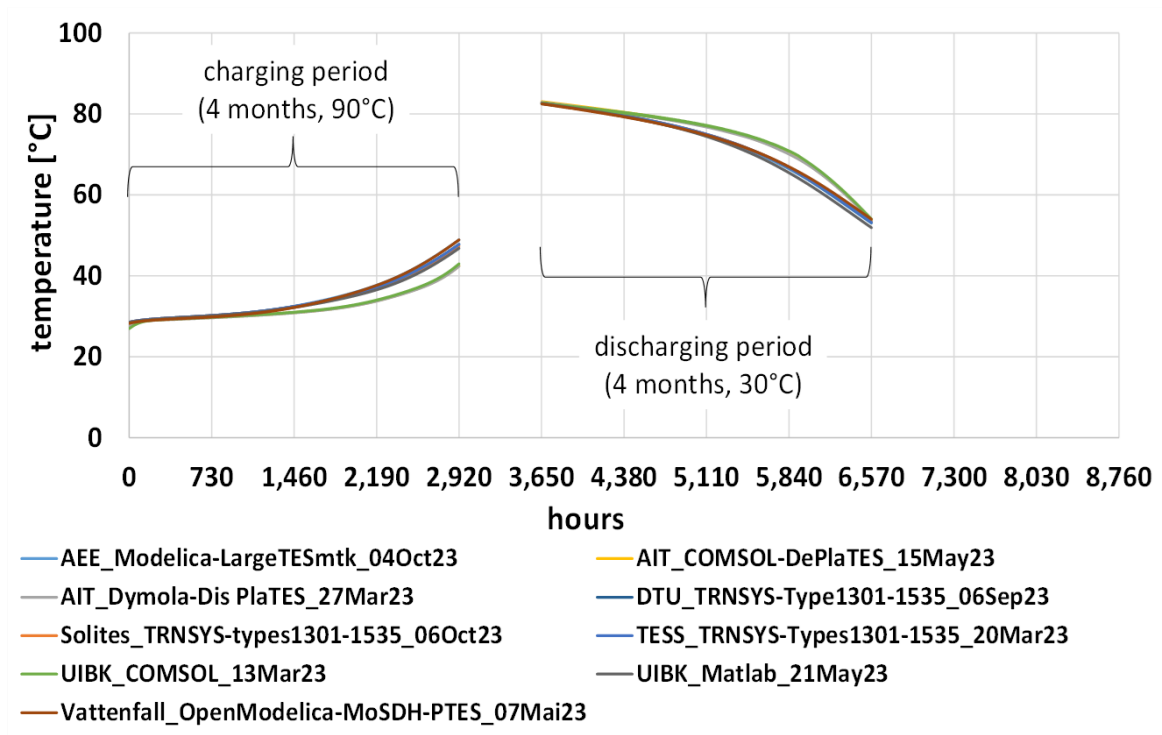


Abbildung 11: Austrittstemperaturen während des Ladens und Entladens (PTES-1-C; 5. Betriebsjahr)

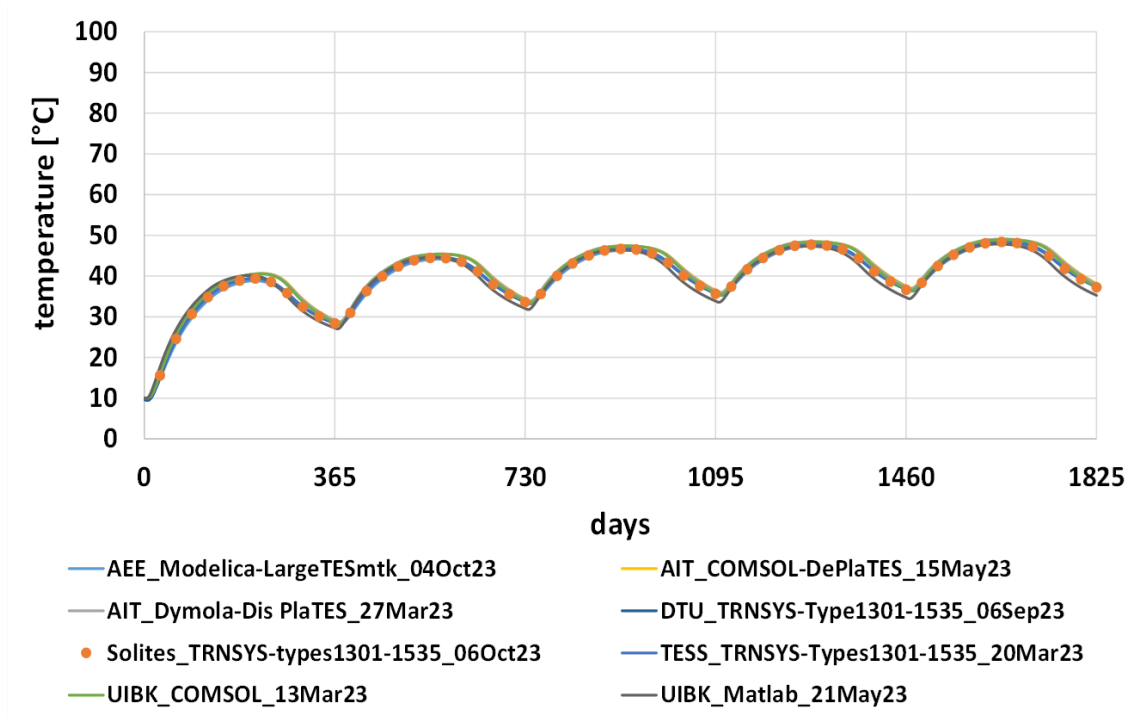


Abbildung 12: Exemplarischer Verlauf der Bodentemperatur für den gesamten Simulationszeitraum von 5 Jahren (PTES-1-C), Temperaturposition: 2 m unter der Bodenoberfläche, 7 m Abstand zur Seitenwand

