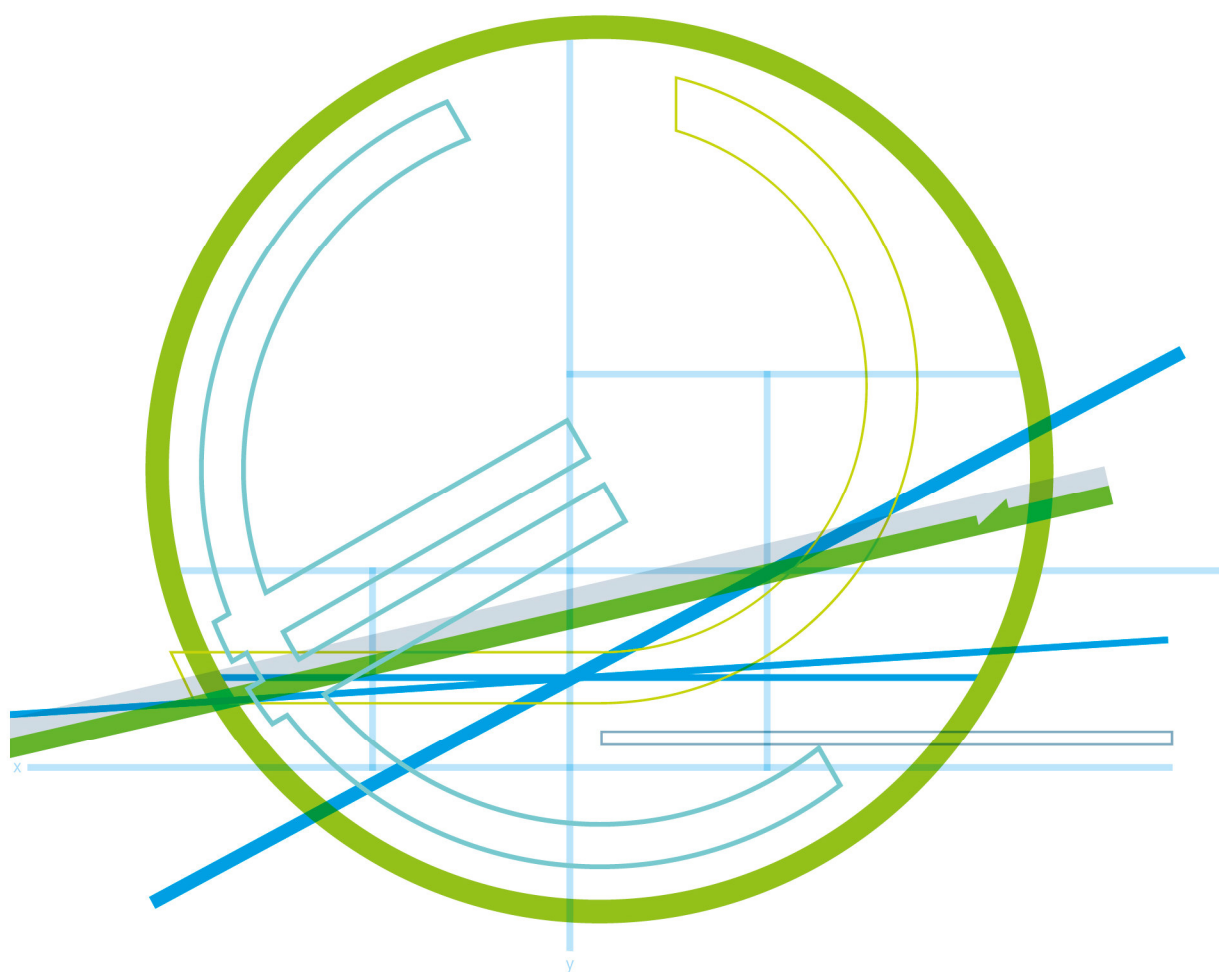


Machbarkeits-Vorstudie eines saisonalen Groß- Wärmespeichers für Linz



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 Homepage www.klimafonds.gv.at zugänglich gemacht und lädt zur kritischen Diskussion ein.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „e!Mission.at“. Mit diesem Programm verfolgt der Klima- und Energiefonds das Ziel, durch Innovationen und technischen Fortschritt den Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem voranzutreiben.

Wer die nachhaltige Zukunft mitgestalten will, ist bei uns richtig: Der Klima- und Energiefonds fördert innovative Lösungen für die Zukunft!

A stylized, handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, overlapping strokes.

Ingmar Höbarth
Geschäftsführer, Klima- und Energiefonds

A handwritten signature in black ink, featuring a large, looped 'T' and a cursive 'Vogel'.

Theresia Vogel
Geschäftsführerin, Klima- und Energiefonds

Sondierung Machbarkeits-Vorstudie eines saisonalen Groß-Wärmespeichers für Linz

Publizierbarer Endbericht

AutorInnen:

Dipl.-Ing. Christoph Muser

Dipl.-Ing. Dr.techn. Petra Drucker

O. Univ.-Prof. Dr. Wolfgang M. Samhaber

Mag. Martin Jung

Dr. Robert Spendlingwimmer

Dieses Projekt wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „ENERGY MISSION AUSTRIA“ durchgeführt.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5
1.1	Aufgabenstellung	6
1.2	Stand der Technik	8
1.2.1	(Alternative) Wärmequellen im urbanen Raum	8
1.2.2	Wärmespeichertechnologie	9
1.2.3	Wärmepumpen	13
2	Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Sondierung	16
2.1	Großwärmespeicher – Konzept für den Standort Linz	16
2.1.1	Speichertyp und Speicherbau	17
2.1.2	Apparate und Verfahrenskonzept	19
2.1.3	Mögliche Speicherstandorte in Linz	22
2.2	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	25
2.2.1	Herstellungskosten	25
2.2.2	Weitere einmalige Kosten	28
2.2.3	Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit des GWS Linz	28
3	Ausblick und Empfehlungen für die weiterführende Machbarkeitsstudie	31
3.1	Verfahrenstechnische Themen	31
3.1.1	Thermodynamik	31
3.1.2	Thermohydraulik	32
3.1.3	Apparative Ausstattung	32
3.1.4	Verfahrenskonzepte und Systemverhalten	32
3.2	Bautechnische und geotechnische Themen	33
3.2.1	Materialtechnologie	33
3.2.2	Baukonstruktionen	33
3.2.3	Geologie und Geotechnik	33
3.3	Wirtschaftlichkeitsuntersuchung	34
3.4	Gesellschaftliche Machbarkeit	34
3.5	Vorschlag eines Konsortiums	34
3.5.1	ForschungspartnerInnen	34
3.5.2	Nutzer/Betreiber – Beratungskonsortium	35
4	Literaturverzeichnis	36

1 Einleitung

Aktuelle Prognosen zur Entwicklung des Wärmebedarfs in Deutschland ergeben, dass der Bedarf an Niedertemperaturwärme (Raumwärme, Warmwasser), infolge der zunehmenden Energieeffizienzsteigerung der Abnehmer (z.B. Gebäudesanierungen) zukünftig abnehmen wird. Der verbleibende Wärmebedarf wird zunehmend durch erneuerbare Energiequellen gedeckt werden, wie bspw. in Abbildung 1 dargestellt ist.

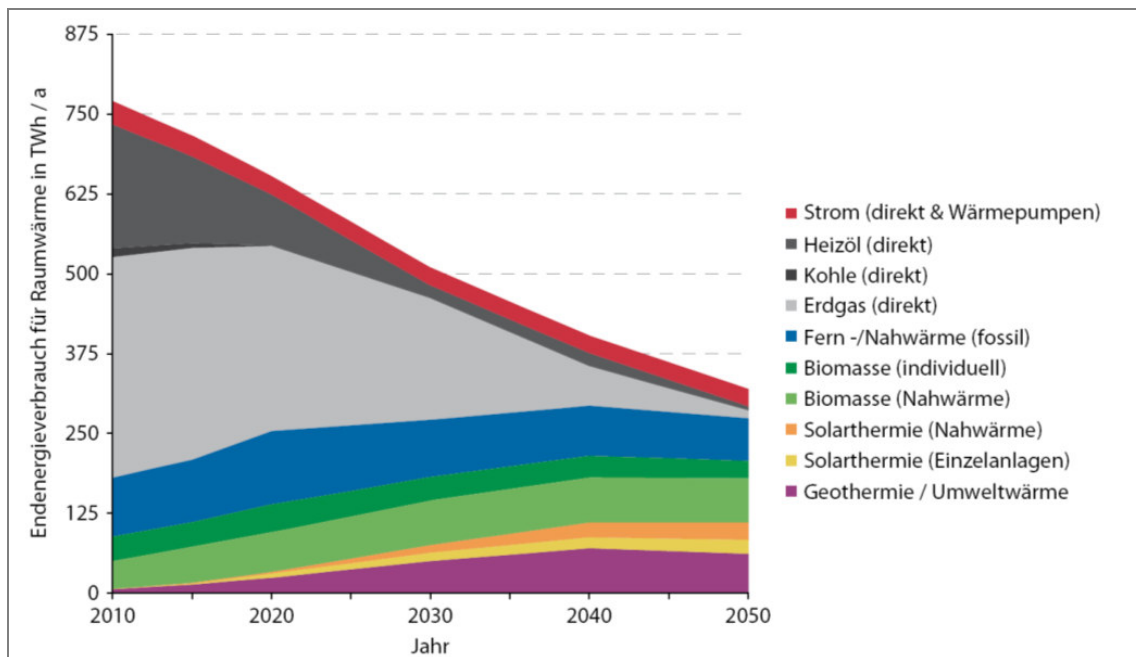


Abbildung 1: Prognose zur Entwicklung der Raumwärme 2009 – 2050 in Deutschland [1].

Trotz des zu erwartenden insgesamt abnehmenden Wärmebedarfs wird der Bedarf an Wärmespeichern, aufgrund der steigenden Nutzung erneuerbarer Energien und wärmegeführter / stromentkoppelter KWK-Anlagen, zunehmen. Gleichzeitig gewinnt die Integration des Wärmesektors über seine Kopplung und Konvergenz mit dem Stromsektor an Bedeutung. Daraus folgernd werden Wärmespeicher auch aus Sicht des Stromsektors sehr wichtig, da sie der thermischen Erzeugung im Stromsektor mehr Flexibilität verleihen. Die Speicherpotentiale für den Wärmesektor sind sehr groß und können über verschiedene Einspeichertechnologien wie z.B. GuD-KW mit angekoppelten Wärmepumpen oder Power-to-Heat erschlossen werden. [1]

In Österreich steigt der Verkauf von Nah- bzw. Fernwärme seit 1990 konsequent an, siehe Abbildung 2. Dies ist auf die stetige Verdichtung der Versorgungsnetze in den Ballungsräumen und Erschließung von Neubaugebieten zurückzuführen, sodass eine zunehmende Reduktion bestehender, dezentraler und überwiegend fossil betriebener Wärmeerzeugungsanlagen eintrat. [2]

Der österreichweite Wärmeverkaufszuwachs bis zum Jahr 2021 wird mit jährlich 1,4% prognostiziert. Damit wird die Fernwärmennachfrage weiterhin deutlich schneller wachsen als der Gesamtmarkt, gemessen an der gesamten Energienachfrage österreichischer Endkunden. [www.fernwaerme.at, abgerufen am 23.01.2015]

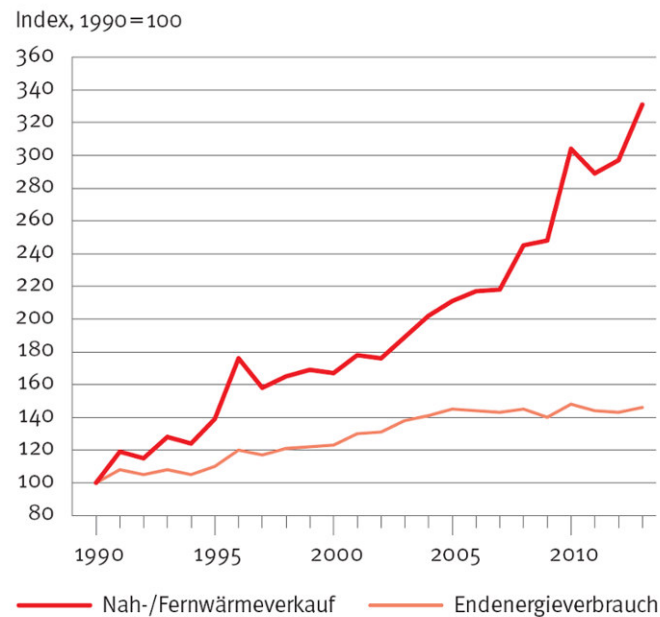


Abbildung 2: Entwicklung des Energiebedarfs der Letztverbraucher und des Wärmeverkaufs in Österreich [2].

1.1 Aufgabenstellung

Während der Sommermonate fällt im Fernwärmenetz (FWN) der Stadt Linz Überschusswärme an, die in ein Wärmereservoir eingespeichert und über die Wintermonate in das FWN zurückgeführt werden könnte. Dabei besteht aus heutiger Sicht im Projektgebiet Linz der Bedarf an einer durchschnittlichen Wärmeleistung von 40 – 50 MW, die im Temperaturbereich zwischen 90° und 100° C in das FWN eingespeist werden müsste. Darüber hinaus ist, im Hinblick auf thermische Effizienzsteigerung und CO₂-Emissionsreduzierung, eine weitergehende Nutzung von Überschusswärme aus Kraftwerken und industrieller Tätigkeit anzustreben.

