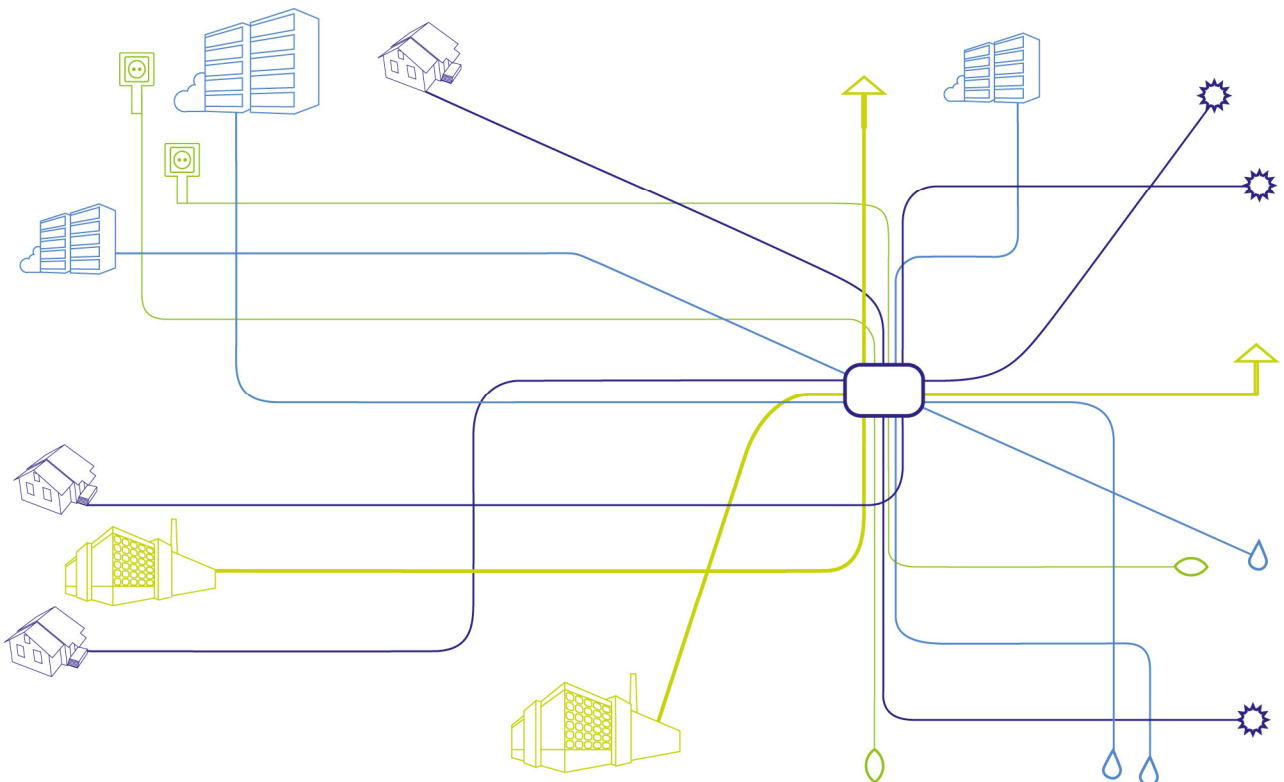




## FutureDHSystem Linz

Sondierung neuer Konzepte für zukünftige Energietransformationen im Linzer Wärmesystem



## VORWORT

Die Publikationsreihe **BLUE GLOBE REPORT** macht die Kompetenz und Vielfalt, mit der die österreichische Industrie und Forschung für die Lösung der zentralen Zukunftsaufgaben arbeiten, sichtbar. Strategie des Klima- und Energiefonds ist, mit langfristig ausgerichteten Förderprogrammen gezielt Impulse zu setzen. Impulse, die heimischen Unternehmen und Institutionen im internationalen Wettbewerb eine ausgezeichnete Ausgangsposition verschaffen.

Jährlich stehen dem Klima- und Energiefonds bis zu 150 Mio. Euro für die Förderung von nachhaltigen Energie- und Verkehrsprojekten im Sinne des Klimaschutzes zur Verfügung. Mit diesem Geld unterstützt der Klima- und Energiefonds Ideen, Konzepte und Projekte in den Bereichen Forschung, Mobilität und Marktdurchdringung. Mit dem **BLUE GLOBE REPORT** informiert der Klima- und Energiefonds über Projektergebnisse und unterstützt so die Anwendungen von Innovation in der Praxis. Neben technologischen Innovationen im Energie- und Verkehrsbereich werden gesellschaftliche Fragestellung und wissenschaftliche Grundlagen für politische Planungsprozesse präsentiert.

Der **BLUE GLOBE REPORT** wird der interessierten Öffentlichkeit über die Homepages [www.klimafonds.gv.at](http://www.klimafonds.gv.at) sowie [www.smartcities.at](http://www.smartcities.at) zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „**Smart Cities Demo - 6. Ausschreibung**“. Die Vision des Klima- und Energiefonds für die Smart-Cities-Initiative mit ihren jährlichen Ausschreibungen ist die erstmalige Umsetzung einer „Smart City“ oder einer „Smart Urban Region“, in der technische und soziale Innovationen intelligent eingesetzt und kombiniert werden, um die Lebensqualität künftiger Generationen zu erhalten bzw. zu optimieren. Ein Stadtteil bzw. -quartier, eine Siedlung oder eine urbane Region in Österreich soll durch den Einsatz intelligenter grüner Technologien zu einer „Zero Emission City“ oder „Zero Emission Urban Region“ werden.

Smarte Stadtentwicklung erfordert intelligente, vernetzte und integrierte Lösungen. Mittelfristig werden **groß angelegte, sichtbare Demonstrationsprojekte** in ganz Österreich angestrebt, die sowohl Maßnahmenbündel **im Bestand** („Retrofit“), als auch **im Neubau** umfassen. Die mehrjährige Smart-Cities-Initiative des Klima- und Energiefonds ist strategisch klar auf **Umsetzungen** ausgerichtet: Entsprechend sind insbesondere Technologieentwicklungen essentiell, die die **Interaktion und Vernetzung zwischen einzelnen technischen Systemen** ermöglichen. Auf die **thematische Offenheit hinsichtlich**

**der Wahl der Technologien** (beispielsweise für die Energieaufbringung, für Effizienz, Speicherung, Kommunikation, Mobilität etc.) wird dabei Wert gelegt.

**Neue Konzepte sozialer Innovation** sollen in den Projekten dazu genutzt werden, um alle relevanten Akteure mit ihren unterschiedlichen Interessen und Kompetenzen in den Transformationsprozess einzubinden und z.B. als Testgruppen zu integrieren.