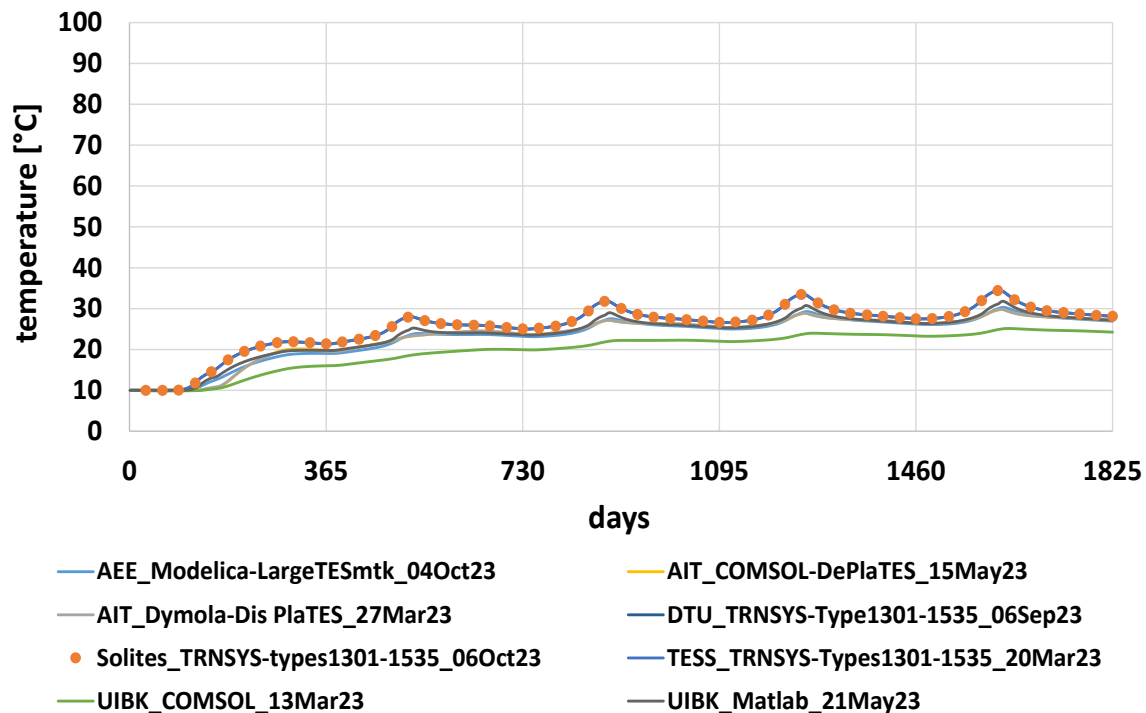


Abbildung 13: Exemplarische Bodentemperaturentwicklung für den gesamten Simulationszeitraum von 5 Jahren (PTES-1-C), Temperaturposition: 2 m unterhalb der Bodenmitte

Abbildung 12 und Abbildung 13 zeigen Beispiele für die Entwicklung der Bodentemperatur in zwei verschiedenen Positionen für den gesamten 5-Jahres-Simulationszeitraum. In der in Abbildung 12 dargestellten Bodenposition berechnen alle Modelle sehr ähnliche Temperaturen, während in der in Abbildung 13 dargestellten Bodenposition eine etwas größere Abweichung zwischen den Modellen zu erkennen ist. Da der Boden der PTES in diesem Testfall nicht isoliert ist, haben die Unterschiede im unteren Teil des Wasservolumens (siehe Abbildung 11) einen großen Einfluss auf die Bodentemperaturen unterhalb der PTES.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Allgemeinen zeigen die Ergebnisse für alle Testfälle eine gute Übereinstimmung zwischen den beteiligten Modellen für die wichtigsten Energiewerte, wie die geladenen und entladenen Wärmemengen auf Jahres- oder Monatsbasis. Die kurzfristige (stündliche) Temperaturentwicklung im Speichervolumen und die TES-Austrittstemperatur zum System zeigen ebenfalls eine zufriedenstellende Übereinstimmung, allerdings mit teilweise etwas höheren Abweichungen. Auch die Temperaturergebnisse für die definierten Stellen im umgebenden Erdreich weisen teilweise etwas höhere Abweichungen auf; allerdings kann die Nachbearbeitung der Modellergebnisse, z.B. die Interpolation zwischen einzelnen Zellen des numerischen Gitters, sowohl zeitaufwändig als auch fehleranfällig sein.

Die Diskussionen zwischen den Task-Mitgliedern während der Entwicklung und Definition der Testfälle und während der Simulationsphase zeigten, dass es, obwohl alle Mitglieder Expertise auf dem Gebiet der LTES besitzen, in der Anfangsphase immer noch einige Missverständnisse und Fehlinterpretationen bestimmter Details gab, die zu Unterschieden in den Simulationsergebnissen führten, die nach einigen Klärungen beseitigt werden konnten. Dies unterstreicht die Notwendigkeit detaillierter und klarer Definitionen für vergleichende Simulationen, um sicherzustellen, dass Unterschiede in den Ergebnissen durch die untersuchten Modelle und nicht durch das Nutzungsverhalten verursacht werden. Tabelle 10 bietet einen Überblick der Deliverables zu Subtask C.

Tabelle 10: Deliverables zu Subtask C

Deliverable	Art des Deliverable
Überblick und Beschreibung von LTES Simulationsmodellen C1: Collection of model fact sheets	Bericht
Beschreibung von Testfällen C2a: Description of Test Cases for Comparative Simulations C2b: Load profiles for test cases C2c: Result template for test cases	Bericht MS Excel-File MS Excel-File
Ergebnisse vergleichender Simulationen C3a: Results of comparative simulations C3b: Result files from participating models / partners	Bericht / reference book MS Excel-Files

Diese Dokumente und Dateien ermöglichen es anderen interessierten Nutzer:innen, die vorgestellten Testfälle auf ihre eigenen Modelle anzuwenden und ihre Ergebnisse mit den Ergebnissen dieser Arbeit zu überprüfen oder zu vergleichen.

Im Rahmen des IEA ES Task 45 wird die Arbeit mit zusätzlichen und fortgeschritteneren Testfällen fortgesetzt, die dynamischere und realistischere Betriebsprofile sowie Sensitivitätsstudien für die wichtigsten Entwurfsparameter berücksichtigen.

5.4 Subtask D: Informationsmaterial für relevante Stakeholder-Gruppen

Ziele und Aktivitäten

Das Hauptziel von Subtask D bestand darin, das Wissen über die LTES zu erweitern und das Bewusstsein dafür zu schärfen sowie die relevanten Entscheidungsträger:innen und Interessengruppen über die Vorteile und möglichen Hindernisse zu informieren. Dies sollte durch die Entwicklung

und Verteilung von Informationsbroschüren und anderen elektronischen Informationen sowie durch die Veranstaltung von Workshops erreicht werden, um das Bewusstsein auf internationaler Ebene weiter zu stärken. Das übergeordnete Ziel besteht darin, Instrumente, Referenzen und Methoden zur Verfügung zu stellen, die den Interessenvertretungen von LTES-Projekten als Orientierung dienen. Im Einzelnen zielt Task 39 darauf ab, die entscheidenden Aspekte der Planung, des Designs, der Entscheidungsfindung und der Implementierung von LTES für die Integration in Warmwassersysteme und industrielle Prozesse darzustellen, wobei die Randbedingungen verschiedener Standorte und unterschiedlicher Systemkonfigurationen berücksichtigt werden.