In Abstimmung auf die Gegebenheiten der Stadt Linz, ihrer Wärmeversorgungseinrichtungen im Bereich des Fernwärmenetzes und den (hydro)geologischen Verhältnissen, ist ein **saisonaler Fernwärmespeicher** denkbar. Hohe Wärmeverluste und daraus folgende schlechte Wirkungsgrade von thermischen Speichern sind bislang nur durch entsprechende Wärmedämmung der Speicher zu verhindern. Die Ausgangsüberlegung des ggst. Forschungsprojekts fußt auf der Tatsache, dass mit zunehmender Größe des Speichers sein Volumen mit der dritten Potenz zunimmt, während die Oberfläche, über die die Wärmeverluste stattfinden, nur mit zweiter Potenz anwächst. Möglichst große und gedrungene Speicherformen sind daher, bei vergleichbarer Wärmedämmung, kleinen Wärmespeichern energetisch überlegen.

Drei wesentliche Randbedingungen prägen die Anforderungen an einen saisonalen Groß-Wärmespeicher und stellen somit die Ausgangsüberlegungen für das Speicherkonzept dar:

- die erforderliche energetische Speichergröße,
- die erforderliche Rückföhrtemperatur und
- die mittlere Speicherdauer von etwa einem halben Jahr.

Die für eine grundsätzliche Speicherkonzeptionierung erforderlichen Angaben über das Fernwärmenetz Linz wurden vom Kooperationspartner Linz AG zur Verfügung gestellt.

Die Sondierung „GWS Linz“ wurde im Rahmen **der 4. Ausschreibung eMISSION 2013** eingereicht und gefördert. Die Projektidee erfüllt das Programmziel 1¹⁾ in hohem Maße, da ein Groß-Wärmespeicher die Energieeffizienz der Stadt Linz deutlich steigern würde indem bislang ungenützte industrielle Abwärme einer Fernwärmenutzung zugeführt werden könnte. Weiters könnte vorhandene Überschussenergie aus (alternativen aber auch konventionellen) Stromerzeugungsanlagen, in Form von Heißwasser, „gespeichert“ werden. Ein Linzer Groß-Wärmespeicher wäre somit ein maßgebender Beitrag zur Erfüllung der energie- und klimapolitischen Vorgaben der österreichischen Bundesregierung. Darüber hinaus wird auch das Programmziel 3²⁾ erfüllt, da selbst bei einer Nicht-Realisierung eines saisonalen Groß-Wärmespeichers der Erkenntnisgewinn aus der Vormachbarkeitsstudie einen Beitrag zur Stärkung der Technologiekompetenz der Projektpartner mit sich bringt. Die kapazitive Größe des angestrebten Wärmespeichers stellt eine bisher nie dagewesene Dimension dar, aus der sich Erfordernisse für neue Konstruktionsprinzipien und technische Konzepte ergeben, was längerfristig zur Festigung, aber auch Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der beteiligten Forschungspartner führt.

Folgende **Projektziele** wurden für die Machbarkeitssondierung eines Groß-Wärmespeichers der Linz AG definiert:

1. Festlegung von systembestimmenden Rahmenbedingungen:
 - Speichertyp, Speicherdimension und davon abgeleitet Flächenbedarf
 - Bautechnische Machbarkeit der wesentlichen Konstruktionselemente
 - Auslegungsskizzen, Wärmebilanzen, Speichernutzungswerte
 - Umgebungsanforderungen an mögliche Speicherstandorte
2. Eingrenzung der sinnvollen Möglichkeiten für Errichtung und Betrieb:
 - Ideenfindung für die technischen Lösungsmöglichkeiten
 - Aufzeigen der jeweiligen Vor- und Nachteile
 - Kostenüberlegungen zu Errichtung und Betrieb
3. Konzeptvorschlag eines möglichen saisonalen Fernwärmespeicher der Stadt Linz, als Grundlage für die Durchführung einer Machbarkeitsstudie

¹⁾ Programmziel 1: Beitrag zur Erfüllung der energie-, klima- und technologiepolitischen Vorgaben der österreichischen Bundesregierung: Priorität haben technologische Entwicklungen und Maßnahmen, die maßgeblich dazu beitragen die Energieeffizienz zu steigern und den Anteil der erneuerbaren Energien am Energiemix zu erhöhen.

²⁾ Programmziel 3: Aufbau und Absicherung der Technologieführerschaft bzw. Stärkung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Unternehmen und Forschungsinstitute auf dem Gebiet innovativer Energietechnologien. Durch die Stärkung der Technologiekompetenz und Wettbewerbsfähigkeit wird der Wirtschafts- und Innovationsstandort Österreich gestärkt und es ergeben sich neue Möglichkeiten, die internationale Klimaschutzpolitik Österreichs zu unterstützen.

In vorliegendem Endbericht der Sondierung sind die wesentlichen Projektergebnisse der Arbeitspakete „Thermodynamik, Energie- und Verfahrenstechnik“ (AP 1), „Bautechnik, Geotechnik“ (AP 2) und „Geologie, Hydrogeologie, Ökologie, Raumplanung“ (AP 3) zusammengestellt.

1.2 Stand der Technik

1.2.1 (Alternative) Wärmequellen im urbanen Raum

Wie der Abbildung 3 zu entnehmen ist, erfolgt die heutige Wärmeerzeugung in Österreich zur Hälfte mittels Einsatz von fossilen Brennstoffen (hauptsächlich Erdgas), gefolgt von Müllverbrennung und biogenen Brennstoffen (z.B. Hackschnitzel). Die zukünftige Entwicklung der Fernwärmeerzeugung in Österreich ist jedoch ungewiss: Der dramatische Wandel auf den internationalen Energiemärkten hat dazu geführt, dass vor allem die gasbefeuelten KWK-Anlagen nicht mehr rentabel betrieben werden können. [2]

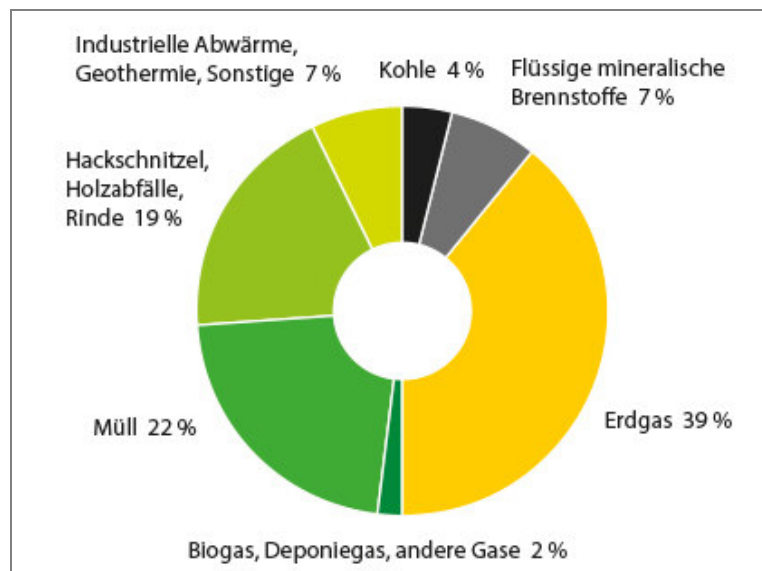


Abbildung 3: Brennstoffeinsatz für Wärmeerzeugung in Österreich (2013). [Quelle: <http://www.fernwaerme.at> abgerufen 23.1.2015]

Als denkbare Alternative zu den herkömmlichen Fernwärme-Quellen kommt die Nutzung von urbaner Abwärme in Betracht, siehe Abbildung 4. Die „klassischen“ Wärmequellen, welche im urbanen Raum zur Verfügung stehen und bislang größtenteils ungenutzt bleiben, sind grundsätzlich bekannt:

- Oberflächengewässer
- Grundwasser
- industrielle Prozess- und Abwärme
- Abwasser / Kanalisation
- Tunnel und Einhausungen
- Geothermie mittels aktivierten Tiefgründungselementen und Sonden
- Außen- und Abluft
- Fernwärme: Rücklauf und Kalte Fernwärme

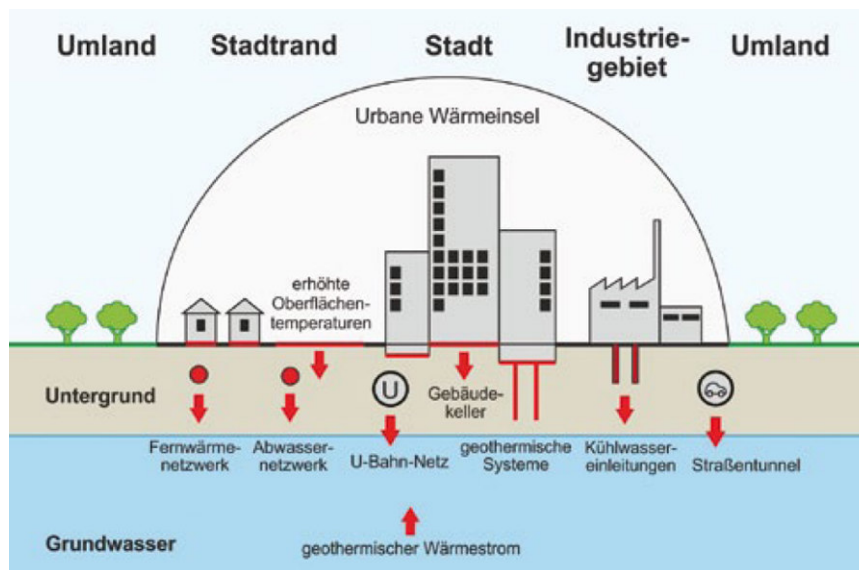


Abbildung 4: Potentielle natürliche und anthropogene Wärmequellen in urbanen Gebieten [Quelle: http://www.agw.kit.edu/downloads/Ingenieurgeologie/www.klima-umwelt.kit.edu_downloads_KIT_Newsletter_6-13.pdf, abgerufen 11.03.2015]

Für die effizienten Wärmenutzung dieser Wärmequellen sind jedoch Wärmespeicher erforderlich, damit aus der Vielzahl dezentral vorliegender, vergleichsweise „kleiner“ Wärmequellen, eine maßgebliche Wärmemenge gewonnen werden kann, die zum richtigen Zeitpunkt für das Fernwärmenetz der Stadt zur Verfügung steht.

Die Vorteile einer saisonalen Wärmespeicherung für die Erschließung sommerlicher Überschusswärme (z.B. Sonneneinstrahlung, Abwärme von KWK-Anlagen) als Wärmequellen für die winterliche Wärmeversorgung in bestehenden Wärmenetzen sind einfach nachvollziehbar. Für die Zukunft werden, aufgrund des erwarteten Anstiegs der Brennstoffpreise und des Fortschritts in der Speichertechnologie, größere Langzeitspeicher zunehmend interessant. [7], [8]

1.2.2 Wärmespeichertechnologie

Thermische Energie (Wärme und Kälte) kann prinzipiell sensibel, latent oder thermochemisch gespeichert werden. Sensible Wärmespeicher verändern beim Laden und Entladen ihre fühlbare Temperatur („sentire“ lat. „fühlen“). Bei Latent-Wärmespeichern ändert sich die Temperatur nicht maßgeblich, jedoch ändert sich der Aggregatzustand des Speichermediums und die Wärme wird latent (verborgen) gespeichert. Thermochemische Speicher speichern die thermische Energie durch endotherme (Energie aufnehmende) bzw. exotherme (Energie abgebende) Reaktionen. [5]

Stand der Technik für die Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser sind **sensible Wärmespeicher**, die auch als kapazitive oder konvektive Speicher bezeichnet werden. Da die Betriebstemperaturen überwiegend kleiner als 100°C sind, bietet sich hierbei als **Speichermedium Wasser** an, da es folgende (positive) Eigenschaften hat (nach [1]):

- fast überall in großen Mengen verfügbar,
- kostengünstig,
- leicht zu transportieren,
- umweltverträglich, da nicht toxisch, nicht aggressiv, nicht brennbar, nicht explosiv;

- einfach zu handhaben (große Erfahrung im Umgang mit Wasser, die Technologie wird gut beherrscht);
- hohe spezifische Wärmekapazität (4,219 – 4,185 kJ/(kg K), siehe auch Tabelle 1);
- geringe Wärmeleitfähigkeit (0,562 – 0,560 W/(m K)), dies erschwert den Wärmeaustausch zwischen heißem und kaltem Wasser → Speicherschichtung: direktes Abzapfen von warmem Wasser aus oberem Speicherbereich ohne zusätzliches Aufheizen möglich;
- fünf unterschiedliche Dichten bei verschiedenen Temperaturen → Schichtung möglich;
- relativ niedrige Viskosität ($1,792 - 1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$);
- sehr gutes Wärmetransportmedium und erlaubt dadurch hohe Be- und Entladeleistungen;
- sehr gute Lösungsmittleigenschaften;
- Bei der Brauchwassererwärmung ist Wasser nicht nur Wärmeträger- und Wärmespeichermedium, sondern auch das benötigte Medium.