Theresia Vogel  
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds



Ingmar Höbarth  
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

## PUBLIZIERBARER ENDBERICHT

### A. Projektdetails

<b>Kurztitel:</b>	FutureDHSystem Linz
<b>Langtitel:</b>	Sondierung neuer Konzepte für zukünftige Energietransformationen im Linzer Wärmesystem
<b>Programm:</b>	Smart Cities Demo - 6. Ausschreibung
<b>Dauer:</b>	01.04.2016 bis 31.03.2017
<b>KoordinatorIn/ ProjekteinreicherIn:</b>	Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz
<b>Kontaktperson - Name:</b>	Simon Moser
<b>Kontaktperson – Adresse:</b>	Altenbergerstraße 69 4040 Linz
<b>Kontaktperson – Telefon:</b>	+43-732-2468-5658
<b>Kontaktperson E-Mail:</b>	moser@energieinstitut-linz.at
<b>Projekt- und KooperationspartnerIn (inkl. Bundesland):</b>	AIT Austrian Institute of Technology (Wien) Linz AG (OÖ)
<b>Projektwebsite:</b>	<a href="http://www.energieinstitut-linz.at/v2/portfolio-item/future-district-heating-system-linz/">http://www.energieinstitut-linz.at/v2/portfolio-item/future-district-heating-system-linz/</a>
<b>Schlagwörter (im Projekt bearbeitete Themen- /Technologiebereiche)</b>	<input type="checkbox"/> Gebäude <input checked="" type="checkbox"/> Energienetze <input type="checkbox"/> andere kommunale Ver- und Entsorgungssysteme <input type="checkbox"/> Mobilität <input type="checkbox"/> Kommunikation und Information
<b>Projektgesamtkosten genehmigt:</b>	243.076 €
<b>Fördersumme genehmigt:</b>	186.900 €
<b>Klimafonds-Nr:</b>	KR15SC6F12534
<b>Erstellt am:</b>	01.04.2017

Diese Projektbeschreibung wurde von der Fördernehmerin/dem Fördernehmer erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit und Aktualität der Inhalte übernimmt der Klima- und Energiefonds keine Haftung.

## B. Projektbeschreibung

### B.1 Kurzfassung

<b>Ausgangssituation / Motivation:</b>	<p>Die Stadt Linz weist mit ihren Industrie- und Gewerbebetrieben ein signifikantes Abwärmepotenzial zur Nutzung im Fernwärmenetz auf. Ein primär wirtschaftliches Hemmnis der Nutzung der Abwärme im Fernwärmenetz besteht darin, dass Abwärme v.a. im Sommer anfällt, während der Heizwärmebedarf v.a. im Winterhalbjahr gegeben ist. In diesem Projekt wird überprüft, wie ein Großwärmespeicher zur Verschiebung der Wärmeenergie beitragen kann und ob dieser wirtschaftlich betrieben werden kann.</p>
<b>Bearbeitete Themen-/ Technologiebereiche:</b>	<p>Energienetze, Abwärmennutzung, saisonale Wärmespeicherung</p>
<b>Inhalte und Zielsetzungen:</b>	<p>Am Beginn des Projektes wurden die Entwicklungsmöglichkeiten des Fernwärmenetzes der Linz AG analysiert. Potenzielle Lieferanten von Abwärme wurden identifiziert und die Mengen in Interviews mit Experten der Industriebetriebe quantifiziert. Hinzu kommt als weitere Wärmequelle eine Wärmepumpe, welche die Energie des Rauchgases des Reststoffheizkraftwerks und des Biomasseheizkraftwerks nutzt. Des Weiteren wird in der Analyse - als zentrales Analyseobjekt des Projekts - ein druckloser Heißwasser-Großwärmespeicher mit einer Kapazität von 80 GWh<sub>th</sub> integriert. Dabei werden dessen Betriebsweisen, seine Wirtschaftlichkeit und Finanzierungsmöglichkeiten analysiert.</p>
<b>Methodische Vorgehensweise:</b>	<p>Im Projekt wurde die technische und wirtschaftliche Machbarkeit des Großwärmespeichers evaluiert, wobei dieser in fünf unterschiedlichen Szenarien des Fernwärmenetzbetriebs mit der Ausgangssituation verglichen wurden. Für die Erzeugungsanlagen und das Wärmenetz wurde ein Modell erstellt und die Einbindung von Großwärmespeicher, Abwärme und Wärmepumpe simuliert. Die Ergebnisse der technischen Simulation wurden betriebswirtschaftlich und volkswirtschaftlich bewertet. Mittels Experteneinbindung und SWOT-Analysen wurde darauf abgezielt, ein Umsetzungskonzept zu erstellen.</p>
<b>Ergebnisse und Schlussfolgerungen:</b>	<p>Grundsätzlich ist zu attestieren, dass die Einbindung des Großwärmespeichers möglich ist. Das Speichervolumen würde 4,4 Mal pro Jahr umgesetzt, was einer Speichernutzung von 352 GWh<sub>th</sub>/a entspricht. Dabei wird neben der saisonalen Speicherung auch eine Optimierung des Kraftwerkparks vorgenommen. Bezogen auf die Wärmeaufbringung von etwa 1.130 GWh<sub>th</sub>/a bleibt der Einsatz des Reststoffheizkraftwerks mit 350 GWh<sub>th</sub> etwa gleich, die Abwärme steuert fortan etwa 310 GWh<sub>th</sub> des Wärmebedarfs bei und auch die Wärmepumpe erbringt 50 GWh<sub>th</sub>. Die aus fossilen Quellen stammende Wärmeaufbringung wird um mehr als die Hälfte auf 360 GWh<sub>th</sub> reduziert. Die aktuelle betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse weist - ohne Förderungen - eine Amortisationszeit von 20 Jahren auf. Sie zeigt aber doch auf, dass ein Speicher eine wirtschaftlich realistische Option für die Weiterentwicklung des Fernwärmenetzes darstellt, insbesondere bei Entwicklungen an den Energie- oder Emissionshandelsmärkten. Einschränkend ist aber auch klarzustellen, dass in der berechneten Amortisationszeit die erheblichen wirtschaftlichen Risiken keine Beachtung finden. Volkswirtschaftlich ist der Großwärmespeicher deutlich besser zu beurteilen als betriebswirtschaftlich: Im Vergleich zu einer Situation ohne die Umsetzung zeigt die makroökonomische Simulationsanalyse eine Zunahme des Bruttoregionalprodukts um ca. 44 Millionen Euro in den Jahren 1 und 2 und rund 15 Millionen Euro pro Jahr ab dem Jahr 3.</p>
<b>Ausblick:</b>	<p>Eine Realisierung des Großwärmespeichers aus technischen Gründen ist kurzfristig nicht möglich: Forschungen bezüglich der notwendigen Technologien sind noch erforderlich. Hinsichtlich der nicht-technischen Hemmnisse der Abwärme sind weitere Forschungsarbeiten anzustreben. Dies betrifft vor allem die Akzeptanz, die ökonomisch-vertragliche Ausgestaltung und die ökonomische Bewertung der</p>

	Risiken. Allgemein gilt es, Abwärmepotenziale genauer und einheitlicher als bisher zu identifizieren und zugänglich zu machen.
--	--

## B.2 English Abstract

<b>Initial situation / motivation:</b>	<p>With its industrial and commercial companies, the city of Linz has significant waste heat potentials for the district heating network. A primary economic obstacle for the utilization of the waste heat in the district heating network is that waste heat is primarily available in the summer, where only a low heat demand has to be met, whereas the demand for heat is significantly higher in winter.</p> <p>This project examines how a large heat storage can contribute to the shift of the heat energy and whether this large heat storage can be operated economically.</p>
<b>Thematic content / technology areas covered:</b>	Energy networks, waste heat usage, seasonal thermal energy storage
<b>Contents and objectives:</b>	<p>At the beginning of the project, various development potentials of the district heating network of Linz AG were analyzed. Potential suppliers of waste heat were identified and the quantities thereof determined in interviews with the companies' experts. Additionally, a heat pump was implemented as a heat source, using the energy of the flue gas from the incineration plant and the biomass power plant. Furthermore, an unpressurized hot water storage with a capacity of 80 GWh<sub>th</sub> – the central object of the project - was part of the analysis.</p>
<b>Methods:</b>	<p>The project evaluated the technical and economic feasibility of the heat storage system, comparing five scenarios with the initial situation. A technical model for the production plants and the heating network was developed, and the integration of the heat storage, the integration of waste heat and the heat pump were simulated. The results of the technical simulation were evaluated (socio-) economically. Through the input of experts and a SWOT analyzes a concept for the large-scale heat storage and waste heat integration was developed.</p>
<b>Results:</b>	<p>It can be attested that, in principle, the integration of the large heat storage in the district heating grid is possible. The storage would have 4.4 cycles per year, which results in a storage utilization of 352 GWh<sub>th</sub>/a. In addition to seasonal storage, an optimization of the power plant park is also achieved. With respect to the yearly heat supply to the grid of approx. 1.130 GWh<sub>th</sub>/a, the use of the residual heating plant remains constant (350 GWh<sub>th</sub>), the waste heat and heat pump cover a demand of about 310 GWh<sub>th</sub> and 50 GWh<sub>th</sub> respectively. The heat generated from fossil sources is reduced by more than a half to 360 GWh<sub>th</sub>. The current economic cost-benefit analysis shows a payback period of 20 years, without subsidies. It shows that a storage is a realistic option to improve the district heating grid, especially in the case of developments on the energy or emission trading markets. However, it has to be clarified that the considerable economic risks are not taken into account in the calculation.</p> <p>The large heat storage has significant value from a socio-economic of view: Compared to a situation without the implementation, the macroeconomic simulation analysis shows an increase of the gross regional product by approx. 44 million euro in the years 1 and 2 and around 15 million euro per year starting from year 3.</p>
<b>Outlook / suggestions for future research:</b>	<p>It can be concluded that the construction of a large heat storage is a very long-term objective. An immediate erection must be excluded on the basis of the</p>