Subtask D hatte drei Hauptaktivitäten:

- 1- Ermittlung des Informationsbedarfs im Zusammenhang mit LTES und der wichtigsten Beteiligten, um nützliche und geeignete Informationen für Entscheidungsträger:innen und wichtige Beteiligte zu sammeln, die an der Entwicklung und Einführung von LTES-Technologien beteiligt sind
- 2- Sammeln von relevantem Informationsmaterial aus den Subtasks A, B und C sowie aus den Aktivitäten der Aufgabe 39, wie z.B. KPIs, Hauptphasen der LTES-Projektentwicklung, Best-Practice-Beispiele, Umwelt-, Planungs-, Finanz- und andere nicht-technische Aspekte
- 3- Verbreitung des Informationsmaterials an die ermittelten Zielgruppen und Sensibilisierung für die LTES auf Konferenzen, in Workshops und über die Task 39-Website

Ergebnisse

Die wichtigste Errungenschaft des IEA-ES Task 39 ist das Referenz-Informationsmaterial über LTES, um die Beschleunigung der LTES-Implementierung für Fernwärme (DH) und Industrie vorzubereiten. Dieses Material wurde unter Einbeziehung internationaler Expertinnen und Experten für Energiesystemsimulationen, Speichermaterialien und Speicherstrukturen entwickelt. Gemeinsam haben die Expertinnen und Experten dazu beigetragen, einen Leitfaden auf dem neuesten Stand der Technik sowie eine Liste von Referenzen für alle wichtigen Phasen eines LTES-Projekts, von der Idee bis zur Realisierung, zu erstellen. Das entwickelte Informationsmaterial ist auf die Hauptakteure von LTES-Projekten zugeschnitten, insbesondere auf politische Entscheidungsträger:innen, Behörden und Versorgungsunternehmen, um das allgemeine Wissen über die untersuchten Technologien zu erweitern. Task 39 hat die erste gründliche und zugängliche Einführung in die LTES-Technologien und die damit verbundenen Instrumente für die relevanten Entscheidungsträger:innen vorgenommen.

Ermittlung des Informationsbedarfs und der Zielgruppen

In der Anfangsphase der Task-Arbeiten wurde im Rahmen des Arbeitspakets D ein Fragebogen an die wichtigsten Zielgruppen und verschiedene Entscheidungsträger:innen verschickt, die am Task 39 oder den LTES im Allgemeinen beteiligt sein könnten. Dies geschah, um den Informationsbedarf von Entscheidungsträger:innen zu erfassen und Interesse an dem Projekt zu wecken: Die Akteure, die den Fragebogen beantworteten, wurden anschließend in die Mailingliste des Task 39 aufgenommen.

Insgesamt wurden 58 Antworten aus 14 Ländern gesammelt, hauptsächlich aus Deutschland, Frankreich, Dänemark und den Niederlanden, aber auch aus China, der Schweiz und der Türkei. Der Fragebogen richtete sich hauptsächlich an Versorgungsunternehmen, Wissenschaftler:innen und Hersteller:innen. Insgesamt 5 Antworten kamen von verschiedenen Ebenen von Behörden und/oder politischen Entscheidungsträger:innen (Kommunen, regionale oder nationale Behörden, Energieagenturen).

Das größte Interesse wurde für die PTES-Technologie geäußert, mit 36 von 58 Antworten, verglichen mit 32 Antworten für ATES (Mehrfachauswahl war möglich) und 28 Antworten für BTES.

Der Hauptinformationsbedarf, der in den Antworten auf den Fragebogen zum Ausdruck kam, war technischer und wirtschaftlicher Natur: Das größte Interesse wurde an den Investitionskosten geäußert, gefolgt von betrieblichen Kennzahlen wie Speichereffizienz, Temperaturbereich und Speicherkapazität. Danach folgten die Betriebs- und Wartungskosten, die wichtigsten Probleme mit Langzeitspeichern und die verwendeten Materialien. Dann folgten Konstruktionsparameter wie Größenvorteile, Dimensionierung, Systemvorteile und CO₂-Reduzierung. Schließlich wurden Planungsaspekte (wie z. B. die Bedeutung der Qualitätssicherung während der Bauphase) von den verschiedenen Interessengruppen nur selten genannt, obwohl der Planungsprozess ein entscheidender Bestandteil von Langzeitspeicherprojekten ist.

Es wurde festgestellt, dass dieses mangelnde Interesse an den Planungsaspekten von LTES auf einen Mangel an Wissen zurückzuführen ist, und daher beschloss die Forschungsgruppe von Task 39 zusammen mit dem Subtask-Leiter von Arbeitspaket (WP) A, einen besonderen Schwerpunkt auf die Beschreibung der wichtigsten Phasen von LTES-Projekten für die Beteiligten an LTES-Projekten zu legen. Heute gibt es keine Richtlinien für Projektentwickler:innen und Projekteigner, um LTES-Projekte zu entwickeln, und diese Richtlinien sind notwendig, weil es derzeit keine vollständigen Leitfäden von der Idee bis zur Umsetzung über LTES gibt.

Das Hauptziel von ST A wurde dann wie folgt umformuliert:

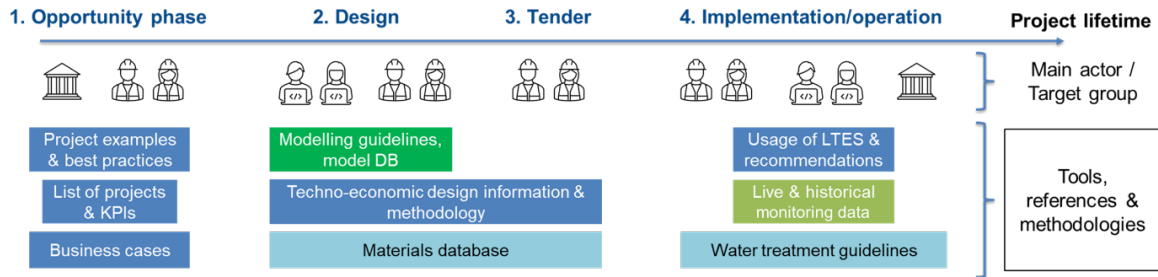
- Darstellung der grundlegenden Informationen über LTES und Definition dessen, was als ein LTES gilt
- Beantwortung von Schlüsselfragen zu den LTES (technisch-ökonomische Parameter, Betriebs- und Wartungskosten, verwendete Materialien und Designparameter, wie in den Antworten auf den Fragebogen angegeben)
- Identifizierung, Beschreibung und gemeinsame Nutzung der wichtigsten Phasen der Umsetzung von LTES-Projekten
- Identifizierung und Weitergabe klarer KPIs, die für die verschiedenen Phasen von LTES-Projekten am wichtigsten sind
- Austausch von bewährten Verfahren für eine gute Planung und Umsetzung sowie von gemeinsamen Herausforderungen
- Darstellung der wichtigsten Vorteile von LTES und ihres Potenzials für die Sektorkopplung
- Vorstellung aller vier LTES-Technologien und Anwendungsfälle

- Vorlage einer technisch-wirtschaftlichen Machbarkeitsstudie für verschiedene Arten von LTES
- Um diese Ziele zu erreichen, wurden Ergebnisse aus früheren internationalen Kooperationen genutzt (HeatStore, Giga-TES, IEA-SHC Task 55, CoolHeating, HeatRoadmap Europe, IEA-ES Task 35)