Der **Energieinhalt** eines thermischen Speichers steigt direkt proportional mit seinem Volumen an:

$$Q = \rho \cdot c_p \cdot V \cdot \Delta T$$

mit:	Q [kJ]	... gespeicherte thermische Energie
	ρ [kg/m ³]	... Dichte des Speichermediums
	c_p [kJ/(kgK)]	... spezifische Wärmekapazität des Speichermediums
	V [m ³]	... Volumen des Speichermediums
	ΔT [K]	... Temperaturdifferenz des Speichermediums

Tabelle 1: Vergleich der spezifischen Wärmekapazitäten c_p verschiedener Medien

	Medium	c_p [kJ/(gK)]
Flüssigkeiten bei 20° C	Wasser	4,18
	Methanol	2,43
Festkörper 0 – 100° C	Beton	0,88
	Granit	0,84
	Eisen	0,46

Wesentlicher Nachteil von sensiblen thermischen Speichern sind die thermischen Verluste und daraus folgende, schlechte Wirkungsgrade (und die deshalb erforderliche Wärmedämmung). Die **Energieverluste** durch Abwärme sind u.a. stark von der Hüllfläche des Speichers bestimmt:

$$\dot{q}_T = U \cdot \Delta T \cdot \frac{A}{V}$$

mit:	$\dot{q}_T$ [W/m ²]	... Transmissionswärmeverlust bezogen auf die Behälterhüllfläche bei gegebener Temperaturdifferenz
	U [W/m ² K ⁻¹]	... Wärmedurchgangskoeffizient der Behälterwand
	A/V [m ⁻¹]	... Oberfläche-Volumen-Verhältnis des Behälters
	ΔT [K]	... Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenseite der Behälterwand

Während also der Energiegehalt (das Speichervolumen) eines thermischen Speichers mit der 3. Potenz der Speicherausdehnung wächst, nehmen die Energieverluste bei sensiblen Speichern nur mit der 2.

Potenz der Speicherabmessungen zu. **Der prozentuale Langzeit-Wärmeverlust nimmt somit mit zunehmender Größe des Speichers ab.** Anders gesprochen, erfordern größere sensible Wärmespeicher geringere Wärmedämmung als kleinere, bei gleichbleibenden Wärmeverlusten.

Für die Speicherung sensibler Wärme im Speichermedium Wasser sind vier prinzipielle **Bauformen** bekannt, welche auch miteinander kombiniert werden können (siehe im Detail z.B. [1], [9], [10], [11]):

- Tankspeicher (auch als Druckspeicher möglich)
- Erdbeckenspeicher (auch mit Kies-Bodengemisch als Speichermedium; in Fels auch als Kavernenspeicher möglich)
- Erdsondenspeicher (in Festgestein als Enklavenspeicher bezeichnet)
- Aquiferspeicher (natürliche und künstlich stimulierte Grundwasserleiter möglich)

Sowohl Erdsonden- als auch Aquiferspeicher bedingen jedoch sehr spezifische geologische und hydro-geologische Anforderungen an die Untergrundverhältnisse, was die Standortsuche für diese Bauformen maßgeblich erschwert.

Als **Beispiele für Wärmespeicher mit sehr großem Speichervolumen** sind zu nennen (siehe dazu weiter in [6], [7], [10] sowie ³⁾⁴⁾):

- Lyckebo (SE), 1982 (Felskaverne, 100.000 m³)
- Friedrichshafen (D), 1996 (Ortbetonbehälter 12.000 m³)
- Neckarsulm (D), ab 1997 (Erdsonden-Speicher, Speichervolumen ges. 63.360 m³)
- Rostock (D), 2000 (Aquifer-Speicher 20.000 m³)
- München (D), 2007 (Ortbetonbehälter 5.700 m³ Speichervolumen)
- Crailsheim (D), 2007 (Erdsonden-Speicher Speichervolumen 37.500 m³)
- Marstal (DK), 2012 (Erdbeckenspeicher, 75.000 m³)
- Berliner Reichstag (D) (Aquifer-Speicher) ⁵⁾
- Timelkam (A), 2009 (Stahltank, 20.000 m³)
- Salzburg Nord (A), 2011 (Stahltank, 29.000 m³)
- Linz Mitte (A), 2004 (Stahltank, 35.000 m³)
- Theiß bei Krems (A), 2008 (Stahltank 50.000 m³)
- Wien Simmering (A), 2014 (Stahltank, 11.000 m³, 6 – 10 bar)
- Vojens (DK), drzt. in Bau (Erdbeckenspeicher, geplant: 203.000 m³)
- Gram (DK), drzt. in Bau (Erdbeckenspeicher, geplant 110.000 m³) ⁶⁾

³⁾ http://www.aee.at/aee/index.php?option=com_content&view=article&id=309&Itemid=113 (abgefragt 17.04.2014)

⁴⁾ <http://www.saisonalspeicher.de/Default.aspx> (abgerufen am 05.06.2013)

⁵⁾ <http://www.bine.info/publikationen/publikation/aquiferspeicher-fuer-das-reichstagsgebaeude/> (abgefragt 13.01.2015)

⁶⁾ www.gseworld.com (abgefragt 16.01.2014)

Die **Energieeinspeisung und -entnahme** kann bei sensiblen thermischen Speichern entweder direkt, durch Zugabe bzw. Entnahme von heißem Speichermedium, oder indirekt, mit Hilfe von Wärmeaustauschern, erfolgen.

Unter **Stratifikation** wird die Aufrechterhaltung der Temperaturschichtung im Speichermedium verstanden, was mittels sog. Schichtbeladeeinrichtungen und durch eine sorgfältige Speicherbewirtschaftung erreicht werden kann. Gute Stratifikation verringert die Exergieverluste des Speichers, damit bleibt die Qualität der thermischen Energie, manifestiert durch die thermodynamische Temperatur, erhalten. Nach [10] ist dadurch eine Effizienzsteigerung des Wärmespeichers um bis zu 5-10% möglich.

Für die **Abdichtung** von großen Saisonal-Wasserwärmespeichern kommen bereits heute Kunststoffhalbzeuge (sogenannte Liner) zum Einsatz. Stand der Technik bei Kunststofflinern ist derzeit eine Langzeitbeständigkeit (mehr als 20 Jahre), bei Temperaturen von 60°C bis 85°C. Im gegenständlichen Projekt liegen die Anforderungen mit einem Betriebstemperaturfenster zwischen 80°C bis zu 100°C nochmals deutlich höher.

Was die Temperaturbeständigkeit von **Beton** betrifft, so ist bekannt, dass es ab etwa 100°C durch hydrothermische Reaktionen zum Verlust des chemisch und physikalisch gebundenen Wassers kommt. Untersuchungen zur Speicherauskleidung mit Beton im Heißwasserbereich wurden bis dato nur vereinzelt (z.B. *Prof. Hans-Wolf Reinhardt, Prof. Müller Steinhagen*, Universität Stuttgart bzw. Dichtheit von Heißwasser-Langzeitspeichern aus Hochleistungsbeton, *Jooß, M.*, Dissertationen Stuttgart 2001) mit Hochleistungsbeton oder einer Edelstahlblechauskleidung durchgeführt.

Selbstverständlich kommen grundsätzlich auch andere Speichermedien als Wasser infrage bzw. auch praktisch zum Einsatz: **Feststoffwärmespeicher** (z.B. Energiebunker Hamburg⁷⁾, Felsenklavenspeicher, generell: Gebäudebauteile) weisen jedoch hohe Energieverluste auf und ergeben daher eine vergleichsweise geringe Wärmeausbeute. **Fluidspeicher** mit Thermoölen oder Flüssigsalzen sind bislang nur mit kleinen Volumina realisierbar, da die eingesetzten Speichermedien noch sehr teuer sind [10].

Durch Wärmespeicherung wird eine zeitliche Entkopplung von Wärmeerzeugung und Wärmeverbrauch erzielt. Nach der Speicherdauer werden **Kurzzeit-Wärmespeicher** (Pufferspeicher) und **Langzeitspeicher** unterschieden. Letztere werden theoretisch über den Verlauf eines Jahres jeweils einmalig be- und wieder entladen und werden daher auch als saisonale Speicher bezeichnet. Während Kurzzeitspeicher bereits als Großserienprodukt bei solar unterstützten Heizungsanlagen gelten, ist die Zahl der bislang realisierten Langzeitspeicher überschaubar [7].

Nach der Situierung des Speichers im jeweiligen Energiesystem wird zwischen **zentralen** und **dezentralen** Speichern unterschieden.

⁷⁾ <http://www.baulinks.de/webplugin/2014/0999.php4> (abgefragt 16.6.2014)

1.2.3 Wärmepumpen

Eine Wärmepumpe ist eine Einrichtung, die einen Wärmestrom bei niedriger Temperatur aufnimmt (kalte Seite) und unter Aufwand hochwertiger Energie bei höherer Temperatur wieder abgibt (warme Seite).

Es können folgende Arten von Wärmepumpen unterschieden werden:

- Kompressionswärmepumpen
- Absorptionswärmepumpen
- Gas-Klimageräte
- Brüdenverdichter

Die **Wärmequelle** ist ein essentieller Bestandteil einer Wärmepumpenanlage, siehe auch Abbildung 5. Im Gegensatz zu konventionellen Heizungssystemen wird durch die Erschließung einer Wärmequelle regenerative Wärme nutzbar gemacht. Diese Erschließung resultiert in den meisten Fällen in zusätzlichen Investitionen bei der Anschaffung, dafür steht aber die Umweltwärme beim Betrieb der Anlage kostenlos zur Verfügung bzw. im Fall der Abwärmenutzung entfallen bzw. verringern sich die Kosten der „Wärmeentsorgung“. [3]

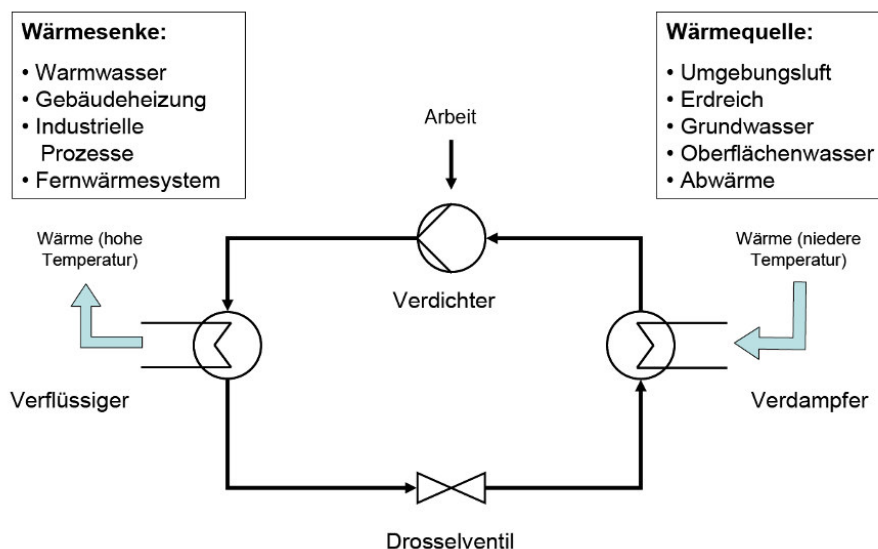


Abbildung 5: Funktionsschema einer Kompressionswärmepumpe [3]

Die **Funktionsweise** von Wärmepumpen und Kälteanlagen wird z.B. in [4] wie folgt beschrieben: „Im Inneren eines geschlossenen Kreislafs der Anlage zirkuliert ein Arbeitsmittel, das einer Wärmequelle im Verdampfer (Wärmetauscher) Wärme entzieht, wodurch dieses vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand übergeht. Das Arbeitsmittel gelangt dann in einen meist von einem Elektromotor angetriebenen Kompressor (Verdichter), in dem der Druck erhöht wird. Zugleich erhöht sich die Temperatur so weit, dass die der Wärmequelle entzogene Wärme im so genannten Verflüssiger abgegeben werden kann. Durch diese Wärmeabgabe wird das Arbeitsmittel wieder flüssig. Im Expansionsventil wird es auf geringeren Druck entspannt. Dadurch sinkt der Siedepunkt und das Arbeitsmittel kann beim neuerlichen Verdampfen wieder Wärme aufnehmen.“

Um die Wirtschaftlichkeit einer Wärmepumpe beurteilen zu können, wird, wie auch bei anderen Energiesystemen, das Verhältnis von nutzbarem Wärmestrom zu aufgewendeter Energie gebildet.

Bei elektrisch betriebenen Wärmepumpen spricht man von der so genannten **Leistungszahl ε** beziehungsweise von dem **COP-Wert** (coefficient of performance). Die beiden Größen unterscheiden sich dahingehend, dass bei dem COP-Wert nach DIN EN 255 nicht nur die Leistungsaufnahme des Kompressors in die Berechnung der Leistungsaufnahme der Wärmepumpe eingeht, sondern auch die möglichen Hilfsenergien wie zum Beispiel die Leistungsaufnahme der Wärmequellen- und Heizkreispumpen und der Regelung. Somit berechnen sich diese Werte nach folgenden Gleichungen:

$$\varepsilon = \frac{Q_{ab}}{P_{zu,verd}}$$

mit:

$$COP = \frac{Q_{ab}}{P_{zu,verd} + P_{zu,hilf}}$$

Q_{ab} [W] ... abgegebene Heizwärmeleistung am Kondensator
 $P_{zu,verd}$ [W] ... Leistungsaufnahme des Verdichters
 $P_{zu,hilf}$ [W] ... benötigte Hilfsenergie

Überschlägig kann die Leistungszahl einer Wärmepumpe auch folgendermaßen berechnet werden:

$$\varepsilon = 0,5 \cdot \frac{T}{T - T_0} = 0,5 \cdot \frac{\Delta T + T_0}{\Delta T} \quad (\text{mit } \Delta T = T - T_0)$$

mit:

T [K] ... absolute Temperatur der Wärmesenke

T_0 [K] ... absolute Temperatur der Wärmequelle

ΔT ... Differenz zwischen absoluter Wärmesenken- und Wärmequellentemperatur

Daraus wird ersichtlich, dass eine Wärmepumpe umso wirtschaftlicher betrieben werden kann, je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenke und je größer die Temperatur der Wärmequelle ist. Zum Beispiel bedeutet eine Leistungszahl von 3, dass aus zwei Teilen Umweltenergie und einem Teil Antriebsenergie drei Teile Heizwärme bereitgestellt werden.