current technological development (interior lining, etc.).

### B.3 Einleitung

#### **Aufgabenstellung**

Eine versorgungssichere, leistbare und nachhaltige Wärmeversorgung ist eine Herausforderung, aber auch ein zentrales Asset eines smarten Industriestandortes bzw. Ballungsraumes wie Linz, welches es kontinuierlich zu verbessern gilt. Industriebetriebe aus unterschiedlichen Branchen in Linz verfügen über ein bisher noch ungenutztes Abwärmepotenzial. Die Integrationsmöglichkeit dieser Potentiale in das städtische Fernwärmesystem war ein Ziel dieser Sondierung. Damit einhergehend wurde die Integration eines Großwärmespeichers, unter Mitbetrachtung der Abwärmeeinspeisung und der notwendigen Infrastrukturanpassung, aus wirtschaftlicher und technischer Sicht analysiert. Zentrales Ergebnis der Sondierung ist neben der Simulation der optimalen technischen Einbindung der Abwärme unter Berücksichtigung von Wärmespeichern die ökonomische Gesamtbewertung. Finales Resultat des Projekts sollte die Aufbereitung eines Umsetzungskonzepts des Großwärmespeichers und der verfügbaren Abwärme sein.

#### **Schwerpunkte des Projektes**

Am Beginn des Projektes wurden die Entwicklungsmöglichkeiten des Fernwärmenetzes der Linz AG analysiert. Es wird angenommen, dass der Bedarf an Fernwärme über die nächsten Jahre gleichbleiben wird, wobei die Verdichtung und der Ausbau des Netzes die steigende Energieeffizienz der Gebäude kompensiert. Um die Primärenergieeffizienz des lokalen Energiesystems zu erhöhen, liegt ein Hauptaugenmerk auf der Einbindung von industrieller Abwärme. Hinsichtlich der potenziellen Lieferanten von Abwärme wurden zuerst Prozesse der energieintensiven Industrie betrachtet, bei welchen nutzbare Abwärme anfallen kann. In Experteninterviews mit Vertretern von ausgewählten Industriebetrieben wurden Abwärmepotentiale besprochen und, soweit möglich, quantifiziert. Für die Analysen des Projekts wird für den Raum Linz von einem mittelfristig wirtschaftlich erschließbaren Abwärmepotenzial von 55 MW<sub>th</sub> im Sommer und 40 MW<sub>th</sub> im Winter ausgegangen.

Hinzu kommt als Exkurs die Betrachtung einer 15 MW<sub>th</sub> Wärmepumpe als Wärmequelle, welche die Energie des Rauchgases des Reststoffheizkraftwerks und des Biomassekraftwerks in den Rücklauf der Fernwärme einspeist. Des Weiteren wird in der Analyse - als zentrales Analyseobjekt des Projekts - ein druckloser Heißwasser-Großwärmespeicher mit einer Kapazität von 80 GWh<sub>th</sub> integriert. Dessen technische Grunddaten wurden im Wesentlichen aus Muser et al. (2015) übernommen.<sup>1</sup> Im vorliegenden Projekt wurde die technische und wirtschaftliche Machbarkeit des Großwärmespeichers evaluiert, wobei fünf Szenarien mit der Ausgangssituation verglichen wurden. In der Kurzfassung wird nur auf die Ergebnisse des wesentlichsten Szenarios eingegangen.<sup>2</sup> Vorauszuschicken ist, dass sich sämtliche Ergebnisse des Projekts aus dem Zusammenspiel des bisherigen Wärmenetzes, des Großwärmespeichers, der Abwärmeeinspeisung und der Wärmepumpenenergie ergeben. Eine Generalisierung für Großwärmespeicher gleicher Bauart in anderen Fernwärmesystemen ist damit nur eingeschränkt zulässig. Ebenfalls Inhalt dieses Projektes sind die ökonomischen Effekte eines Großwärmespeichers, Möglichkeiten zur Finanzierung, organisatorische Aspekte sowie betriebs- und volkswirtschaftliche Effekte.

#### **Aufbau der Arbeit**

##### **Analyse der Ausgangssituation**

Ausbaumöglichkeiten des Fernwärmenetzes

Potenzielle Abwärmequellen

Annahmen für die technische und ökonomische Bewertung des Großwärmespeichers

##### **Technische Simulation eines Großwärmespeichers**

<sup>1</sup> Muser, Drucker, Samhaber, Jung, Spendingwimmer (2015): Machbarkeits-Vorstudie eines saisonalen Groß-Wärmespeichers für Linz. Publizierbarer Endbericht, FFG # 843937, Mai 2015.

<sup>2</sup> Ein Szenario bindet den Speicher in das Netz bei aktuellen Temperaturen (bis 130 °C im Winter) ein, die anderen Szenarien unterstellen ein geringeres Netztemperaturniveau von 97 °C. Da der Kosten-Nutzen des Speichers durch eine geringere Vorlauftemperatur nicht wesentlich beeinflusst wird, erfolgt im Projekt eine Fokussierung auf das Szenario bei 130 °C.

Entwicklung und Bewertung von Szenarien
<b>Ökonomische Effekte eines Großwärmespeichers</b> Sozioökonomische Akzeptanz Finanzierung eines Großwärmespeichers Organisatorische Aspekte Betriebswirtschaftliche Effekte Volkswirtschaftliche Effekte
<b>Umsetzungskonzept und Multiplizierbarkeit</b> für Abwärme und Großwärmespeicher
Exkurse: Rauchgaswärmepumpe und Einspeisung industrielle Abwärme

## B.4 Hintergrundinformationen zum Projektinhalt

### Beschreibung des Stands der Technik und Vorarbeiten

#### Stand der Technik Fernwärmenetz Linz

Das Fernwärmesystem der Stadt Linz ist bereits großflächig ausgebaut: Rund 70 % der Linzer Wohnungen und 90 % der öffentlichen Gebäude sind angeschlossen. Die Fernwärmeezeugung des Energieversorgers Linz AG wird durch ein Reststoffheizkraftwerk, ein Biomasseheizkraftwerk, fünf Gasheizkraftwerke und gasgefeuerten Spitzenlastkessel garantiert. Die aktuell installierte Leistung beträgt etwa 550 MW<sub>th</sub>. Die Stadt Linz weist mit ihren innerstädtischen und stadtnahen Industrie- und Gewerbebetrieben ein signifikantes Abwärmepotenzial zur Nutzung im Fernwärmenetz auf.