Der in der Fragebogenaktion des Arbeitspakets D festgestellte Mangel an Wissen über Planungsaktivitäten bei den Interessenvertretungen von LTES hat die Notwendigkeit begründet, LTES-Projektentwickler:innen als eine der Hauptzielgruppen für das in Aufgabe 39 erarbeitete Informationsmaterial einzubeziehen. Die drei Hauptzielgruppen können wie folgt beschrieben werden:

- Politische Entscheidungsträger:innen und die Öffentlichkeit: Zu dieser Zielgruppe können Behörden wie Politiker:innen oder Gemeinden und die lokale Bevölkerung gehören. Diese Akteure haben Einfluss auf die lokalen und regionalen Vorschriften und sollten gut über LTES informiert sein, um die Chancen für die Akzeptanz solcher Technologien zu erhöhen. Energieagenturen sind wichtige Vermittler, um diese Zielgruppe zu erreichen und zu informieren. Das für diese Zielgruppe vorbereitete Informationsmaterial kann von allen gelesen werden, die mehr über langlebige Energiesysteme erfahren möchte, z. B. von der Öffentlichkeit oder Finanzakteuren. Sie profitieren am meisten von dem in AP A entwickelten Informationsmaterial;
- Projektentwickler:innen und Projekteigentümer:innen: Sie sind die Träger des LTES-Projekts und potenzielle Eigentümer der LTES. Bei dieser Zielgruppe kann es sich um Versorgungsunternehmen, unabhängige Projekteigentümer:innen oder Projektentwickler:innen oder um Gemeinden handeln. Sie profitieren von dem Informationsmaterial aller Arbeitspakete;
- Forschende und Ingenieur:innen: Sie sind die Expert:innen für LTES in Bezug auf Design, Simulation, Materialien und FuE-Aktivitäten. Diese Zielgruppe umfasst alle technischen Akteur:innen, insbesondere Forschende und Ingenieur:innen, aber auch Auftragnehmer und Hersteller von LTES-Teilkomponenten und Materialien. Dies ist die Hauptzielgruppe für die Ergebnisse der Arbeitspakete B und C.

Die Identifizierung der Hauptphasen der LTES-Projektentwicklung war ein wichtiges Ergebnis von Subtask A. Diese Phasen werden im nachstehenden Diagramm als Referenz für die LTES-Projektlaufzeit verwendet, um zu zeigen, welche Hauptakteure/Zielgruppen in welcher Phase beteiligt sind und welches Informationsmaterial aus Task 39 für diese Phasen relevant ist. Jedem Informationsmaterial ist ein Arbeitspaket zugeordnet.



"Task 39 provides tools, references and methods to guide stakeholders of LTES projects"

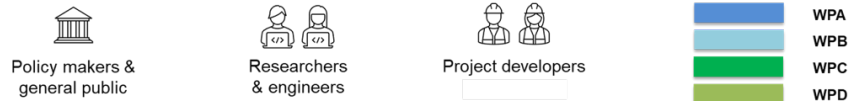


Abbildung 14. Diagramm mit den wichtigsten LTES-Projektphasen, Beteiligten und dem entsprechenden Informationsmaterial aus Task 39

Liste von Deliverables und Informationsmaterial

Die von Subtask D erarbeiteten und gesammelten Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 11: Liste der Task 39 Deliverables mit zugehöriger Nummer, Titel und Art des Informationsmaterials

Deliverable nr.	Work Package	Deliverable name	Deliverable type
A0a	A	Task brochure - Introduction	Online & physical leaflet
A0b	A	Task brochure - Use Cases	Online & physical leaflet
A1	A	Method to carry an LTES project - Important questions and KPIs - Synthesis	Synthetic report
A2	A	LTES project development case studies	Synthetic report
A3	A	Analysis of LTES application for public/military communities located in different climate zones	Report
A4	A	Subtask A main report: Method to carry an LTES project - Main stages, case studies and KPIs	Report
A5	A	List of LTES projects	List
A6a	A	PTES Use Case - Meldorf	Online leaflet
A6b	A	PTES project development case study - Meldorf	Report
B	B	Subtask B main report: Components and Materials Database	Report
C1	C	Numerical models list - Overview and collection of model fact sheets	Report
C2a	C	Modelling guidelines - Round robin test case description	Report
C2b	C	Modelling guidelines - Load profiles	Template
C2c	C	Modelling guidelines - Results template	Template
C3a	C	Results of stage 1 round robin test case simulations - Analysis	Report
C3b	C	Results of stage 1 round robin test case simulations - Result files	Filled templates
D1	D	Policy workshop - Are LTES a key element of the future energy system?	Workshop
D2	D	LTES live and historical monitoring data	Note & website URLs

Alle Deliverables sind auf der Website von Task 39 verfügbar. Eine Abbildung, die einen Überblick über die verfügbaren Ergebnisse und einen Leitfaden für die wichtigsten Zielgruppen gibt, wurde erstellt und ebenfalls auf der Task 39-Website veröffentlicht.

Neben den Ergebnissen der Aufgabe 39 wurde von der Arbeitsgruppe zusätzliches Informationsmaterial entwickelt, das ebenfalls auf der Website von Task 39 zur Verfügung gestellt wurde:

Which Task 39 deliverables should I read?

For Policy makers & the general public:



- High interest deliverables:

Work Package	Deliverable name	Deliverable type
A	Task brochure - Introduction	Online & physical leaflet
A	Method to carry an LTES project - Important questions and KPIs - Synthesis	Synthetic report
A	LTES project development case studies	Synthetic report
A	List of LTES projects	List
A	PTES Use Case - Meldorf	Online leaflet
D	Policy workshop - Are LTES a key element of the future energy system?	Workshop
D	LTES live and historical monitoring data	Note & website URLs

- Interesting deliverables:

Work Package	Deliverable name	Deliverable type
A	Task brochure - Use Cases	Online & physical leaflet
A	Analysis of LTES application for public/military communities located in different climate zones	Report
A	Subtask A main report: Method to carry an LTES project - Main stages, case studies and KPIs	Report
A	PTES project development case study - Meldorf	Report
C	Numerical models list - Overview and collection of model fact sheets	Report
C	Modelling guidelines - Round robin test case description	Report
C	Results of stage 1 round robin test case simulations - Analysis	Report

Stakeholder description:

- Policy makers & general public:** authorities (politicians or municipalities) and local populations. Have an influence on the local and regional regulations. The deliverables for these stakeholders has the potential to be read by anyone wishing to learn more about LTES, such as the general public or financial actors. Mainly interested by deliverables developed in work package A

For Project developers, project owners & financing stakeholders:



- High interest deliverables:

Work Package	Deliverable name	Deliverable type
A	Task brochure - Introduction	Online & physical leaflet
A	Task brochure - Use Cases	Online & physical leaflet
A	Method to carry an LTES project - Important questions and KPIs - Synthesis	Synthetic report
A	LTES project development case studies	Synthetic report
A	Analysis of LTES application for public/military communities located in different climate zones	Report
A	Subtask A main report: Method to carry an LTES project - Main stages, case studies and KPIs	Report
A	List of LTES projects	List
A	PTES Use Case - Meldorf	Online leaflet
A	PTES project development case study - Meldorf	Report
B	Subtask B main report: Components and Materials Database	Report
C	Numerical models list - Overview and collection of model fact sheets	Report
C	Results of stage 1 round robin test case simulations - Analysis	Report
D	Policy workshop - Are LTES a key element of the future energy system?	Workshop
D	LTES live and historical monitoring data	Note & website URLs

- Interesting deliverables:

Work Package	Deliverable name	Deliverable type
C	Modelling guidelines - Round robin test case description	Report
C	Modelling guidelines - Load profiles	Template
C	Modelling guidelines - Results template	Template
C	Results of stage 1 round robin test case simulations - Result files	Filled Templates

Stakeholder description:

- Project developers, project owners & financing stakeholders:** entities that will carry the LTES project and potentially own the LTES. Can be utilities, independent project owners or project developers, municipalities, or investors. Potentially interested by deliverable from all work packages

For Researchers & engineers:



- High interest deliverables:

Work Package	Deliverable name	Deliverable type
A	Task brochure - Use Cases	Online & physical leaflet
A	LTES project development case studies	Synthetic report
A	Analysis of LTES application for public/military communities located in different climate zones	Report
A	List of LTES projects	List
A	PTES Use Case - Meldorf	Online leaflet
A	PTES project development case study - Meldorf	Report
B	Subtask B main report: Components and Materials Database	Report
C	Numerical models list - Overview and collection of model fact sheets	Report
C	Modelling guidelines - Round robin test case description	Report
C	Modelling guidelines - Load profiles	Template
C	Modelling guidelines - Results template	Template
C	Results of stage 1 round robin test case simulations - Analysis	Report
C	Results of stage 1 round robin test case simulations - Result files	Filled templates
D	LTES live and historical monitoring data	Note & website URLs

- Interesting deliverables:

Work Package	Deliverable name	Deliverable type
A	Task brochure - Introduction	Online & physical leaflet
A	Method to carry an LTES project - Important questions and KPIs - Synthesis	Synthetic report
A	Subtask A main report: Method to carry an LTES project - Main stages, case studies and KPIs	Report
D	Policy workshop - Are LTES a key element of the future energy system?	Workshop

Stakeholder description:

- Researchers & engineers:** experts of LTES with regards to design, simulation, materials and R&D activities. Includes all technical actors, mainly researchers and engineers, but also contractors and manufacturers of LTES sub-components and materials. Mainly interested by deliverables developed in work packages B & C

Abbildung 15: Überblick über die Ergebnisse des IEA-ES Task 39 und Leitfaden zu den relevanten Ergebnissen für die verschiedenen Zielgruppen

- Präsentationen des IEA-ES Task 39 auf verschiedenen Konferenzen und Workshops im Jahr 2022:
 - Ein Vortrag von AEE INTEC beim ES-OnSeminar im Juli
 - Eine Präsentation von AEE INTEC auf dem Workshop der Eurosun-Konferenz im September
 - Ein Vortrag von PlanEnergi auf der Energy Storage Global Conference im Oktober
 - Vortrag von UIBK bei der IRES-Konferenz in 2022 in Düsseldorf.
- Ein Artikel veröffentlicht in Nachhaltige Technologien im Februar 2023
- Vortrag von Fabian Ochs (UIBK, AB EEB) beim ‚Bauphysikertreffen‘ im November 2023 in Stuttgart (HFT Stuttgart).
- Vorträge von Solites (mit UIBK, AIT und AEE Intec als co-Autoren) und UIBK bei Enerstock Konferenz 2024 im Juni in Lyon.
- Eine Webinar-Reihe, organisiert von IF-Technology, RVO und TKI Urban Energy im November und Dezember 2023. Die Webinar-Reihe wurde aufgezeichnet und online zur

Verfügung gestellt, zusammen mit den Präsentationen und Factsheets über die 4 LTES-Technologien, die in Task 39 untersucht wurden

Disseminationstätigkeiten

Update E-Mails, Posts und Präsentationen

Eine der Hauptaktivitäten von Subtask D bestand darin, durch die Teilnahme an mehreren Konferenzen und Webinaren ein allgemeines Interesse an LTES zu wecken. Das Task-39-Konsortium stellte verschiedene Technologien (PTES, TTES) und die Arbeit von Task 39 bei verschiedenen externen Webinaren und Konferenzen vor. Eine Liste dieser Veranstaltungen finden sich im Kapitel 5.

Das allgemeine Interesse an LTES wurde auch durch den Versand von Aktualisierungs-E-Mails und LinkedIn-Posts über den Fortschritt und die Aktivitäten von Task 39 geweckt. Das allgemeine Interesse an LTES ist während der gesamten Entwicklung der Aufgabe gewachsen, und bei jeder Konferenz oder jedem Webinar gab es positives Feedback aus der Öffentlichkeit. Es wurde auch eine direkte Kommunikation mit der Europäischen Kommission, dem österreichischen Bundesministerium für Klima (BMK), dem österreichischen Klima- und Energiefonds und den Energieagenturen mehrerer EU-Mitgliedstaaten aufgebaut: Frankreich, Dänemark, Schweden und den Niederlanden.

Was das Informationsmaterial betrifft, so wurde der Task-Handzettel (den sogenannten Task 39-Broschüre) von ST D koordiniert. Sie wurde veröffentlicht, ist auf der Website von Task 39 verfügbar und besteht aus zwei Teilen: einer Einführung, die für politische Entscheidungsträger und die allgemeine Öffentlichkeit erstellt wurde, um eine Gesamtdarstellung der LTES zu erhalten, und einer Broschüre über Anwendungsfälle, die für alle Akteure erstellt wurde und einen Technologieüberblick über alle vier Arten von LTES sowie Einzelheiten über mindestens einen Anwendungsfall für jede Technologie enthält. Im Rahmen des Webinars von IF-technology hat die Arbeitsgruppe D auch die Informationsblätter über PTES- und TTES-Technologien überprüft, die von der Task-Broschüre inspiriert wurden.

Die Dissemination speziell an nationale Akteure erfolgte durch die verschiedenen Akteure des Task 39. Die Verbreitung an dänische Fernwärme-Akteure erfolgte beispielsweise durch PlanEnergi über die Update-E-Mail und durch einen vom DBDH (Danish Board of District Heating) organisierten Workshop, bei dem der Stand der PTES-Technologieentwicklung vorgestellt wurde. Für 2024 sind Artikel und weitere Verbreitungsaktivitäten geplant, um die Ergebnisse von Task 39 zu verbreiten (ein von Dansk Fjernvarme organisierter Workshop und ein Artikel in der Zeitschrift HotCool von DBDH). In Österreich wurden mehrere Artikel über den Task 39 in der Fachzeitschrift der AEE INTEC (Erneuerbare Technologien) veröffentlicht, in Deutschland wurde der Task 39 im norddeutschen Fernsehen NDR von Wim van Helden bei einer Besichtigung der PTES in Meldorf vorgestellt, und in den Niederlanden hat die von IF-Technology mit Unterstützung von RVO organisierte Webinarreihe über LTES viele niederländische Akteure erreicht.