Da die Leistungszahl aber nur eine Momentaufnahme bei speziell definierten Bedingungen darstellt, der Betrieb aber Schwankungen unterliegt, wie zum Beispiel eine veränderliche Quelltemperatur, verwendet man zur gemittelten Bewertung der Wärmepumpe über ein Jahr die **Jahresarbeitszahl β** (engl. seasonal performance factor).

$$\beta = \frac{\text{abgegebene Heizwärme pro Jahr } Q_{ab}}{\text{aufgenommene Antriebsenergie pro Jahr } W_{zu}}$$

Eine Wärmepumpe kann umso wirtschaftlicher betrieben werden, je kleiner die Temperaturdifferenz zwischen Wärmequelle und Wärmesenken ist und je größer die Temperatur der Wärmequelle ist. Reicht die Quelltemperatur aus, um die benötigte Wärmemenge zur Verfügung zu stellen, spricht man von einem monovalenten Betrieb. Wird eine zusätzliche Wärmequelle benötigt, z.B. ein Kessel, spricht man von einem bivalenten Betrieb. [1]

Stand der Technik bei Wärmepumpen ist heute eine Leistung von bis zu $1.500 \text{ kW}_{\text{th}}$, mit möglichen COP-Werten ≥ 3 . Das erreichbare Temperaturniveau kommerziell verfügbarer, einstufiger industrieller Wärmepumpen liegt bei ca. 65° C bis 75° C , im zweistufigen Betrieb sind ca. 80° C erreichbar. Es existieren auch bereits Anlagen (Sonderanfertigungen) die in der Lage sind, bis ca. 90° C zu produzieren, bei einer thermischen Leistung von ca. $300 \text{ kW}_{\text{th}}$. Hinsichtlich des realisierbaren Temperaturniveaus von Wärmepumpen sind neue Kältemittel in der Entwicklung, die zukünftig Temperaturen von ca. 90° bis über 100° C realistisch erscheinen lassen.

Bei der Integration einer Wärmepumpe kommt auch der Planung und Auslegung der notwendigen Wärmeaustauscher eine große Bedeutung zu. Diese müssen dazu geeignet sein, mit dem Abwärmemedium (in der Regel Kühlwasser) wartungs- und verschleißarm betrieben zu werden und gleichzeitig sollten die auftretenden Übertragungsverluste minimiert werden können. [3]

Vor allem in der Schweiz ist die Nutzung von Abwärme aus Abwasser bereits sehr weit verbreitet und die Anlagen werden mit großem Erfolg betrieben. Weiters werden Wärmepumpen für Fernwärme- bzw. -kältenetze seit Jahren erfolgreich in Frankreich und in Skandinavien eingesetzt. Diese Anlagen stellen mehrere Megawatt an Nutzenergie z. B. aus Meerwasser zur Verfügung. Als Best-Practice-Beispiel wird gerne die Fernwärmeversorgung von Oslo angeführt, bei der mittels zweier Großwärmepumpen Rohabwasser als Wärmequelle genutzt wird (Wärmeleistung: $18,4 / 9,2 \text{ MW}_{\text{th}}$, elektrische Leistungsaufnahme: $6,6 / 3,2 \text{ MW}_{\text{el}}$ $\rightarrow \text{COP} = 2,8$ bis $2,9$; Abwasser-Eingangstemperatur: $9,6^\circ \text{ C}$, Ausgangstemperatur $5,5^\circ \text{ C}$; Heizkreislauf Wärmepumpe-Vorlauf 80° C , Rücklauf 60° C) [3].

2 Ergebnisse und Schlussfolgerungen der Sondierung

2.1 Großwärmespeicher – Konzept für den Standort Linz

Auf Basis der von Linz AG angegebenen, produzierten bzw. gelieferten Wärmemengen aus dem Jahr 2012 ergibt sich als Ergebnis der Sondierung das in Abbildung 6 dargestellte, mögliche Fernwärmekonzept mit Integration eines Großwärmespeichers. Es zeigt sich, dass die Betriebsstunden der bestehenden (mit fossilen Brennstoffen betriebenen) Fernheizkraftwerke deutlich reduziert werden können, indem die kontinuierlich übers Jahr anfallende Abwärme der Stadt (Abwasser, Grundwasser) mittels Wärmepumpen in den Speicher eingebracht und somit genutzt wird. Erste Abschätzungen ergeben eine dadurch mögliche CO₂-Reduktion für die Fernwärmeproduktion von 70% gegenüber dem Ist-Zustand.

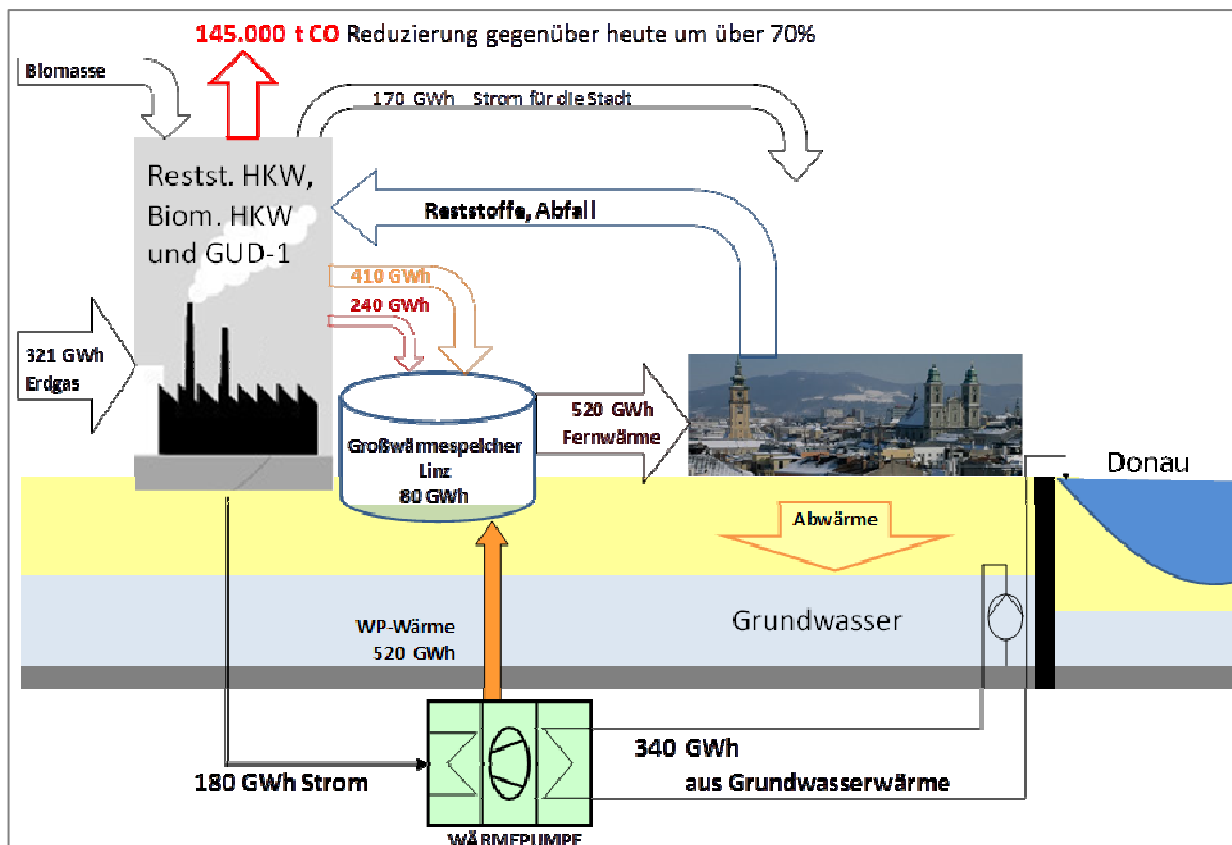


Abbildung 6: Fernwärmekonzept mit Integration eines 80 GWh-Speichers am Beispiel Linz (Werte auf Basis der Angaben von Linz AG aus dem Jahr 2012).

Das innovative Fernwärmekonzept sieht die Implementierung eines Großwärmespeichers vor, der – in Abhängigkeit von den vorhandenen Nachladekapazitäten – eine Speicherkapazität von 80 GWh erfordert. Dies entspricht einem Speicherbauwerk mit einem **Fassungsvolumen von rd. 2 Millionen Kubikmeter, 100°C heißem Wasser**. Diese Größe und die erforderlichen, hohen Temperaturen im Speicherinneren werfen ganz spezifische bautechnische und thermodynamische Fragestellungen auf.

Die Eingangsbedingungen für den Großwärmespeicher sind:

1. In Linz erfolgt die Fernwärmeerzeugung derzeit durch die Fernheizkraftwerke Linz Süd, Linz Mitte und Dornach sowie dem Biomasse- und dem Reststoffmassekraftwerk.
2. Es existiert ein Spitzenspeicher mit 35.000 m³
3. Die Vorlauftemperaturen schwanken, saisonal bedingt, zwischen 80°C und maximal 100°C, während die Rücklauftemperaturen im Bereich von 50°C bis 65°C liegen.

Qualitative Betrachtung von Chancen, Nutzung und Risiken

A) Welche Einsparungen gegenüber dem derzeit laufenden FW-Betrieb sind zu erwarten bzw. welche Chancen sind mit diesem Projekt zu sehen?

- Reduktion von fossilen Brennstoffen
- Verkauf von Emissionszertifikaten
- Reduzierung des Kraftwerksbetriebes

B) Welche Vorteile sind damit verbunden?

- Stromproduktion, wenn der Betrieb der WP nicht erforderlich ist
- Strom kann im Sommer produziert werden, wenn immer ein Mangel vorhanden ist
- Unabhängigkeit von Brennstoffeinkäufen von extern

C) Was passiert bei Nichtstun bzw. welche Entwicklungen sind in den kommenden Jahren absehbar?

- Gaspreise werden in den nächsten Jahren steigen
- CO₂-Emissionszertifikate werden im Kurs steigen
- Energieproduzenten müssen die Abwärme nutzen und fossile Brennstoffe reduzieren
- Ausgleichzahlungen von 20 Cent/kWh produzierter Energie

D) Was sind Risiken die mit diesem Projekt verbunden sind?

- Speichergröße und thermische Eigenschaften
- Umsetzung der Wärmequellen und getroffenen Annahmen
- Langfristige Speicherung von Heizwasser in dieser Größenordnung

2.1.1 Speichertyp und Speicherbau

Die bautechnischen Überlegungen im Zuge der durchgeführten Sondierung ergaben zwar in zahlreichen Detailfragen noch Forschungsbedarf (siehe weiter unten, Kapitel 3.2), die Frage nach der grundsätzlichen Machbarkeit eines Speicherbauwerks der gegenständlichen Dimension ist jedoch klar positiv zu beantworten.

Aus der Zusammenfassung der wesentlichen Vor- und Nachteile der untersuchten, möglichen Bauformen eines Großwärmespeichers in Tabelle 2 ergibt sich eine klare Präferenz der sog. kombinierten Bauform, bestehend aus einem unterirdischen Bauteil (Erdbecken oder Schacht) und einem oberirdischen Bauteil.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Vor- und Nachteile aller untersuchten GWS-Bauformen

Thema	Bewertung			
	zylindrische Tankspeicheranlage	Bauwerksspeicher (Stahlbeton)	Erdbeckenspeicher	kombinierte Bauform
Stand der Technik	+	–	+	+
Wärmeverluste	–	+	+	+
Nebenbauwerke	–	+	+	+
Flächenbedarf	+	+	–	+
Bauzeit	+	+	–	+
Kosten	–	–	+	+

In der Abbildung 7 werden die wesentlichen bautechnischen Randbedingungen eines 2 Mio. m² Großwärmespeichers in kombinierter Bauform, unter Berücksichtigung der geologisch-geotechnischen Standortfaktoren für den Raum Linz, gegenübergestellt.

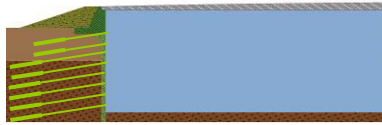
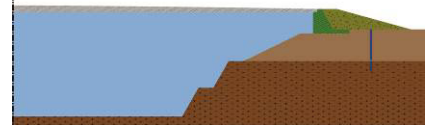
Bauart	kombinierte Bauform	
	Bauwerksspeicher eingegraben	Erdbecken mit Stützmauer
Schemaskizze		
mind. erforderliche Grundstücksgröße	50.100 m ² = 5 ha + Nachbarschaftsrechte für Anker	95.800 m ² = 9,6 ha
Wandfläche erdberührend	80.000 m ²	78.500 m ²
Fläche Schwimmdeckel	200 x 200 m = 40.000 m ²	250 x 250 m = 62.500 m ²
rechnerischer Wärme-verlust ($U = 0,1 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \text{K}^{-1}$)	8,41 GWh	9,88 GWh
Volumen Erdaushub	1.680.000 m ³	1.375.000 m ³
mittlere Baukosten	€ 70 Mio.	€ 50 Mio.

Abbildung 7: Maßgebende bautechnische Randbedingungen für einen Linzer Großwärmespeicher in Kombinationsbauform (Speicherkubatur 2 Mio. m³, Wasserspiegelhöhe über Gelände: 10 m).

Als Ergebnis der Vorstudie wird empfohlen, für die weiterführenden (Machbarkeits-) Untersuchungen die sog. Kombinationsbauform weiter zu verfolgen. Es sind zwei Möglichkeiten für die Ausführung des unterirdischen Bauteils (Schacht oder Erdbecken) vorhanden, welche jeweils über spezifische Vor- und Nachteile verfügen. In Abhängigkeit von den standortbezogenen Rahmenbedingungen (nicht nur Platzbedarf und Untergrundverhältnisse, sondern auch z.B. rechtliche, Nachbarschafts- und Umweltaspekte zu berücksichtigen) kann erst durch eine vertieften Machbarkeitsuntersuchung die Entscheidung für/gegen eine der beiden Varianten erarbeitet werden.