#### Stand der Technik Großwärmespeicher

Ein primär wirtschaftliches Hemmnis der Nutzung der Abwärme im Fernwärmenetz besteht darin, dass Abwärme v.a. im Sommer anfällt, während der Heizwärmebedarf v.a. im Winterhalbjahr gegeben ist. In diesem Projekt wird überprüft, wie ein Großwärmespeicher zur Verschiebung der Wärmeenergie beitragen kann und ob dieser Großwärmespeicher wirtschaftlich betrieben werden kann.

Es gibt vier grundlegende Bauarten von Warmwasserspeichersystemen: Tankspeicher, Erdbeckenspeicher, Erdsonden und Aquifer. Für die saisonale Speicherung - meist in Kombination mit Solarsystemen - sind Erdbecken die bevorzugte Bauweise, da deren Investitionskosten vergleichsweise niedrig sind.<sup>3</sup> In Dänemark wurden mehrere Projekte umgesetzt, die größten davon Vojens (200.000 m<sup>3</sup>), Marstal (75.000 m<sup>3</sup>) und Dronninglund (60.000 m<sup>3</sup>).<sup>4</sup> Nachteilig bei Erdbeckenspeicher ist allerdings der hohe Platzbedarf und die begrenzte Maximaltemperatur – Erdbeckenspeicher können selten direkt an das Fernwärmenetz gekoppelt werden. Daher werden in Fernwärmenetzen vorwiegend Tankspeichersysteme eingesetzt. Sie können an die technischen Anforderungen des Systems angepasst werden (u.a. Druck und Temperatur), der Druckhaltung oder als Ausdehnungsgefäß dienen und direkt an das Fernwärmenetz gekoppelt werden. Allerdings sind bei Tankspeichern die Investitionskosten im Vergleich zu Erdbeckenspeicher höher und sie benötigen regelmäßige Wartung (abhängig von Betriebstemperatur und -druck).<sup>5</sup> Einige der größten Tankspeicheranlagen in Fernwärmesystemen, die den Autoren bekannt sind, sind in Gedersdorf (Österreich, 50.000 m<sup>3</sup>), Mannheim (Deutschland, 45.000 m<sup>3</sup>), Potsdam (Deutschland 41.500 m<sup>3</sup>) und Linz (Österreich, 35.000 m<sup>3</sup>).

#### Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

<sup>3</sup> Ramboll (2015): Wärmespeicherung in Fernwärmenetzen – Möglichkeiten und Grenzen. Studie, Zürich 2015. Web: <https://tinyurl.com/mpb6y3r>

<sup>4</sup> Lund, Østergaard, Connolly, Ridjan, Mathiesen, Hvelplund, Thellufsen, Sorknæs (2016): Energy Storage and Smart Energy Systems. International Journal of Sustainable Energy Planning and Management, Volume 11, 2016, Pages 3-14. Web: <http://dx.doi.org/10.5278/ijsep.2016.11.2>

<sup>5</sup> Ramboll (2015): Wärmespeicherung in Fernwärmenetzen – Möglichkeiten und Grenzen. Studie, Zürich 2015. Web: <https://tinyurl.com/mpb6y3r>



Muser et al. (2015) beschäftigen sich in ihrer Machbarkeits-Vorstudie mit der Thematik von saisonalen Groß-Wärmespeichern für die Stadt Linz. Darin wird der Bedarf an Wärmespeichern, insbesondere aufgrund der steigenden Nutzung erneuerbarer Energien und wärmegeführter/stromentkoppelter KWK-Anlagen, betont.

Aus den Merit-Order- bzw. Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen von Moser et al.<sup>6</sup> kommt hervor, dass ein Großwärmespeicher eine Möglichkeit zur Verschiebung von in den Sommermonaten wertloser industrieller oder solarer (Ab)Wärme in die Winterzeit sein kann. Die Investitionskosten eines solchen Speichers sind in der Wirtschaftlichkeitsanalyse mit den im bisherigen System eingesparten Kosten gegenzurechnen. Wärmespeicher sind für den energieeffizienten Betrieb von Fernwärmenetzen essenziell, waren jedoch nicht Inhalt des Projektes und wird daher im vorliegenden Projekt aufgegriffen.

### **Beschreibung der Neuerungen sowie ihrer Vorteile gegenüber dem Ist-Stand (Innovationsgehalt)**

Die im vorliegenden Projekt durchgeführten Analysen zeigen, dass die angesiedelte Industrie über Abwärmepotenziale verfügt, welche in das Fernwärmenetz der Linz AG eingespeist werden können. Ein wichtiger Aspekt dabei sind die unterschiedlich verfügbaren Abwärmemengen in den Sommer- bzw. Wintermonaten. Da bei den Betrieben in den Sommermonaten mehr Abwärme anfällt, dann, wenn also der Fernwärmebedarf vergleichsweise gering ist, ist die Kombination einer Abwärmeeinspeisung mit einem Großwärmespeicher, welcher diese lange verlustarm speichern kann, unabdingbar. Die Simulation des Fernwärmenetzes in Kombination mit einem Großwärmespeicher ergab, dass das Zusammenspiel mit einem Großwärmespeicher im Linzer Fernwärmenetz zu erheblichen Einsparungen von CO<sub>2</sub> (bis zu -44 %), Brennstoffen (bis zu -21 %) und Primärenergie (bis zu -11 %) führen kann. Bei aktiver Einbindung eines Großwärmespeichers auch als Kurzzeitspeicher zeigt sich, dass auch im Winter bzw. der Übergangszeit häufige Be- und Entladungen erfolgen würden. Insgesamt könnten somit ~ 348 GWh in den Speicher bzw. aus dem Speicher in das Netz gespeist werden. Dies entspricht dem ~ 4,4-fachen der Speicherkapazität - d.h. aufgrund der strategischen Entscheidung den Speicher aktiv in den Anlagenpark aufzunehmen und das ganze Jahr über in die Portfolioplanung einzubinden und zur kurzzeitigen Pufferung zu verwenden, könnte die Zyklenanzahl auf rund 4,4 erhöht werden, was einen positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit und in Folge die Umsetzbarkeit hat. Die Wirtschaftlichkeit eines Großwärmespeichers kann als betriebswirtschaftlich nicht unrealistisch betrachtet werden, und dessen volkswirtschaftliche Effekte sind als deutlich positiv einzustufen. Es kann also geschlossen werden, dass – bei technischer Weiterentwicklung – ein Großwärmespeicher ein attraktives Bindeglied zwischen industrieller Abwärmeeinspeisung und Optimierung des Fernwärmenetzes darstellen kann. Die Betrachtung der Rauchgaswärmepumpe konnte diese als wirtschaftliche Option zur derzeitigen Erzeugungsstruktur bestätigt werden.

### **Verwendete Methoden**

Desk Research / Analysen: Literatur-basierte Analyse Einbringungen von Ergebnissen aus (eigenen) Vorprojekten Systemanalyse für Hemmnisse und Herausforderungen zur Abwärmeeintegration
Modellierung des Fernwärmesystems Linz Systemerstellung, Systemaggregation Mathematische Analyse und Integration von Komponentenmodellen
Betriebswirtschaftliche Kosten- und Ertragsrechnungen
Konzeptionierung neuer Finanzierungssysteme auf Basis alternativer Projekte
Workshops/Expertenaustausch: Expertenaustausch mit Industriebetrieben Expertenaustausch im Rahmen der Workshops mit Advisory Board Mitgliedern Workshop aller ProjektpartnerInnen sowie der eingebundenen Experten (Advisory Board) zur Erstellung des Umsetzungskonzepts Workshop zur Definition des Simulationsumfangs, der Randbedingungen und Dateninput/ Output
Dissemination der Projektergebnisse auf (inter-)nationalen Konferenzen

## **B.5 Ergebnisse des Projekts**

### **Potentielle Abwärmequellen**

<sup>6</sup> Moser et al. (2016): Open Heat Grid. Evaluierung ausgewählter Konzepte der Einspeisung industrieller Abwärme in bestehende Fernwärmenetze. Endberichtsteil 8 / 8.