Strategie-Workshop

Schließlich beendete Subtask D die Arbeit von Task 39 mit einem Online-Strategie-Workshop zum Thema „Sind langlebige Energiespeicher ein Schlüsselement des zukünftigen Energiesystems“, der darauf abzielte, eine Diskussion zwischen Expertinnen und Experten für langlebige Energiespeicher, Energieagenturen und verschiedenen politischen Entscheidungsträgern in Gang zu bringen. Der Workshop bestand aus zwei Teilen: einem ersten Teil mit Präsentationen der verschiedenen vertretenen Akteure und einem zweiten Teil mit einer Podiumsdiskussion.

Im ersten Teil des Workshops wurden Herausforderungen vorgestellt, Möglichkeiten aufgezeigt und bewährte Praktiken aus der EU im Hinblick auf die Umsetzung der LTES und der Politik aufgezeigt. Ziel des zweiten Teils, der Podiumsdiskussion, war es, Anregungen zu erhalten, was getan werden kann, um das volle Potenzial der LTES auszuschöpfen, und was die nächsten Schritte für die Einführung der LTES sind. Der Workshop führte zu den folgenden zentralen Ergebnissen:

- Alle Beiträge des Workshops waren sich einig, dass langlebige Energiesysteme Schlüsselemente des zukünftigen Energiesystems sind und dass sie dazu beitragen werden, den Anteil erneuerbarer Energien in Wärme- und Stromnetzen zu erhöhen.
- Darüber hinaus ist die Entwicklung der Warmwasserbereitung und Kühlung eine Chance für die Integration von mehr langlebigen Energiesystemen.
- Während es eine Nachfrage nach langlebigen Energiesystemen geben wird, besteht eine zentrale Herausforderung für die Experten und Hersteller von langlebigen Energiesystemen darin, die Technologien zuverlässig zu machen und ihren Einsatz in verschiedenen Kontexten und Ländern zu demonstrieren.
- Die aktiven Fachleute, die sich mit LTES beschäftigen, bilden derzeit eine kleine Gemeinschaft, und andere Akteure sollten aktiver in die Verbreitungsaktivitäten einbezogen werden: Fernwärmeverbände, kleinere Gemeinden, Städte und Verwaltungen.
- Die Schlussfolgerung des Workshops lautete, dass nur ein transdisziplinärer Ansatz dazu beitragen kann, dass LTES ihr volles Potenzial erreichen.

Der Workshop wurde mitgeschnitten und ist [online auf dem youtube Kanal der IEA-ES](#) verfügbar.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Die drei Hauptzielgruppen können wie folgt beschrieben werden:

1. Politische Entscheidungsträger:innen und die Öffentlichkeit: Zu dieser Zielgruppe können Behörden, Politiker:innen oder Gemeinden und die lokale Bevölkerung gehören. Diese Akteure haben Einfluss auf die lokalen und regionalen Vorschriften und sollten gut über LTES informiert sein, um die Chancen für die Akzeptanz solcher Technologien zu erhöhen. Energieagenturen sind wichtige Vermittler, um diese Zielgruppe zu erreichen und zu informieren. Das für diese Zielgruppe vorbereitete Informationsmaterial kann von allen gelesen werden, die mehr über langlebige Energiesysteme erfahren möchten, z. B. von der Öffentlichkeit oder Finanzakteuren. Sie profitieren am meisten von dem in AP A entwickelten Informationsmaterial;
2. Projektentwickler:innen und Projekteigentümer:innen: Sie sind die Träger des LTES-Projekts und potenzielle Eigentümer der LTES. Bei dieser Zielgruppe kann es sich um Versorgungsunternehmen, unabhängige Projekteigentümer:innen oder Projektentwickler:innen oder um Gemeinden handeln. Sie profitieren von dem Informationsmaterial aller Arbeitspakete;
3. Forschende und Ingenieur:innen: Sie sind die Expert:innen für LTES in Bezug auf Design, Simulation, Materialien und FuE-Aktivitäten. Diese Zielgruppe umfasst alle technischen Akteur:innen, insbesondere Forschende und Ingenieur:innen, aber auch Auftragnehmer und Hersteller von LTES-Teilkomponenten und Materialien. Dies ist die Hauptzielgruppe für die Ergebnisse der Arbeitspakete B und C.

Die Einbindung der Zielgruppen im Task39 fand durch einen Fragebogen, in Workshops und auf Konferenzen statt, und die Ergebnisse des Task 39 wurden durch Publikationen und über die Task39 Website kommuniziert und zugänglich gemacht.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die Expert:innen in Task 39 arbeiteten daran, die Aspekte zu bestimmen, die bei der Planung, Entscheidungsfindung und Realisierung von großen thermischen Energiespeichern für die Integration in die Fernwärme wichtig sind, und die Ergebnisse in verschiedene Formen der Verbreitung zu gießen. **Die wichtigsten Ergebnisse sind:**

- Eine Definition des Begriffs „Großwärmespeicher“: ein sensibler Speicher, der mindestens 1 GWh Wärme pro Jahr lädt/entlädt, unabhängig von der Anzahl der Zyklen.
- Eine umfassende Liste von Leistungsindikatoren, entweder in technischer, wirtschaftlicher oder ökologischer Hinsicht, oder für verschiedene LTES-Technologien, oder für einen einzelnen Speicher, ein Speichersystem oder einen in ein Warmwassersystem integrierten Speicher.
- Informationsbroschüren über die LTES-Technologien und über typische Anwendungsfälle.
- Eine Liste von weltweit realisierten LTES-Projekten.
- Ein Dokument mit Richtlinien für die Entwicklung von LTES-Projekten, unterteilt in die Phasen Chance, Entwurf, Ausschreibung und Implementierung & Betrieb.
- Eine Struktur für eine Materialdatenbank, die weiter implementiert und mit Daten über Materialien und Komponenten von LTES-Technologien gefüllt werden soll.
- Beschreibung eines Verfahrens zur Lebensdauerabschätzung für polymere Werkstoffe für PTES.
- Richtlinien für die Wasserqualität zur Gewährleistung einer langen Lebensdauer von LTES-Komponenten.
- Eine Aufzählung numerischer LTES-Simulationsmodelle einschließlich Modelldatenblättern mit Schlüsselinformationen zu einzelnen Modellen.
- Eine Reihe von sechs Testfällen zur Verifizierung von LTES-Simulationswerkzeugen für vier LTES-Technologien, einschließlich detaillierter Testfallergebnisse für verschiedene Simulationsmodelle und eine vergleichende Bewertung, die eine gute Übereinstimmung zwischen den Werkzeugen zeigt.
- Ein guter Überblick über den LTES-Informationsbedarf der verschiedenen Interessengruppen bei Planung, Bau und Betrieb von LTES.
- Eine Task39-Website mit Informationsmaterial und Ergebnissen.