2.1.2 Apparate und Verfahrenskonzept

Für diese Vorstudie wird als Basisgröße ein 80 GWh-Speicher gewählt. Damit kann Wärme aus den RHKW und BHKW zu fast 80% genutzt werden, was eine Verdoppelung gegenüber heute bedeuten würde.

Nachfolgend sind die Dimensionen skizziert für einen Speicher, in dem 80 GWh Wärmeenergie gespeichert und wieder entnommen werden kann. Speichermedium ist Wasser, das Wasser-Volumen über 1,8 Mio. m³. Das Volumen errechnet sich dabei aus den vorgegebenen Vor- und Rücklauf-temperaturen mit der zu speichernden Wärmeenergie.

Speicherkapazität	80 GWh
Temperatur unten	60 °C
Temperatur oben	98 °C
c_p = Spez.Wärmekapazität	4,2 MJ/m ³ K
Speichervolumen	1.804.511 m ³
Höhe des Speichers	50 m
Durchmesser des Speichers	214 m

In Abbildung 8 ist schematisch und vereinfacht die KW-Konzeption mit den Wärmepumpen und den Wärmeleistungen gezeigt. Bestehend sind BHKW und RHKW und der Spitzenspeicher. Betrachtet werden in dieser Vorstudie der Großwärmespeicher mit den beiden Großwärmepumpen, die sich in dem grün umrandeten Feld befinden.

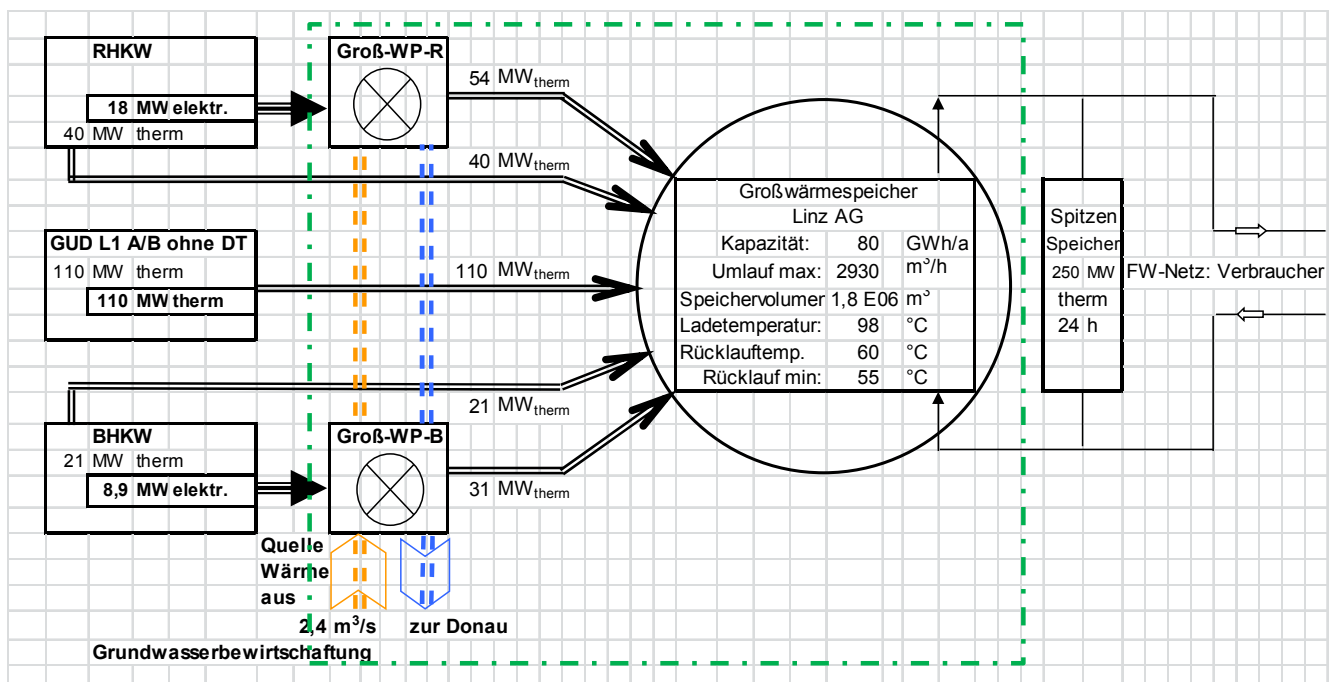


Abbildung 8: Grundfließbild mit schematischer Konzeption der Fernwärmeerzeugung in Kombination mit Speicher und Wärmepumpen.

In Abbildung 9 ist ein einfaches Verfahrensfliessbild für das RHKW mit angekoppelter Wärmepumpe und den Massen- und Energieströmen zu sehen. Die thermische Leistung des RHKW mit angekoppelter Wärmepumpe, die mit der im KWK-Betrieb erzeugten elektrischen Energie angetrieben wird, wäre $94 \text{ MW}_{\text{thermisch}}$.

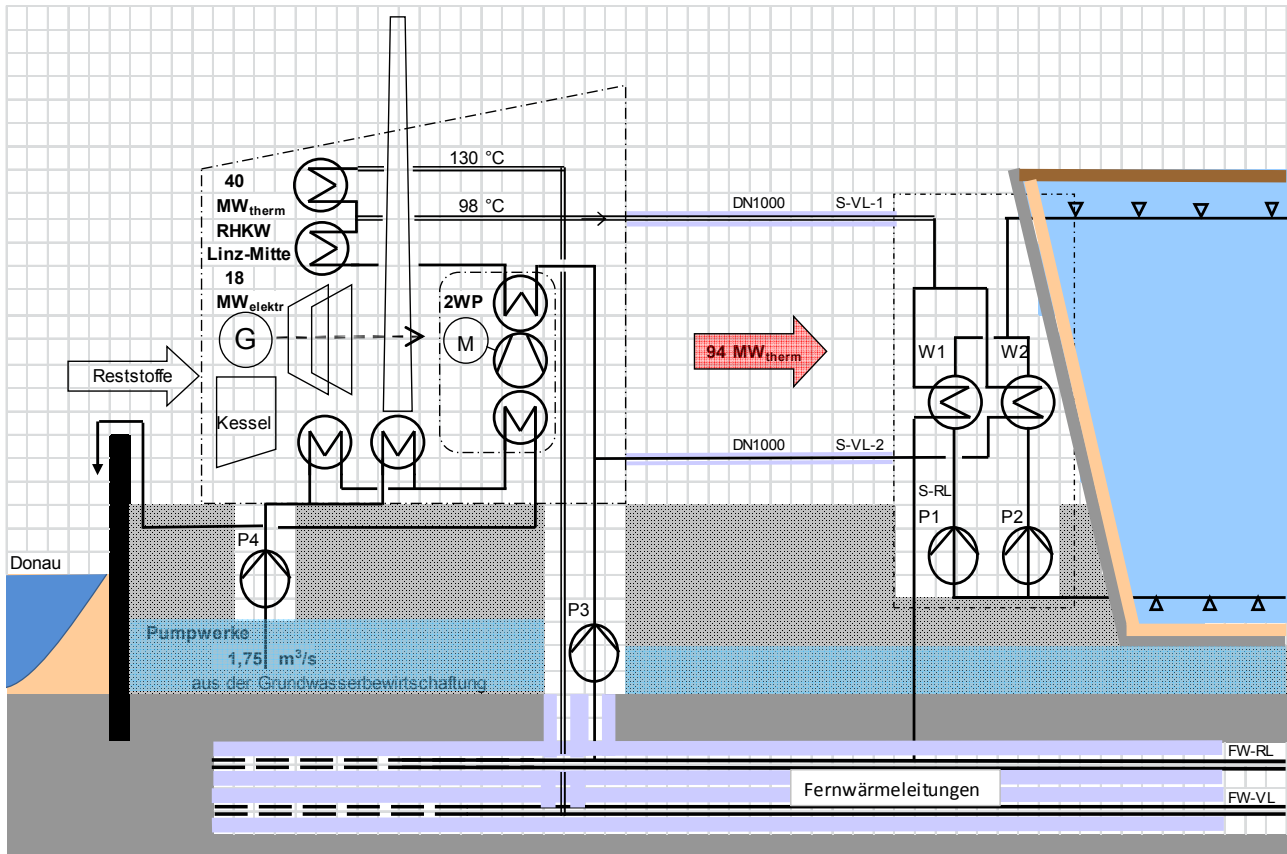


Abbildung 9: Reststoffheizkraftwerk mit angekoppelten Wärmepumpen und angeschlossenem Speicher.

In Abbildung 10 ist das analoge Verfahrensfliessbild für das BHKW mit wiederum angeschlossener Wärmepumpe zu sehen.

Zusammen liefern das BHKW und das RHKW mit angeschlossenen Wärmepumpen unter der Annahme eines COPs von 3 zusammen $142 \text{ MW}_{\text{thermisch}}$, was als Grundlast für die Wärmeversorgung und Speicherung der Überschussenergie im Wärmespeicher zu verwenden wäre. Derzeit liegt der Beitrag zur Wärmeenergieaufbringung für die FW der LAG auf Basis regenerierbarer Brennstoffe bei 40%.

Gehen wir davon aus, dass Biomasse- und Reststoff-HKW im KWK Betrieb gefahren wurden, so müssten in diesem Fall die übrigen $650 \text{ GWh}_{\text{thermisch}}$ mit Erdgas produziert werden. Diese Zahlen sind aus Jahresmittelwerten berechnet und die thermischen Leistungen, die über die Sommermonate anfallen, wurden bei dieser Rechnung mit einbezogen, was natürlich nicht korrekt ist, da derzeit noch keine Möglichkeit besteht, Wärmemengen, die über den Sommer anfallende Wärme für die Wintermonate zu speichern bzw. zu bevorraten.

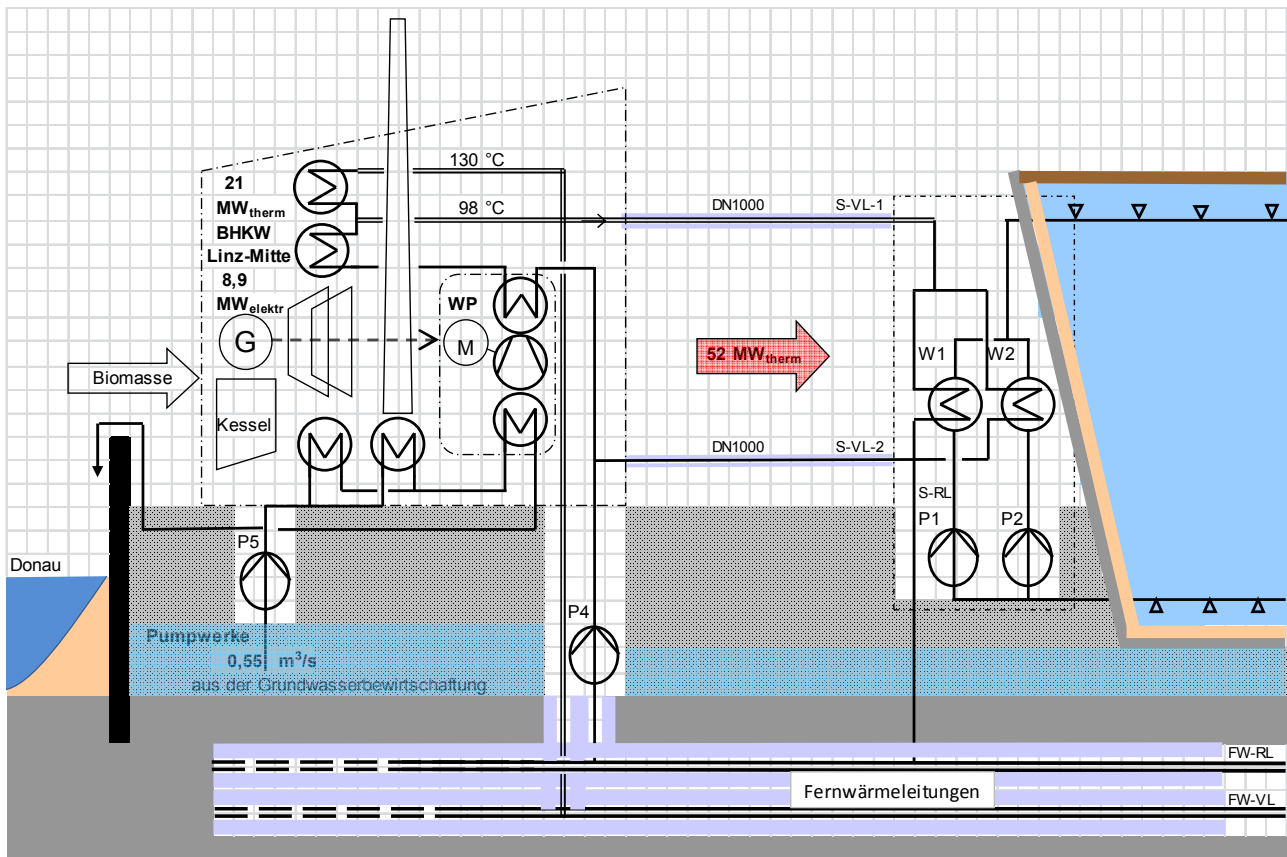


Abbildung 10: Biomasseheizkraftwerk mit angekoppelten Wärmepumpen und angeschlossenem Speicher.