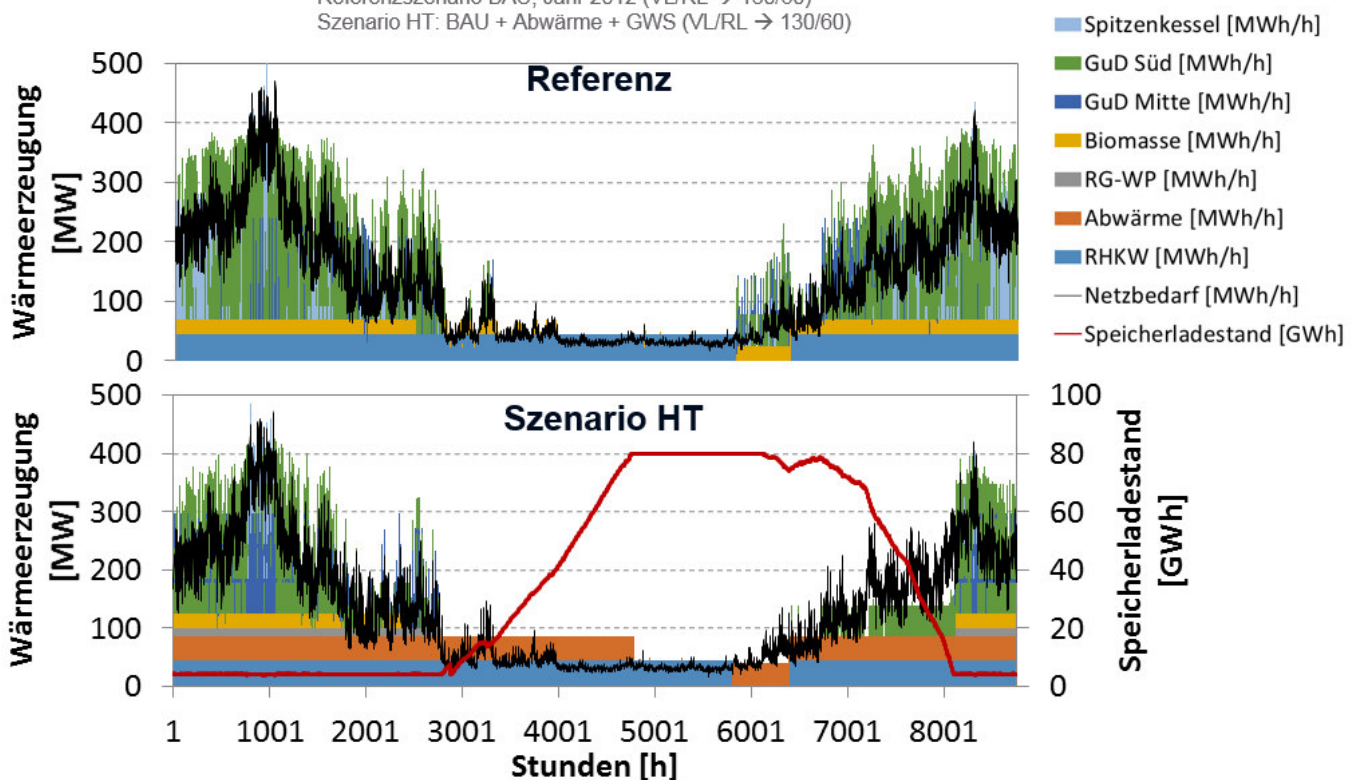
Ausgehend von den betrachteten, relevanten Technologien sowie den durchgeführten Recherchen und Experteninterviews wird konservativ von einer verfügbaren Abwärmeleistung von rund 55 MW in den Sommermonaten und 40 MW in den Wintermonaten ausgegangen.

### Ergebnisse der Simulation

Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen für die fünf alterierenden Netzbetriebsszenarien zeigen, dass die Integration von industrieller Abwärme und Abwärme aus Rauchgaskondensation mittels Wärmepumpe im Zusammenspiel mit einem Großwärmespeicher im Fernwärmenetz der Linz AG zu erheblichen Einsparungen von CO<sub>2</sub> (bis zu -44 %), Brennstoffen (bis zu -21 %) und Primärenergie (bis zu -11 %) führen kann. Diese Reduktionen wurden durch eine kostenoptimierte Fahrweise erzielt. Je nach Bedarf kann die Optimierung auch gezielt auf andere Parameter wie Emissionen, Brennstoffbedarf oder Primärenergie angewandt werden. Durch die Kostenoptimierung sollte im Projekt sichergestellt werden, dass die Ergebnisse auch in der realen Anwendung eine gewisse Relevanz aufweisen und dadurch betriebswirtschaftliche Entscheidungen unterstützt werden können. Es hat sich außerdem gezeigt, dass durch eine strategische Speicherbewirtschaftung (saisonale und kurzzeitige Wärmespeicherung) die Zyklenanzahl (und somit die Wirtschaftlichkeit eines Großwärmespeichers) auf bis zu 4,4 gesteigert werden kann.

Abbildung 1: Gegenüberstellung Referenzszenario und Szenario HT mit strategischem Speicherbetrieb

Referenzszenario BAU, Jahr 2012 (VL/RL → 130/60)  
Szenario HT: BAU + Abwärme + GWS (VL/RL → 130/60)



Durch Maßnahmen wie z.B. der Integration eines dezentralen Spitzenlastspeichers oder der Netzverstärkung mittels einer zusätzlichen Verbindungsleitung kann aus energetischer Sicht auch ein Niedertemperatursystem als interessante zukünftige Variante der Wärmeversorgung angesehen werden. Die zusätzlich auftretenden Kosten wurden in die (Betriebskosten-) Optimierungsrechnung nicht mit aufgenommen, werden aber in weiterer Folge in der ökonomischen Bewertung als zusätzliche Investitionskosten integriert. Durch eine zusätzliche Verbindungsleitung zwischen den einzelnen Kraftwerksstandorten kann die Flexibilität des Fernwärmesystems und der Erzeuger weiter gesteigert werden und gewünschte Anlagen gefördert bzw. teure oder ineffiziente Anlagen verdrängt werden. Durch niedrigere Netztemperaturen werden außerdem Wärmeverluste reduziert und ein Nachheizen des Wassers aus dem Großwärmespeichers entfällt ebenfalls. Daher können fossile Erzeuger noch

weiter verdrängt werden. Außerdem können dadurch auch weitere potentielle Abwärmequellen die evtl. auf niedrigerem Temperaturniveau vorliegen, einfacher in das bestehende Netz integriert werden.

## **Ergebnisse der ökonomischen Effekte eines Großwärmespeichers**

### Sozioökonomische Akzeptanz eines Großwärmespeichers

Akzeptanz ist ein wesentliches Thema bei der Errichtung eines saisonalen Großwärmespeichers in Linz. Eine frühe Absicherung der Akzeptanz v.a. in der Bevölkerung wird für eine Realisierung des Projekts eine wesentliche Rolle spielen, insbesondere, weil die Akzeptanz der anderen Interessensträger gemäß Public-Choice-Analyse nicht als klar positiv oder negativ bzw. divergierend einzustufen ist.

### Finanzierung

Das vorliegende Projekt wird grundsätzlich für finanzierbar gehalten, wobei schon aufgrund der Größenordnung der zu beschaffenden Mittel etliche Fragen zu klären sind.