Die **wichtigsten Empfehlungen**, die sich aus der Arbeit und den Diskussionen der Expert:innen des Task 39 sowie aus der Konferenz, den Webinaren und den Workshop-Diskussionen ergeben haben, lauten:

- Großwärmespeicher sind Schlüsselemente des zukünftigen Energiesystems und werden dazu beitragen, den Anteil der erneuerbaren Energien in den Wärme- und Stromnetzen zu erhöhen.
- Die Entwicklung von Fernwärmenetze ist eine Chance für die Integration von mehr erneuerbaren Energien.
- Während es eine Nachfrage nach Großwärmespeicher geben wird, besteht eine zentrale Herausforderung für die Expertinnen und Experten und Hersteller:innen von diesen Speichern darin, die Technologien zuverlässig zu machen und ihre Verwendung in verschiedenen Kontexten und Ländern zu demonstrieren.
- Die Fachleute, die sich mit LTES beschäftigen, bilden derzeit eine kleine Gemeinschaft, und andere Akteure sollten aktiver in die Verbreitungsaktivitäten einbezogen werden: Fernwärmeverbände, kleinere Gemeinden, Städte und Verwaltungen.
- Es gibt eine Reihe von wichtigen Leistungsindikatoren, die bei der Entscheidungsfindung für die Integration von Langzeitwärmespeichern helfen sollen. Wirtschaftliche, soziale und finanzielle Indikatoren müssen weiterentwickelt werden, und die Großwärmespeicher-Gemeinschaft sollte mit Experten aus diesen Bereichen verstärkt werden.
- Es steht numerische Simulationssoftware zur Verfügung, um die Leistung von Großwärmespeicher als Komponente zu bestimmen. Für die Optimierung von Fernwärmesystemen mit integrierten Großwärmespeicher-Komponenten werden noch spezielle, schnelle und genaue Auslegungswerkzeuge für Großwärmespeicher-Technologien benötigt.
- Es besteht ein Bedarf an detaillierteren Material- und Komponentendaten, die über die Materialdatenbank öffentlich zugänglich sind, und ein großer Bedarf an praktischen Daten zur Materialalterung und -verschlechterung sowie an theoretischen Modellen, mit denen die Lebensdauer von Materialien geschätzt werden kann.

Diese Empfehlungen bildeten die Grundlage für die Arbeit im Anschluss an Task 39: Task 45 „Beschleunigung der Markteinführung von Großwärmespeicher (Accelerating the Uptake of Large Thermal Energy Storages)“. Der Task begann am 1. Januar 2024 und hat eine Laufzeit von 4 Jahren.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auflistung der internationalen Teilnehmer:innen am Task 39.....	14
Tabelle 2: Auszug aus der im STA-Hauptbericht vorgestellten KPI-Liste	17
Tabelle 3: Hauptindikatoren für die Ausschreibungsphase	22
Tabelle 4: Anforderungen an Kreislaufwasser in Industrie- und Fernwärmesystemen und Empfehlungen für deren Betrieb in Deutschland (Arbeitsblatt AGFW FW 510).....	26
Tabelle 5: Mindestanforderungen an die Wasserqualität PTES mit einem Diffusionssystem aus Kohlenstoffstahl, bei dem die Korrosion so weit wie möglich minimiert werden sollte. Die Leitfähigkeit steigt aufgrund der PH-Einstellung durch Natriumhydroxid.....	26
Tabelle 6: Überblick der LTES Simulationsmodelle der Task 39 Partner.....	29
Tabelle 7: Übersicht der für die Überprüfung der LTES-Simulationsmodelle definierten Testfälle (CH: Laden, DC: Entladen, BHE: Erdwärmesonde).	31
Tabelle 8: Parameter zur Definition der Testfälle.	32
Tabelle 9: Überblick über die Teilnahme an den verschiedenen Testfällen.	32
Tabelle 10: Deliverables zu Subtask C	37
Tabelle 11: Liste der Task 39 Deliverables mit zugehöriger Nummer, Titel und Art des Informationsmaterials.....	42

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Arbeitsprogrammes des Task 39 und des Informationsflusses zwischen den Subtasks	13
Abbildung 2: Für die Abgrenzung der Indikatoren berücksichtigte Bereiche	17
Abbildung 3: Auszug aus der LTES-Liste, die auf der Task 39-Website vorgestellt wurde.....	19
Abbildung 4: Abschnitte eines LTES-Projekts und beteiligte Akteure.....	20
Abbildung 5: Schematische Darstellung der Aktivitäten in der Entwurfsphase	21
Abbildung 6: Auszug aus der Beispiel-Excel-Datei für Materialdaten für PTES	24
Abbildung 7: Beständigkeit gegen Spannungsrissskorrosion für verschiedene Stahlqualitäten in neutralem Wasser mit 8 ppm Sauerstoff.....	28
Abbildung 8: Überblick über die in den vergleichenden Simulationen berücksichtigten LTES-Konzepte.....	30
Abbildung 9: Ergebnisse für eingespeicherte (QCH) und entladene (QDC) Wärme, thermische Gesamtverluste (QLtot) und Änderung des inneren Energiegehalts (dQIE) im 5. Betriebsjahr für neun Teilnahmen am kegelförmigen PTES-Testfall (PTES-1-C).	33
Abbildung 10: Ergebnisse für die Temperaturverteilung innerhalb des Wasservolumens nach zwei Monaten Ladung im 5. Betriebsjahr für den konischen PTES-Testfall (PTES-1-C).	34
Abbildung 11: Austrittstemperaturen während des Ladens und Entladens (PTES-1-C; 5. Betriebsjahr).....	35
Abbildung 12: Exemplarischer Verlauf der Bodentemperatur für den gesamten Simulationszeitraum von 5 Jahren (PTES-1-C), Temperaturposition: 2 m unter der Bodenoberfläche, 7 m Abstand zur Seitenwand.....	35
Abbildung 13: Exemplarische Bodentemperaturentwicklung für den gesamten Simulationszeitraum von 5 Jahren (PTES-1-C), Temperaturposition: 2 m unterhalb der Bodenmitte.....	36
Abbildung 14. Diagramm mit den wichtigsten LTES-Projektphasen, Beteiligten und dem entsprechenden Informationsmaterial aus Task 39	41
Abbildung 15: Überblick über die Ergebnisse des IEA-ES Task 39 und Leitfaden zu den relevanten Ergebnissen für die verschiedenen Zielgruppen	43

Literaturverzeichnis

Die folgende Tabelle zeigt Publikationen von den österreichischen Projektpartner:innen.