Die **Wärmepumpen** sind aufgrund der größeren Anzahl von Schnittstellen mit dem jeweiligen Kraftwerk unmittelbar im Kraftwerksbereich einzurichten. Die elektrische Leistung des Kraftwerkes wird an die Wärmepumpen weitergegeben. Die Regelung der Wärmepumpe erfolgt über die vorgegeben Temperatur-Sollwerte die auf die Förderpumpen des Wasserstroms der Wärmequelle und ebenso auf jener des Wasserstroms für die Fernwärmebeheizung bzw. für die Speicherladung wirkt. Der Großwärmespeicher wird auf eine Temperatur von 98°C beheizt. Die Fernwärmeverlauftemperatur beträgt im Winterbetrieb 130°C und im Sommerbetrieb 100°C. Die Anhebung der Vorlauftemperatur zur Fernwärmeversorgung im Winter wird über den Überhitzer der Kraftwerke erreicht.

Der Speicher ist mit zwei Vorlaufleitung und einer Rücklaufleitung mit dem Kraftwerk Linz-Mitte verbunden. Diese Leitungen sind mit einem Nenndurchmesser von 1 m (DN 1000) vorgesehen, um Strömungsgeschwindigkeiten bei den Lade- und Entladeprozessen von unter 2 m/s sicher zu stellen. Die Pumpen 1 und 2 sind die Wärme-Lade- und Entladepumpen. Das Speicherwasser ist über die Wärmeübertrager W1 und W2 vom Fernwärmenetzwasser getrennt. Damit sind nicht die hohen Anforderungen des Fernwärmenetzwassers auf das Wasserspeichervolumen von 2 Mio. m³ zu übertragen. Als Speicherwasser kann somit ein durch Filtration aufbereitetes Grund- oder Flusswasser verwendet werden, so wie dieses üblicherweise als Fabrikwasser für Kühlzwecke eingesetzt wird.

Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen in einem groben Verfahrensfliessbild die apparative Ausrüstungen und Ergänzungen für den Betrieb der Wärmepumpen in Verbindung mit dem Großwärmespeicher.

Für den Monat Februar zeigt sich die höchste Wärmeentnahmeleistung in einer Größe von ca. 250 MW. Für die maximale Wärmebelastung des Speichers ergeben sich auf Basis der Daten von 2012 Leistungen bis zu 180 MW, die bei der Speicherladung im Spätherbst gegen Ende Oktober berechnen lassen und die erforderlich sind, damit gegen Jahresende ein vollständig aufgeladener Speicher für die extremen Kälteperioden im Januar und Februar verfügbar ist.

In Abbildung 11 ist eine Ansicht einer Wärmepumpe mit einer Wärmeleistung von knapp 22 MW zu sehen. Die Abmessungen dieser Großwärmepumpe betragen 12,8 m Länge, 8,1 m Breite und 6,2 m Höhe. Diese Wärmepumpen haben wir für die Gestaltung des Verfahrens beispielhaft verwendet, da diese Pumpe bereits seit einigen Jahren in Norwegen, Schweden und Finnland erfolgreich in Fernwärmeanwendungen betrieben wird. Die WP wird in der Schweiz von der Firma Friotherm angeboten und hat eine Lieferzeit von Bestellung bis zur Inbetriebnahme von 18 Monaten.

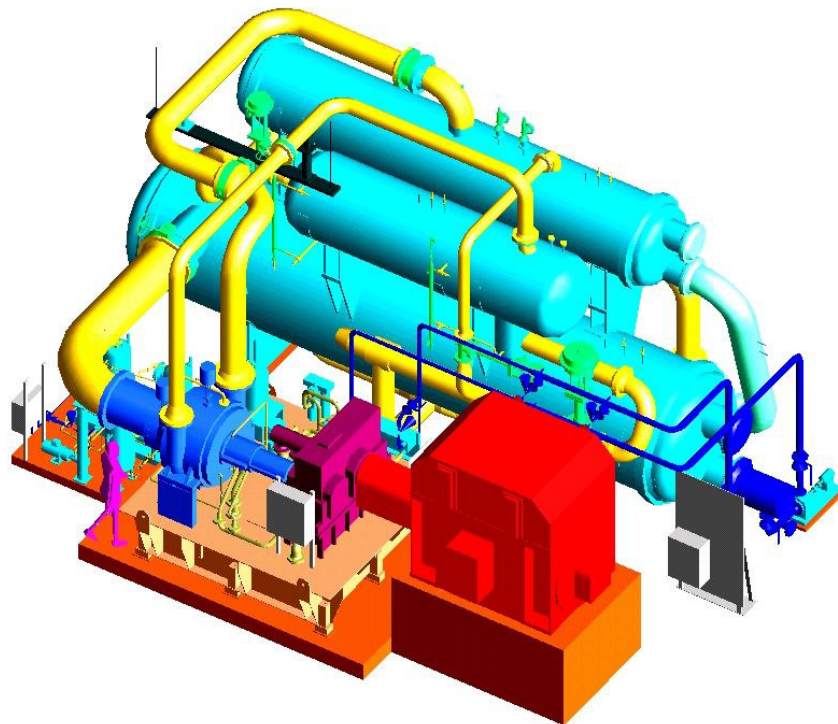


Abbildung 11: Wärmepumpeneinheit (WP) Friotherm Unitop Typ 50FY.

2.1.3 Mögliche Speicherstandorte in Linz

Aufgrund der Vorauswahl und den detaillierten Standortbeschreibungen konnten die einzelnen Standorte in einer Standort-Matrix nach den maßgeblichen Standortkriterien und den dazu definierten Bewertungsschlüssel gewichtet und auch gereiht werden. Für die maßgeblichen Standortkriterien (7 Themengruppen mit 26 Einzelkriterien) wurde ein darauf abgestimmter Bewertungsschlüssel erstellt. Während der Bewertungsschlüssel für die meisten Kriterien im besten Fall mit maximal 6 Punkten in die Bewertung eingeht, wurde das ökonomisch sehr wichtige Kriterium der zentralen Netzanbindung (Nähe zum Fernheizwerk Linz Mitte) mit einer höheren Gewichtung berücksichtigt (max. Punktzahl 14).

Bewertungsschlüssel:

- Flächenverfügbarkeit: 1 = verbaut; 6 = unverbaut;
- Anrainer-Konfliktpotential: 1 = keine Anrainer; 2 = einzelne Anrainer; 3 = geringe Anzahl;
... 6 = hohe Anzahl von Anrainern
- Netzanbindung / Zuleitungslänge zum FHW Mitte: 1 = >10 km; 14 = <50m
- Raumordnung-Schutzflächen: 1 = innerhalb; 6 = weit außerhalb
- Hydrogeologie:
 - Grundwasserführung: 1 = sehr starke GW-Führung; 6 = keine bis geringe GW-Führung
 - Art der GW-Führung: 1 = gespannte GW (>Q); 6 = freies GW (<Q)
 - Wasserrechte: 1 = zahlreiche Wasserrechte im Umfeld;
6 = keine Wasserrechte im Umfeld
 - Wasserhaltung: 1 = schwierige Bedingungen; 6 = problemlose Wasserhaltung
- Geologie – Geotechnik:
 - Bohraufschlusssdaten: 1 = keine Bohraufschlüsse vorhanden, geringe Informationsdichte;
6 = tiefreichende Bohraufschlüsse am Standort vorhanden
 - Untergrundstabilität: 1 = hohes Risiko; 6 = kein Risiko
 - Untergrundhomogenität: 1 = sehr homogener Boden; 6 = sehr inhomogener Bodenaufbau;
 - Rutschgefährdung: 1 = hohe Rutschgefährdung; 6 = geringe Rutschgefährdung
 - Grundbruchgefährdung: 1 = hohe Grundbruchgefährdung; 6 = keine Grundbruchgefährdung
 - Setzungsrisiko: 1 = kein Setzungsrisiko; 6 = hohes Setzungsrisiko
 - Seismizität: 1 = erhöhte Seismizität, 6 = kein seismisches Risiko
- Errichtungstechnische Aspekte:
 - Massenausgleich: 1 = kein Massenausgleich möglich;
6 = Massenausgleich vor Ort möglich

Aufgrund der klaren Punkte-Reihung konnten folgende vier Standorte mit einer überdurchschnittlich hohen Bewertung (höchste Punkteanzahl) für die weitere Standortauswahl herausgefiltert werden.

1. **Forst Schiltenberg** (138 Punkte)
2. **Petrinum** (127 Punkte)
3. **Fischdorf** (113 Punkte)
4. **Prinz-Eugen-Str. – FHW Mitte – Cineplex** (107 Punkte)

Der Standort Forst Schiltenberg (Nr. 9) erweist sich aus vielen Gründen als gute Standortmöglichkeit. Einziger Nachteil dieses Standortes ist die etwas periphere Lage, die deshalb eine deutlich weitere Zu- und Ableitungslänge erfordert.

Der Standort Petrinum (Nr. 20) wäre aus geologisch-hydrogeologischer Sicht wegen des kristallinen Untergrundes zweifellos als günstiger Standort zu klassifizieren. Der erhebliche Nachteil dieses Standortes ergibt sich aus der Lage im Siedlungsumfeld bzw. im Naherholungsbereich der nördlichen Stadtgebiete am Pöstlingberg.

Der Standort Prinz-Eugen-Str.-FHW Mitte–Cineplex (Nr. 1) wäre aufgrund der Nähe zum bestehenden Fernheizwerk Linz Mitte einbindungstechnisch als Standort äußerst gut geeignet, die geologisch-hydrogeologische Eignung ist aber vorerst sehr fraglich, da an diesem Standort noch abzuklären sein wird, ob hier im Untergrund die Linzer Sande einer Errichtung eines GWS entgegenstehen.

Um diese Vor- und Nachteile der Standorte zu präzisieren sind vertiefende Untersuchungen erforderlich. Bewilligungstechnisch ist bei einem Bauvorhaben diese Größenordnung in jedem Fall ein Umweltverträglichkeitsprüfungsverfahren (UVP-Verfahren) notwendig. Dabei werden alle umweltrelevanten Faktoren und die einzelnen Schutzgüter (Boden, Wasser, Luft, Lärm, etc.) einer eingehenden Analyse und gutachterlichen Prüfung unterworfen.

Die widmungstechnischen Aspekte sind in einem amtlichen Verfahren abzuklären. Vorgespräche darüber wurden bereits mit den zuständigen Verantwortlichen der Stadt Linz, dem Direktor für Stadtentwicklung, Herrn Direktor DI Gunter Amesberger geführt. Danach sind für ein derartiges Projekt in jedem Fall Sondergebietswidmungen erforderlich, die durch entsprechende Sachverständigen-Gutachten zu untermauern sind.

Hinsichtlich der Betriebsgenehmigungen wurde seitens des Anlagen- und Bauamtes ein IPPC-Anlage-Verfahren gefordert.

Zuständigkeiten:

Stadtentwicklung:

4041 Linz, Hauptstr. 1-5 (Leitung: Direktor DI Gunter Amesberger MAS, MSc)

Anlagen- U. Bauamt:

4041 Linz, Hauptstr. 1-5 (Leitung: Mag.Karl Ludwig)

2.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

2.2.1 Herstellungskosten

2.2.1.1 Baukosten

Die Schätzung der Baukosten eines 2 Mio. m³-Speichers in den beschriebenen Bauformen erfolgte auf Basis der drei sondierten, maßgeblichen geologischen Standortmodelle in Linz. Die Angaben werden getrennt nach den Anteilen angegeben für:

- Baustelleneinrichtung
- Aushub- und Erdarbeiten
- Spezialtiefbauarbeiten
- Beton- und Stahlbetonbau
- Speicherauskleidung (Wärmedämmung, Abdichtung) und Schwimmdeckel bzw. Stahlbau (einschließlich Wärmedämmung)

Für die abgeschätzten Baukosten im Rahmen der vorliegenden Sondierung ergeben sich, unter Berücksichtigung der geplanten allseitigen Wärmedämmung, für die unterschiedlichen Bauformen die Vergleichszahlen gemäß Abbildung 12.

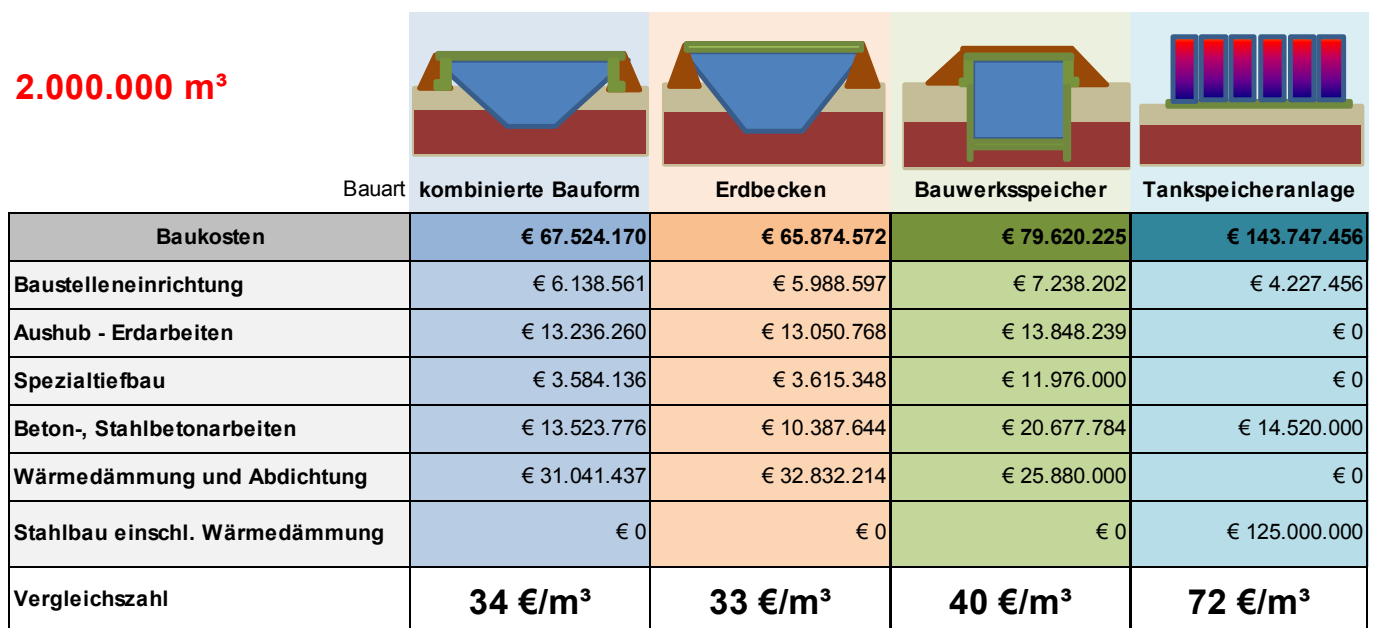


Abbildung 12: Ergebnisse der Kostenschätzung für die Errichtung eines Großwärmespeichers in Linz (Speichervolumen 2 Mio. m³) in Abhängigkeit von der Bauform.