Zentrale Aussagen:

- Eine ausgewogene Eigentümergruppe kann die Aufbringung des Fremdkapitals erleichtern, da eine stabile, langfristig orientierte und eher konstante Eigentümerschaft zur „Festigung“ des Projektes beiträgt und damit das Risiko aus Sicht der Fremdkapitalgeber absenkt.
- Die Projektgröße bietet insofern einen Vorteil für potenzielle Investoren, als dass die Kosten der Projektevaluierung im Verhältnis zum Projektvolumen geringer sind als bei vielen kleineren Projekten (wenngleich diese eine Diversifizierung mit sich bringen würden).
- Für private Publikumsanleger ist der Informations- und Marketingaufwand grundsätzlich höher als bei institutionellen Investoren.

### Organisatorische Aspekte

Der Betreiber des lokalen Fernwärmesystems muss weder Eigentümer noch Betreiber des Speichers sein. Liegt die Eigentümerschaft nicht in der (alleinigen) Hand des Betreibers des lokalen Fernwärmesystems, so können sich andere Betriebsweisen ableiten. Über die Eigentümerstruktur kann Einfluss auf die Betriebsweisen genommen werden. Während einer „neutralen“ Eigentümerstruktur ein Interesse an der Maximierung der Kapitalrückflüsse zu unterstellen ist, kann der Betreiber des lokalen Fernwärmesystems als Eigentümer alle Systemeinflüsse in seine Betriebsweise einbringen.

### Betriebswirtschaftliche Effekte

Folgende Aussagen können über die Wirtschaftlichkeit des betrachteten Großwärmespeicher-Systems getroffen werden:

- Im betrachteten System ist eine betriebswirtschaftliche Machbarkeit des Großwärmespeichers mit einer berechneten Amortisationsdauer von 20 Jahren ab Inbetriebnahme nicht unrealistisch.
- Die Verfügbarkeit günstiger Wärme zur stetigen Füllung des Speichers ist ein wesentliches Charakteristikum dieses Systems.
- Es bestehen nicht zu vernachlässigende Marktrisiken wie die Entwicklung der Emissionshandels- und Energiemarktpreise, welche in der betriebswirtschaftlichen Betrachtung mangels zuverlässiger Prognose nicht abgebildet werden können.
- Für eine „übliche“ Amortisationszeit von 15 Jahren leiten sich unter Anbetracht der oben angeführten jährlichen Ausgaben und Einnahmen sowie einer Verzinsung von 5 % maximale, allumfassende Investitionskosten des Großwärmespeichers von etwa 85 Mio. Euro ab.
- Aus einer betriebswirtschaftlichen Betrachtung und mit den heutigen Rahmenbedingungen (Förderungen, Fokus auf Endenergieeffizienz) sind die Niedertemperaturszenarien - in der rein auf die Kosten-Nutzen des Großwärmespeichers fokussierenden Analyse - betriebswirtschaftlich nicht darstellbar.
- Eine Senkung der Vorlauftemperatur auf 97 Grad hat keinen direkten, positiven Effekt auf die Wirtschaftlichkeit des Speichers und ist, im Gegenteil, ohne Kundenadaption, Sanierungen etc. mit enormen Investitionskosten in die Leitungen verbunden.

- Eine rein saisonale Speicherung ist wirtschaftlich ineffizient. Aus wirtschaftlicher Sicht ist ein Speicher, der seine Einnahmen rein aus der Verschiebung von Sommerwärme im Winter bzw. in der Übergangszeit generiert, also - ohne Beachtung von Zusatzeffekten wie Betriebsoptimierungen des Kraftwerksparcs - wirtschaftlich ineffizient.
- Eine Realisierung des Großwärmespeichers ist aufgrund der hohen technischen Risiken kurzfristig nicht möglich.

### Volkswirtschaftliche Effekte

Die Simulation der volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Implementierung des Großwärmespeichers in Linz zeigt einen positiven volkswirtschaftlichen Nutzen in Form einer Erhöhung des Bruttoregionalproduktes und der Beschäftigung innerhalb des Betrachtungszeitraums auf:

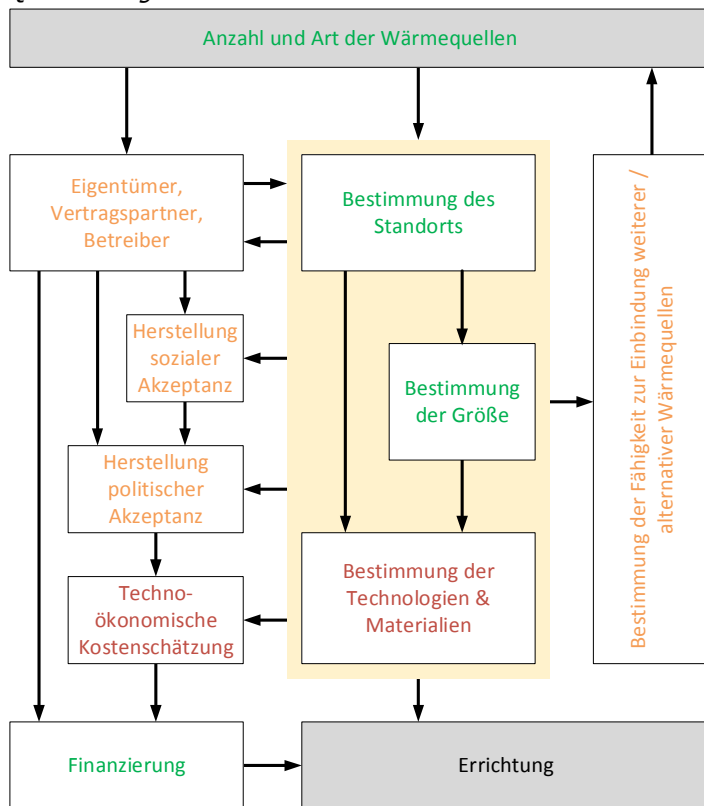
- Positive Effekte auf das Bruttoregionalprodukt: Die Errichtung eines Großwärmespeichers führt durch direkt und indirekt ausgelöste Wirtschaftstätigkeit zu einer Steigerung des Bruttoregionalproduktes von durchschnittlich 43,5 Mio. Euro in den ersten beiden Jahren. Primär durch die vermiedenen Energieimporte werden in Oberösterreich in den Folgejahren durchschnittlich 17,5 Mio. Euro Bruttoregionalprodukt zusätzlich erwirtschaftet.
- Positive Beschäftigungseffekte: Die Errichtung eines Großwärmespeichers führt durch direkt und indirekt ausgelöste Beschäftigungsverhältnisse zu durchschnittlich 320 zusätzlichen Beschäftigten in den ersten beiden Jahren. Primär durch die vermiedenen Energieimporte werden in Oberösterreich in den Folgejahren durchschnittlich 65 Beschäftigungsverhältnisse neu geschaffen.

### Umsetzungskonzept

Auf Basis der bisherigen Projektergebnisse sowie einer durchgeführten SWOT-Analyse gemeinsam mit allen Projektpartnern sowie den eingebundenen Experten und Stakeholdern wurde ein Umsetzungskonzept für eine konkrete spezifische Realisierung einer Optimierungsvariante in Form eines Demonstrationsprojekts entworfen.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Errichtung eines Großwärmespeichers eine sehr langfristige Zielsetzung darstellt. Eine sofortige Neueinreichung als Demonstrationsprojekt muss auf Basis des aktuellen Entwicklungsstandes ausgeschlossen werden.

Abbildung 2: Identifizierte Elemente und deren Verkettung als Umsetzungskonzept für einen Großwärmespeicher in Linz.  
Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz.