Tabelle 2: Liste der Publikationen der österreichischen Projektpartner:innen

Autor:in	Titel	Konferenz/Publikation	Datum
Tosatto, Alice; Dahash, Abdulrahman; Ochs, Fabian	Simulation-based performance evaluation of large-scale thermal energy storage coupled with heat pump in district heating systems.	Journal of Energy Storage, 10.1016/j.est.2023.106721	2023

Abstract: Large-scale water-based thermal energy stores (TES) coupled with heat pumps (HPs) are a key element in District Heating (DH) systems to achieve an increase of the share of renewables. The implementation of a 1D equation-based TES model, coupled with a 2D or 3D finite element-based model of the surrounding ground provides a robust and reliable tool that can be used in the study of large-scale TES systems. In this work, a simplified equation-based model for the HP using the TES as evaporator heat source is implemented to investigate its impact on the TES performance and on the surrounding ground temperatures. Two TES types (buried tank and shallow pit) are analysed under the same conditions (size, envelope characteristics, ambient temperature, ground properties and system boundary conditions). The parameters used to evaluate the coupled TES-HP performance consider both the environmental aspect (ground temperature and CO₂ emissions) and the technical performance (energy and exergy efficiency).

The integration of the HP proves to be effective in increasing the TES efficiency by 6 % (from 87 %) compared to the reference case without an HP in case of an insulated tank TES, and by 16 % (from 64 %) in case of an insulated shallow pit. The TES exergy efficiency analysis emphasizes the better performance of the tank over the shallow pit, with the tank geometry outperforming the shallow pit in all the investigated configurations (+ 25 % in the reference case without HP, + 20 % with 6 MW HP). However, when extending the exergy analysis to the system, the difference in exergy efficiency between the two geometries is strongly reduced (+ 5 % on average for the tank with respect to the shallow pit); the impact of thermal insulation is also less noticeable. In particular, in the system analysis the configuration of shallow pit with HP shows a performance comparable with the tank without HP. In terms of CO₂ emissions, the integration of the HP coupled with a TES allows for a reduction of 33 % for the tank and 29 % for the shallow pit compared to the respective reference cases, due to the better utilization of the TES capacity. The resulting ground temperature near the TES is also influenced by the use of the HP, with an average ground temperature 5 K lower than in the reference case without HP at a ground depth between of 7 to 15 m. The contribution of thermal insulation appears however necessary for both geometries, as it contributes most to the reduction of ground temperature.

Autor:in	Titel	Konferenz/Publikation	Datum
Tosatto, Alice; Ochs, Fabian; Dahash, Abdulrahman; Muser, Christoph; Kutscha-Lissberg, Felix; Kremnitzer, Peter	Influence of Heat and Mass Transfer on the Performance of Large-Scale Thermal Energy Storage Systems.	Proceedings of the International Renewable Energy Storage Conference 2022 (IRES 2022). Atlantis Press, 10.2991/978-94-6463-156-2_30	2023

Abstract: The current path towards the reduction of fossil-based energy carriers in District Heating systems involves an increasing use of renewable energy sources. In this perspective, the use of efficient thermal energy storage (TES) systems represents an important solution to allow a wider diversification and integration of renewable energy sources, which would otherwise be strongly limited. The use of large-scale buried TES (in particular pit TES) requires however a proper design, which takes into account both the TES operation characteristics and the envelope material properties. In particular, the TES envelope design requires a detailed study, considering its role in preserving the stored energy and the quality of surrounding groundwater. This study will focus on the thermal performance of the TES cover, being the most challenging envelope element. In order to gain detailed information regarding the behaviour of the insulation material in this specific application, it is necessary to investigate the effective materials properties in non-ideal conditions (i.e. moist conditions and high temperatures). The case study of foam glass gravel (FGG), an insulation material widely used in ground applications, is thereby presented to provide an exemplary overview of the challenges that can present in real operation conditions, such as the presence of residual moisture content from the construction phase and the development of convective heat (and mass) transfer. The analysis is supported by numerical simulations and experimental tests in order to investigate the influence of boundary conditions (i.e. heat flux direction, operation temperature, moisture content) and material configuration (i.e. compaction degree, thickness) on the effective insulation performance. Aim of the study is the definition of indications concerning the application of porous insulation materials in TES envelope, considering the challenges and the possible solutions.

Ochs, Fabian; Tosatto, Alice	Dekarbonisierung der Fernwärme durch Großwärmespeicher - Bau-technische und Bauphysikalische Herausforderungen	HFT Stuttgart: Bauphysikertreffen. 24.11.2023, Stuttgart. Stuttgart: Hochschule für Technik., S. 1 - 10.	2023
Tosatto, Alice; Ochs, Fabian; Bianchi_Janetti, Michele	Convective Heat and Moisture Transfer Modelling in Porous Insulation for Large Thermal Storage.	Paper und Präsentationen der COMSOL Conference 2023. 25-27 Oktober, München. München: Comsol., ISBN 978-1-7364524-1-7, S. 1 - 7.	2023

Autor:in	Titel	Konferenz/Publication	Datum
Alice Tosatto, Fabian Ochs, Christoph Muser	Understanding and overcoming the challenges for the integration of large-scale Thermal Energy Storage.	Proceedings of the 16th IEA ES TCP International Conference on Energy Storage (ENERSTOCK 2024), https://doi.org/10.5281/zenodo.13784976	2024
Thomas, Schmidt; Reisenbichler-S., Michael; Dhash, Abdulrahman; Sifnaios, Ioannis; van der Wilk, Steven; Gauthier, Geoffrey; Thornton, Jeff; Tosatto, Alice; Ochs, Fabian; Formhals, Julian	Comparative Simulations for the Verification of Simulation Models for Large Thermal Energy Storages	Proceedings of the 16th IEA ES TCP International Conference on Energy Storage (ENERSTOCK 2024), https://doi.org/10.5281/zenodo.13784976	2024
<p>This paper describes the work of Task 39 of the IEA Energy Storage Technology Collaboration Program, Subtask C: Large Thermal Energy Storages for District Heating – Round Robin Simulations. The aim of the work was to verify and compare numerical simulation models for Large Thermal Energy Storages (LTES) by means of comparative simulations. Models for the following storage concepts were considered: Aquifer Thermal Energy Storage (ATES), Borehole Thermal Energy Storage (BTES), Pit Thermal Energy Storage (PTES), and Tank Thermal Energy Storage (TTES). In total, eleven partner institutions contributed 37 simulation models for six specified test cases to the comparative simulations. Results for the single test cases show, in general, good agreements for annual heat values for TES charging and discharging and acceptable deviations in short-term evolutions of storage temperatures.</p>			
Tosatto, Alice; Ochs, Fabian; Bianchi_Janetti, Michele	Convective Heat and Moisture Transfer Modelling in Porous Insulation for Large Thermal Storage.	Paper und Präsentationen der COMSOL Conference 2023. 25-27 Oktober, München. München: Comsol., ISBN 978-1-7364524-1-7, S. 1 - 7.	2023