Wie auch Abbildung 13 darstellt, ist die Tankspeichieranlage mit Abstand die teuerste Bauform, während sich die geschätzten Baukosten der anderen untersuchten Bauformen in einem Bereich zwischen rd. 68 Mio. € und 80 Mio. € bewegen.

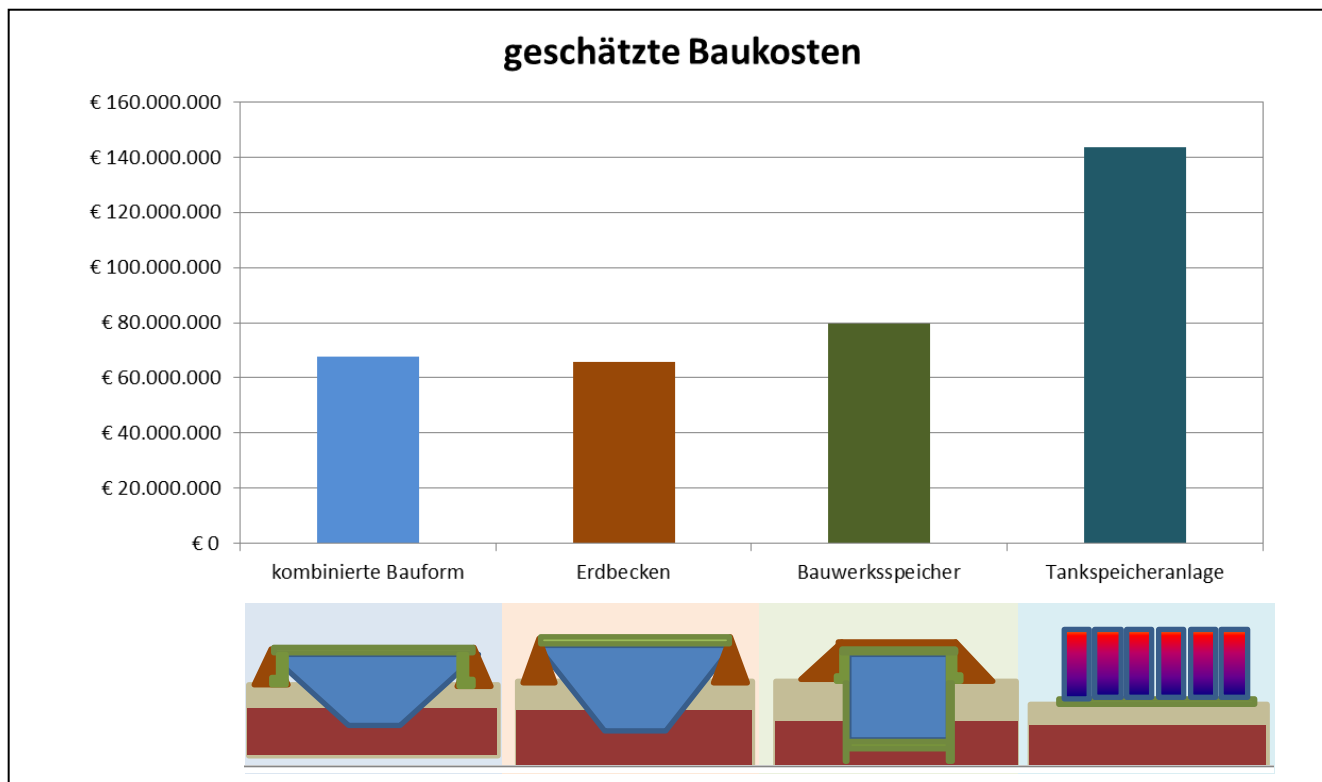


Abbildung 13: Gegenüberstellung der geschätzten Baukosten für die Errichtung eines 2 Mio. m³-Speichers in Abhängigkeit von der Bauform.

Die auf das Speichervolumen bezogenen Kosten für die Errichtung des 203.000 m³ großen Erdbeckenspeichers in Vojens (DK) werden mit 23,5 €/m³ angegeben, exklusive Kosten für Pumpengebäude⁸⁾.

Damit eine Vergleichbarkeit der geschätzten Kosten für den Linzer Großwärmespeicher mit dem Erdbeckenspeicher in Vojens (keine Wärmedämmung) möglich ist, werden die Schätzkosten der Wärmedämmung für den projektgegenständlichen GWS gleich Null gesetzt. Dadurch ergeben sich folgende Vergleichszahlen für die reinen Rohbauarbeiten (inkl. Abdichtung):

- kombinierte Bauform (ohne Wärmedämmung) → 18 €/m³
- Erdbeckenspeicher (ohne Wärmedämmung) → 17 €/m³
- Stahlbeton-Bauwerksspeicher (ohne Wärmedämmung) → 27 €/m³

Der Erdbeckenspeicher und die kombinierte Bauform des GWS Linz werden demnach gegenüber dem Wärmespeicher in Vojens deutlich kostengünstiger eingeschätzt. Dies lässt sich durch den Größenfaktor erklären (die Kosten pro Kubikmeter Speichervolumen nehmen mit Steigendem Volumen ab). Der Stahlbeton-Bauwerksspeicher liegt hingegen deutlich teurer als eine Erdbeckenausbildung.

⁸⁾ http://www.aktivregion-shs.de/fileadmin/download/Entwicklungsstrategie_2014/Waermewende/Waermewende-Info_15_Vojens_end.pdf (abgerufen 26.03.2015)

2.2.1.2 Kosten der maschinellen Ausrüstung

Das Ziel eines Wärmespeichers ist, wie schon weiter oben herausgestellt, darin zu sehen, verfügbare Wärmeenergie während des Jahres einzusammeln und diese in den Wintermonaten für die Fernwärmebetrieb abzugeben, um den fossilen Brennstoffbedarf für die Wärmeproduktion zu reduzieren. Im besten Fall sollte also mit einem Speicher genügend Wärme für die Wintermonate bevorratet werden, um in der Zeit mit wesentlich höherem FW-Bedarf zusammen mit der vorhandenen Überschusswärme ohne jeden fossilen Zusatzbrennstoffe auszukommen. Die Überschusswärme kann dafür aus Anlagen kommen, die Hochenthalpiewärme ungenutzt im Sommer oder auch teilweise im Winter auskoppeln müssen. Ebenso können aber auch Niedrigenthalpiewärmequellen genutzt werden, die dann mittels Wärmepumpen die Wärmeströme auf das erforderliche Temperaturniveau zur Aufladung des Speichers bzw. zur Lieferung in die Fernwärmenetze anheben lassen.

Gehen wir davon aus, dass ungenutzte Wärmequellen bei niedrigen Temperaturen, so wie sie z.B. in öffentliche Gewässer abgegeben werden, keine direkten Kosten verursachen, sondern nur jene Kosten zu tragen sind, die eben bei ihrer Nutzung aus den Anlagen- und über die Betriebskosten entstehen. Im Rahmen dieser Wirtschaftlichkeitsstudie sind hierin nun ausschließlich Kosten eingeschlossen, die die apparative Ausstattung und den Betrieb betreffen. Die Wärmeenergie aus den Grundwässern wird kostenneutral behandelt und es werden nur jene Kosten berücksichtigt, die für die Gewinnung der Wärme für die Speicherladung und die Fernwärmeaufbringung erforderlich sind. Grundwasser im Raume der Stadt Linz muss zur Aufrechterhaltung des Grundwasserspiegels über die entlang der Donau errichteten Dichtwände gepumpt werden. Das Wasser, das mittels der Pumpwerke zur Grundwasserhaltung abgezogen wird, wird in diesem Verfahrenskonzept als Wärmequelle genutzt und dazu über Wärmeübertrager geführt, die über Wärmepumpen die Wärme für Fernwärme oder Speicherung gewinnen lassen.

In Tabelle 3 sind gemäß der Grund- und Verfahrensfliessbilder die Kosten für die dafür erforderlichen Speicherinnenverrohrung, Lade- und Entnahmepumpen, Wärmepumpen, Apparate, Montagen, Installationen, Feldgeräte, PLS-Erweiterungen und anderes mehr geschätzt und aufgelistet. Gesamthaft ergibt sich dabei ein Kostenbetrag von € 55 Mio. Die Kostengenauigkeit kann hierbei mit $\pm 30\%$ angegeben werden, womit sich die Kosten für die verfahrenstechnischen Einrichtungen im Bereich zwischen € 40 Mio und € 70 Mio belaufen werden.

Tabelle 3: Kostenschätzung für Apparate, Einrichtungen, Montage und Installation

Pos.	Zahl	Investment Anlagen	Einzelpreis €	Positionspreis €
1	4	Wärmepumpe Friotherm	5.980.000	23.920.000
2	4	Montage WP Friotherm	280.000	1.120.000
3	6	Groß-WÜT-20 MW-RHKW	230.000	1.380.000
4	8	SPY-KSB 5000 m3/h	50.000	400.000
5	4	km Grundwasserleitungen	500.000	2.000.000
6	10	km FW-Leitungen	1.000.000	10.000.000
7	20	Armaturen, Ventile	30.000	600.000
8	1	Speicher-Innenverrohrung	2.500.000	2.500.000
9	1	PLS, Feldgeräte und Ergänzungen.	1.500.000	1.500.000
10	1	Elektro, FU's,	2.000.000	2.000.000
11	1	Erstfüllung und Beheizung	1.400.000	1.400.000
12	1	Projekterichtung, Behörden, Gutachten	2.000.000	2.000.000
13	1	Betriebslabor, Ersatzteile	800.000	800.000
14	1	Unvorhersehbares 10%	5.000.000	5.000.000
				54.620.000

2.2.2 Weitere einmalige Kosten

Die Gesamtinvestitionskosten setzen sich aus den Speicherkosten und Apparatekosten (gemäß Abschnitt 2.2.1.2) zusammen. Zusätzlich zu den in Abschnitt 2.2.1.1 behandelten Baukosten für den GWS, werden im Rahmen der Herstellungskosten noch einmalige Kosten für die erstmalige Speicherbefüllung bzw. die erstmalige Aufheizung des Speicherinhalts von **€ 3,0 Mio** abgeschätzt. Diese fallen unabhängig vom Standort und von der Bauform des Speichers an und wurden in der nachfolgend behandelten Tabelle 4 bei den Investitionskosten („Kosten Speicher“ = Baukosten + einmalige Kosten für die Befüllung) berücksichtigt.

Allfällige Kosten für einen Grundstücksankauf am Speicherstandort wurden in der gegenständlichen Kostenschätzung nicht berücksichtigt.

2.2.3 Zusammenfassung der Wirtschaftlichkeit des GWS Linz

Die laufenden Betriebskosten setzen sich aus der erforderlichen Betriebsenergie, den Personalkosten und den Wartungs- und Instandhaltungskosten zusammen (siehe Tabelle 4).

In Tabelle 4 ist eine Betriebskostenkalkulation dargestellt, die die Wärmeherstellungskosten (Einstandspreis für die Fernwärme) im Vergleich mit der Situation wie sie bei der heutigen Fernwärmeaufbringung besteht zeigt. Wird Erdgas, das heute für die Erzeugung der Fernwärme über die vorhandene Grundlastwärme hinaus erforderlich ist, reduziert, so weist dies ein relativ großes Einsparungspotenzial auf. Aufgrund der Daten wiederum vom Jahr 2012 wären dies 920 GWh, die für die Fernwärme mit fossilen Brennstoffen (Erdgas) eingesetzt wurden. Berechnen wir den Erdgasbedarf, der mit einem 80 GWh Großwärmespeicher noch erforderlich ist, so erhält man einen Bedarf von 321 GWh Erdgas. Gehen wir hier von einem Gaspreis von 25 €/MWh (Industriepreiserhebung Gas Juli 2014: E-Control) aus, so würde eine 65% Reduktion des Erdgasverbrauches für die Fernwärmeproduktion eine Einsparung von ca. 15 Mio € erbringen. Diese Einsparung in dieser Größenordnung zeigt sich als

starkes Argument für eine sehr zweckmäßige Realisierung. Mit einer derartigen Maßnahme resultieren dazu noch Vorteile mit der einhergehenden bedeutenden CO₂-Emissionsreduktion und nicht zu übersehen ist auch dabei die Möglichkeit, eine weitgehende Unabhängigkeit der Stadt Linz von Erdgas zu erreichen.