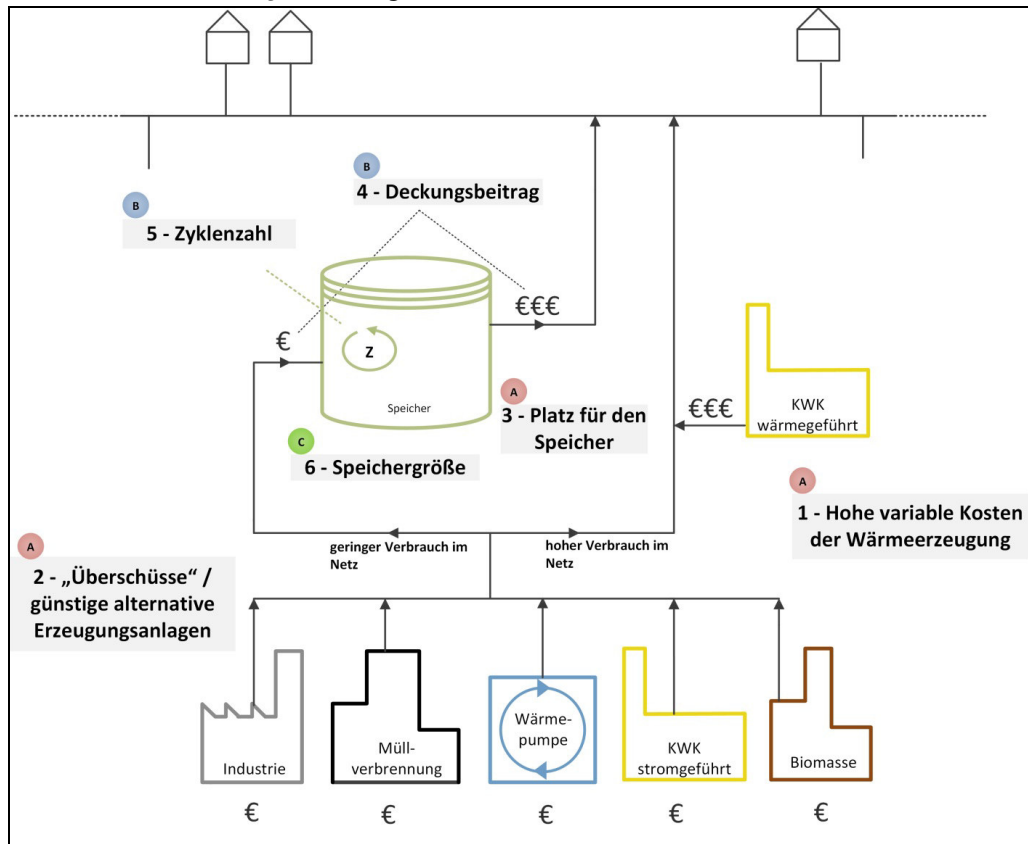


### **Multiplizierbarkeit Abwärme und Großwärmespeicher**

Mit Hilfe des 4th Pan-European Thermal Atlas (<http://www.heatroadmap.eu/maps.php>) können europaweit potentielle Abwärmequellen in der Nähe von bestehenden Wärmenetzen ermittelt werden. Für Regionen mit großen Mengen an industrieller Abwärme, die über bereits bestehende Wärmenetze verfügen, können somit die im Projekt FutureDHSystem Linz gewonnen Erkenntnisse übertragen werden. Dadurch wird es, nach Abschluss des Projektes Heat Roadmap Europe und mit Fertigstellung des Atlas möglich, weitere potentielle Fernwärmesysteme zu identifizieren, für die die Möglichkeit besteht, industrielle Abwärme zusammen mit einem Großwärmespeicher in ihr System zu integrieren.

Die Multiplizierbarkeit für den Einsatz eines Großwärmespeichers wird qualitativ dargestellt, da die Größe von Wärmenetzen oder verfügbaren KWK-Anlagen nicht unbedingt maßgeblich für die Sinnhaftigkeit eines Speichers ist, sondern, wie im Folgenden gezeigt wird, deren effizientes Zusammenspiel. Es wird zwischen Relevanz eines Speichers, Wirtschaftlichkeit des Speichers und den abgeleiteten Gestaltungsparametern unterschieden.

Abbildung 3: Qualitative Darstellung der Voraussetzungen für die Relevanz und Wirtschaftlichkeit eines Großwärmespeichers in einem Fernwärmenetz. Quelle: Energieinstitut an der JKU Linz.



### **A. Grundvoraussetzungen für die Relevanz eines Wärmespeichers**

1. Hohe variable Kosten der Wärmeerzeugung
2. Überschüsse oder günstige alternative Erzeugungsanlagen
3. Platz für den Speicher

### **B. Grundvoraussetzungen für die Wirtschaftlichkeit eines Wärmespeichers**

4. Deckungsbeitrag: Essenziell für die Wirtschaftlichkeit des Speichers ist, dass sich die Kosten der günstigen und der teureren Wärme deutlich unterscheiden.
5. Zyklenzahl: Durch ein vielfaches jährliches Ein- und Auspeichern werden die Nettoeinnahmen erhöht und die anfänglichen Investitionskosten schneller amortisiert.

### **C. Abschließende Ausgestaltung**

6. Speichergröße: Aus den jährlichen Nettoeinnahmen leiten sich die maximalen Investitionskosten ab und damit sehr direkt die Speichergröße.

## **B.6 Erreichung der Programmziele**

### **Einpassung in das Programm**

Gemäß Ausschreibungsleitfaden zielt die Programmstrategie auf die Steigerung der Energieeffizienz, die Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energieträger sowie die Reduktion der Treibhausgasemissionen ab. Die vorliegende Sondierung behandelte insbesondere die Steigerung der Primärenergieeffizienz und die Reduktion der Treibhausgasemissionen. Durch die Einbindung der industriellen Abwärme und den Großwärmespeicher könnten mehr als die Hälfte des aktuellen fossilen Energieeinsatzes in der Fernwärmeversorgung im Netz der Linz AG gespart werden.

### **Beitrag zum Gesamtziel des Programms**

Durch die vorliegende Sondierung wird eine Brücke zwischen dem Fernwärmenetz Linz sowie der angesiedelten Industrie geschlagen. Diese Vernetzung mittels der Abwärmeintegration würde es erlauben, überschüssige Wärme aus den Industriebetrieben als Fernwärme im Versorgungsnetz zur Verfügung zu stellen. Die Kombination mit einem Großwärmespeicher ist dabei wesentlich, um die Diskrepanz zwischen dem Überschuss an (günstiger) Wärme im Sommer mit dem höheren Bedarf bei gleichzeitig teureren Produktionsbedingungen im Winter (siehe Wärme-Merit-Order) auszugleichen. Die Vernetzung von Industrie und Wärmeversorger kann nicht nur aus wirtschaftlicher Hinsicht für die Beteiligten einen Mehrwert bringen, sondern führt auch zu signifikanten CO<sub>2</sub>-, Brennstoff- und Primärenergieeinsparungen. Darüber hinaus konnten durchwegs positiv volkswirtschaftliche Effekte simuliert werden, insbesondere im Hinblick auf ein gesteigertes Bruttoinlandsprodukt durch vermiedene Energieimporte und einen gesteigerten Beschäftigungsgrad.

### **Einbeziehung der Zielgruppen (Gruppen, die für die Umsetzung der Ergebnisse relevant sind) und Berücksichtigung ihrer Bedürfnisse im Projekt**

Die intensive Zusammenarbeit mit verschiedensten Stakeholdern (Energieversorger/Netzbetreiber, Stadtverwaltung, Forschungsinstitute, Vertreter der Industrie) im Rahmen von Expertengesprächen und Workshops garantiert eine ganzheitliche Betrachtungsweise sowie eine transparente Informationsstruktur und -bereitstellung, um die Weiterentwicklung der städtischen Wärmeversorgung voranzutreiben und für die Industrie einen Mehrwert zu generieren.

### **Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale (Marktpotenzial, Verbreitungs- bzw. Realisierungspotenzial) für die Projektergebnisse**

Die gewonnenen Erkenntnisse bestätigen die grundsätzliche technische Umsetzbarkeit hinsichtlich der Einbindung in das Fernwärmesystem sowie die grundsätzlich gegebene wirtschaftliche Machbarkeit eines Großwärmespeichers. Um ein Demonstrationsprojekt umsetzen zu können, bedarf es jedoch weiteren technischen Entwicklungen der im Projekt angedachten Großwärmespeichertechnologie. Das im Rahmen des Projekts entwickelte Umsetzungskonzept kann auch auf die Wärmeversorgung in anderen Städten übertragen werden bzw. die Berechnungen und Aussagen für diese adaptiert werden, wobei eine spezifische Anpassung der verwendeten Parameter erfolgen müsste.

## **B.7 Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen**

### **Was sind die in dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse für das Projektteam (fachliche Einschätzung)?**

Der betriebswirtschaftlichen Bewertung ist vorauszuschicken, dass eine Realisierung des Großwärmespeichers aus technischen Gründen kurzfristig nicht möglich ist: Forschungen bezüglich der notwendigen Technologien (Materialien zur Innenauskleidung, Deckel des Speichers) sind noch erforderlich. Verfügbare Alternativlösungen, z.B. eine Auskleidung mit Stahl, wären deutlich kostenintensiver. Die aktuelle betriebswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse weist - ohne Förderungen - eine Amortisationszeit von 20 Jahren auf. Sie zeigt aber doch auf, dass ein Speicher eine realistische Option für die Weiterentwicklung des Fernwärmenetzes darstellt, insbesondere bei (aus Sicht der Speicherwirtschaftlichkeit positiven) Entwicklungen an den Energie- oder Emissionshandelsmärkten. Einschränkend ist aber auch klarzustellen, dass in der berechneten Amortisationszeit die erheblichen wirtschaftlichen Risiken keine Beachtung finden: diese umfassen Risiken hinsichtlich der Entwicklungen der Energiepreise und des Emissionshandels sowie Unsicherheiten bzgl. der erforderlichen Verfügbarkeit von günstigen Wärmequellen (z.B. Abwanderung oder Prozessumstellung der Industrie). Für eine „übliche“ Amortisationszeit von 15 Jahren leiten sich maximale, allumfassende Investitionskosten in den Großwärmespeicher von etwa 85 Mio. Euro ab.

Ausschließliche Nutzung als Saisonspeicher: Für die angeführte Wirtschaftlichkeit wird, wie oben beschrieben, von einer saisonalen Speicherung und der Nutzung zur Optimierung des Einsatzes der Heizkraftwerke und Spitzenlastkessel ausgegangen. Für das Linzer Fernwärmesystem trifft zu, dass ein Speicher, der seine Einnahmen rein aus der Verschiebung von Sommerwärme in den Winter generiert, also potenzielle Zusatznutzen wie Betriebsoptimierungen des Kraftwerksparks nicht beachtet, wirtschaftlich ineffizient ist.

Steigerung der Effizienz der Abwärmeeinspeisung: Ein Großwärmespeicher trägt zur intensiveren Nutzung der Energie aus Abwärme bei, primär indem die saisonale Speicherung erfolgt. Der geringe monetäre Wert der Abwärme im Sommer (es stehen günstige Alternativen zur Verfügung) führt allerdings dazu, dass sich im Vergleich zum Winter keine signifikanten Deckungsbeiträge ergeben.

Senkung der Netztemperaturen: Aus einer betriebswirtschaftlichen Betrachtung im Rahmen des definierten Systems und mit den heutigen Rahmenbedingungen (Förderungen, Fokus auf Endenergieeffizienz) sind die Szenarien, die eine Senkung der Netztemperaturen umfassen, betriebswirtschaftlich nicht darstellbar. Eine Senkung der Vorlauftemperatur auf die Speicherhöchsttemperatur hat keinen direkten, positiven Effekt auf die Wirtschaftlichkeit des Speichers – ist aber mit enormen Investitionskosten (Kundenanlagen, Leitungen, etc.) verbunden.

### **Wie arbeitet das Projektteam mit den erarbeiteten Ergebnissen weiter?**

Weiterführende Projekte mit Teilergebnissen (z.B. zur Rauchgas-Wärmepumpe, zur Akzeptanzhebung, etc.) können in konkretere Folgeprojekte eingebracht werden. Das im Rahmen des Projekts entwickelte Umsetzungskonzept kann auch auf die Wärmeversorgung in anderen Städten übertragen werden bzw. die Berechnungen und Aussagen für diese adaptiert werden, wobei eine spezifische Anpassung der verwendeten Parameter erfolgen müsste.

### **Für welche anderen Zielgruppen sind die Projektergebnisse relevant und interessant und wer kann damit wie weiterarbeiten?**

Auf Basis des Umsetzungskonzepts bzw. der Analyse der Multiplizierbarkeit sind neben der Forschung insbesondere KWK-Betreiber, Fernwärmenetzbetreiber und Industrien mit Abwärme Interessenten der Ergebnisse. Speicherbau-Betriebe sind insofern Interessenten, als weitere technische Entwicklungen vonnöten sind. Energieraumplaner/innen, Kommunen und Fernwärmekund/innen sind indirekte Interessenten der Ergebnisse.

## **B.8 Ausblick und Empfehlungen**

### **Empfehlungen für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten**

Dem Forschungsausblick ist vorzuschicken, dass eine Realisierung des Großwärmespeichers aus technischen Gründen kurzfristig nicht möglich ist: Forschungen bezüglich der notwendigen Technologien (Materialien zur Innenauskleidung, Deckel des Speichers) sind noch erforderlich. Hinsichtlich der nicht-technischen Hemmnisse der Abwärme sind weitere Forschungsarbeiten anzustreben. Dies betrifft vor allem die Akzeptanz, die ökonomisch-vertragliche Ausgestaltung (z.B. kurz- bzw. langfristige Sicherstellung der Wärmelieferung) zwischen industriellem Abwärmeeinspeiser und dem Fernwärmenetzbetreiber und die ökonomische Bewertung der Risiken. Allgemein gilt es, Abwärmepotenziale genauer und einheitlicher als bisher (vgl. „Wärmeatlas“) zu identifizieren und zugänglich zu machen.



## IMPRESSUM

### **Verfasser**

Energieinstitut der Johannes Kepler  
Universität Linz  
Dr. Simon Moser  
Altenbergerstraße 69, 4040 Linz  
Telefon: +43 732 2468 5658  
E-Mail: moser@energieinstitut-linz.at

### **Projekt- und Kooperationspartner**

AIT Austrian Institute of Technology (Wien)  
Linz AG (Oberösterreich)

### **Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber**

Klima- und Energiefonds  
Gumpendorfer Straße 5/22  
1060 Wien  
E-Mail: office@klimafonds.gv.at  
Web: www.klimafonds.gv.at

### **Disclaimer**

Die Autoren tragen die alleinige  
Verantwortung für den Inhalt dieses  
Berichts. Er spiegelt nicht notwendigerweise  
die Meinung des Klima- und Energiefonds  
wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch  
die Forschungsförderungsgesellschaft  
(FFG) sind für die Weiternutzung der hier  
enthaltenen Informationen verantwortlich.

### **Gestaltung des Deckblattes**

ZS communication + art GmbH