Neben dem reinen Einsparungseffekt an Erdgas lässt sich eine CO₂-Emissionsreduzierung für die Stadt Linz erzielen und nicht zuletzt ist auch dieser Umstand energiepolitisch in einer Stadt wie Linz bedeutungsvoll. Anstatt fossile Brennstoffe für die Aufbringung der Fernwärme einzusetzen wird mit diesem Verfahrenskonzept Wärmeenergie aus Abwärmequellen der Stadt zurück zu gewonnen.

Zwei Drittel des heutigen Erdgasverbrauches könnten so mit einem Großwärmespeicher eingespart werden. Die damit erzielbare CO₂-Emissionsreduzierung beläuft sich dabei auf über 270.000 t CO₂/Jahr. Ein weiterer Kostenbeitrag würde sich aus dem Erlöse aus dem Handel mit Emissions-Zertifikaten noch ergeben. Der Kurs liegt heute bei USD \$ 7,00, was hier einen Erlös von 1,8 Mio € erbringen würde (bei USD/EUR = 1).

Die kalkulatorische Abschreibung für Speicher und Apparatetechnik wurde mit € 9,33 Mio veranschlagt. Die potentiellen Einsparungen und Erlöse belaufen sich auf knapp € 20 Mio, die Betriebskosten auf ca. € 3 Mio bei einer Investition von € 150 Mio, woraus sich ein **Payback von ca. 9 Jahren** ergeben würde.

Nicht enthalten in den Betriebskosten sind die Kosten für das BHKW und das RHKW. Sollen diese mitbetrachtet werden, müssten ebenso die Erlöse aus der Fernwärme mit einbezogen werden, die anteilig auch für den Betrieb der beiden KW heute verwendet werden.

Die Gesamtsicht zu dieser Kalkulation lässt die Opportunität klar erkennen, ein solches Projekt aufgrund seiner Wirtschaftlichkeit und seiner ökologischen Wertigkeit unmittelbar für eine weitere Bearbeitung vorzusehen. Bei diesen Größenordnung ist jeder Monat, den man durch Warten auf weitere Argumente verbringt, ein verlorene Zeit, betrachtet man – neben den sich bietenden Einsparungen – das hohe Reduktionspotenzial an fossilen Brennstoffen sowie seine umweltpolitische Tragweite für die Stadt Linz. Das Projekt beinhaltet nicht nur hohes Einsparungspotenzial für nicht erneuerbare Rohstoffe sondern auch einen ebenso hohen Vorbildcharakter für viele andere Städte mit ähnlichen Herausforderungen.

Tabelle 4: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung inkl. Kapitaldienst und Abschreibungen

Grundlagen:			
Kosten Gas	25 €/MWh	25.000 €/GWh	
CO ₂ Reduktion	450 t CO ₂ /GWh		
Kosten CO ₂ Zertifikat	7 €/t CO ₂		
Kapitalkosten	3%		
Energiekosten	0,14 €/kWh		
EINSPARUNG ENERGIE	ohne Speicher	mit Speicher	
erforderliche Wärmemenge für FW aus fossilen Brennstoffen	690 GWh	241 GWh	
Wirkungsgrad 75 % ergibt folgende fossile Energiemenge zur Produktion der Wärme	920 GWh	321 GWh	
Kosten für Gas zur Erzeugung der fossilen Energiemenge pro Jahr	€ 23.000.000	€ 8.033.333	
Reduktion in Prozent		65%	
Einsparungen pro Jahr		14.966.667 €/a	14.966.667 €/a
EINSPARUNG KRAFTWERKS BETRIEB			3.000.000 €/a
EINSPARUNGEN CO₂	Enegiemenge	t CO ₂	
Einsparung pro Jahr	599 GWh/a	269.400 t CO ₂ /a	
eingesparte Kosten pro Jahr	1.885.800 €/a		1.885.800 €/a
INVESTITIONSKOSTEN	Kosten Speicher	Kosten Apparate	
	€ 95.000.000	€ 54.620.000	
Gesamtkosten Herstellung	€ 149.620.000		
30 Jahre Abschreibungsdauer	3.166.667 €/a		
15 Jahre Abschreibungsdauer		3.641.333 €/a	
Abschreibung + Zins / Mo	-€ 400.523,83	-€ 377.195,69	
Abschreibung + Zins / Jahr	-4.806.286 €/a	-4.526.348 €/a	-9.332.634 €/a
BETRIEBSKOSTEN			
Betriebsenergie / Pumpenbetrieb	700 kW	8.760 h	-840.084 €/a
Personalkosten	6 MM		-480.000 €/a
Wartung Instandhaltung	1%	von Herstellkosten	-1.496.200 €/a
GESAMTEINSPARUNGEN GEGENÜBER HEUTE PRO JAHR			7.703.548 €/a
AMORTISATIONSZEIT	in Jahren		8,8 a

3 Ausblick und Empfehlungen für die weiterführende Machbarkeitsstudie

Sämtliche bisher umgesetzten Fernwärme-Speicherbauwerke unterscheiden sich im Wesentlichen in ihrer Größe und z.T. auch in ihrem Temperaturniveau von der ggst. Projektidee. Es existieren daher bislang keine praktischen oder theoretischen Erfahrungen über Errichtung bzw. Betrieb eines Heißwasserspeichers der genannten Größenordnung. Aus diesem Grund ist die Machbarkeit des Großwärmespeichers, hinsichtlich seiner **technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftlichen bzw. ökologischen Machbarkeit** vertiefend zu untersuchen. Die genannten Machbarkeitsaspekte stehen auch untereinander in Abhängigkeit, was in nachfolgender Abbildung 14 skizziert ist.

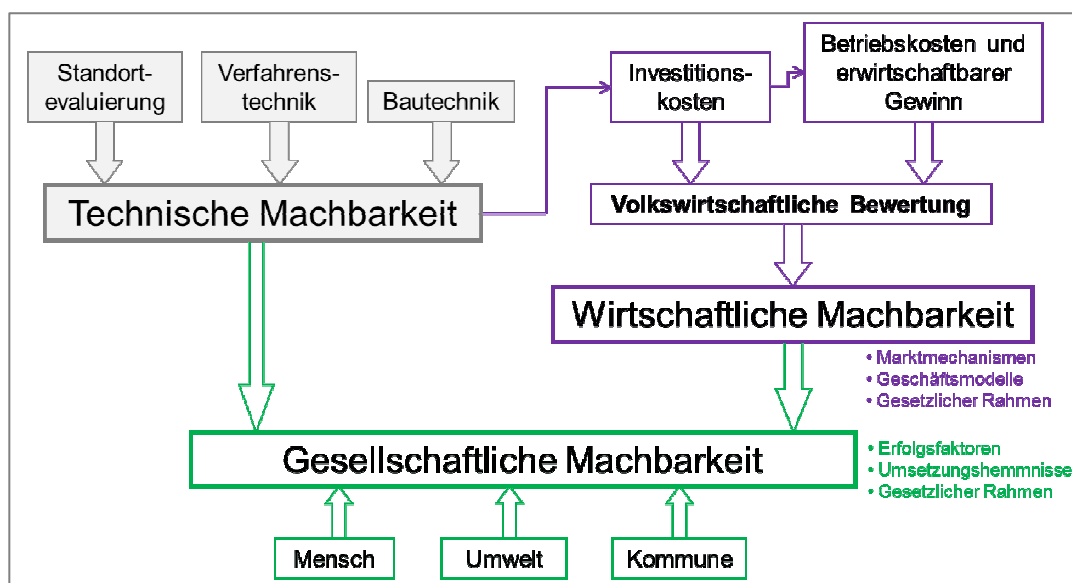


Abbildung 14: Fragestellungen der vertieften Machbarkeitsuntersuchung des Großwärmespeichers und Andeutung der Abhängigkeiten.

Die Komplexität der technischen Fragestellungen macht es erforderlich, die Untersuchung der technischen Machbarkeitsaspekte in mehrere Fachgebiete aufzuteilen. Die Untersuchung der wirtschaftlichen und der gesellschaftlichen Machbarkeit muss auf die Ergebnisse der technischen Detailfragestellungen aufbauen bzw. mit diesen intensiv abgestimmt sein.

Die in einer weiterführenden Machbarkeitsstudie zu untersuchenden inhaltlichen Aspekte werden in den nachfolgenden Kapiteln 3.1 bis 3.5 ausgeführt. In Abschnitt 3.5 wird schließlich das vorsondierte Konsortium vorgestellt, welches für die Bearbeitung der Fragestellungen herangezogen werden kann.

3.1 Verfahrenstechnische Themen

3.1.1 Thermodynamik

Die Erkenntnisse aus den Materialuntersuchungen, den konstruktiven Anforderungen und den Anforderungen zufolge Geologie und Tiefbau sind für eine Speichermodellierung zusammenzuführen, um in weiterer Folge die **Gesamtwärmeverluste** und den **Speichernutzungsgrad** zu ermitteln.

Die prognostizierten Wärmeverluste über die Speicheroberfläche sind von maßgeblicher Bedeutung für die Gesamtsystemeffizienz und damit für die Wirtschaftlichkeit. Bei der Ermittlung der möglichen Wärmeverluste sind, neben dem Speicherdesign, der Speicherbauform und den (hydro-)geologischen Verhältnissen, auch die Einsatzgrenzen der jeweiligen Wandmaterialien zu berücksichtigen. Aus diesem Grund wird es notwendig, ein eigenes Engineering Tool zu entwickeln, das die Beurteilung folgender Einflussfaktoren ermöglicht:

- Einfluss der Wahl des Dämmstoffs auf die Konstruktion des Wärmespeichers
- Einfluss der Konstruktion des Wärmespeichers auf die Wahl des Dämmstoffs bzw. Dämmstoffsystems
- Berücksichtigung von Wärmetransport im Erdreich durch Wärmeleitung und Konvektion

3.1.2 Thermohydraulik

Die Temperaturschichtung (Stratifikation) ist eine wesentliche Eigenschaft von sensiblen Warmwasserspeichern. Die Aufrechterhaltung hoher Temperaturdifferenzen zwischen den Be- und Entladestellen des Speichers wirkt sich unmittelbar auf die Leistungszahl der angeschlossenen Wärmepumpe aus. Außerdem wirkt Stratifikation dem Entstehen von natürlichen Konvektionsströmungen in Heißwasserspeichern entgegen. Sowohl das Entstehen von Fallströmungen an der Speicherwand als Folge des dortigen Wärmeverlusts, als auch das Entstehen von Bénard-Konvektion unterhalb des Speicherdeckels kann durch thermische Schichtung stark abgeschwächt bzw. verhindert werden. Eine möglichst verwirbelungsfreie Be- und Entladung des Speichers ist erforderlich, um die Stratifikation im Speicherbetrieb aufrecht zu erhalten. Für die bisher realisierten Speichergrößen sind entsprechende Systeme bereits entwickelt (z.B. System Hedbäck, vgl. [12]) bzw. ausführlich durch analytische Berechnungen und numerische Simulationen (vgl. z.B. [10]) untersucht worden. Die bestehenden Systeme und Erkenntnisse aus dem Kleinspeicherbereich sind für einen Großspeicher zu adaptieren. Wegen der zum Kleinspeicher unterschiedlichen räumlichen Dimensionen (Oberflächen-zu-Volumen-Verhältnis), der wesentlich höheren Massenströme bei Be- und Entladung, etc. müssen dazu analytische Abschätzungsrechnung und numerische Simulationen durchgeführt werden.

3.1.3 Apparative Ausstattung

Die Projektidee ist geprägt von dem innovativen Gedanken, unterschiedliche Wärmequellen für die Fernwärmeversorgung nutzbar zu machen. Dazu ist nicht nur ein großes Speicherbauwerk erforderlich, sondern es muss auch die entsprechende apparative Ausstattung für die erforderlichen Wärmemengen und das erforderliche Temperaturniveau entwickelt werden. Ebenso sind dazu die möglichen Kopplungsvarianten der nicht-fossilen KW mit dem Wärmepumpenbetrieb zu untersuchen, um mit einer möglichst kleinen Großwärmespeicherkapazität die Wärmeleistungsschwankungen im Jahresverlauf, die am Beispiel Linz, je nach Außentemperatur, zwischen 50 und 500 MW betragen, ausgleichen und die erforderliche Wärme dem Fernwärmenetz zur Verfügung stellen zu können.

3.1.4 Verfahrenskonzepte und Systemverhalten

Für das vorliegende Konzept der Integration eines Großwärmespeichers in ein bestehendes Fernwärmenetz muss ein individuelles Verfahrenskonzept ausgearbeitet werden, welches Flexibilität

hinsichtlich Wärmequellen und Temperaturniveau ermöglicht. Damit kann eine Kopplung von Strom und Wärme gewährleistet werden.

Dieses Verfahrenskonzept ist die zentrale Grundlage für die wirtschaftliche Betrachtung dieses Projektes.

Für eine Aussage zur technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftspolitischen Machbarkeit ist es weiters erforderlich, ein sinnvolles Betriebskonzept zu konzipieren.

3.2 Bautechnische und geotechnische Themen

3.2.1 Materialtechnologie

Gegenüber dem Stand der Technik, Erdbecken mit Folien (sogenannte Linern) abzudichten, ergibt sich der Innovationsbedarf aufgrund der hohen Temperatur. Abdichtungsfolien, die Temperaturen bis 100°C dauerhaft standhalten, befinden sich derzeit noch in der Entwicklung.

Es soll daher der alternative Ansatz untersucht werden, den Hochtemperaturbereich des Speichers mit einer zusätzlichen Betoninnenschale abzudichten. Die Herausforderung liegt dabei darin, dass die angewandten Betonrezepturen einer Wassertemperatur von bis zu 100°C mit teilweise wechselnder Beanspruchung standhalten müssen. Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass bei einer Erwärmung des Betons der E-Modul abnimmt und sich je nach Höhe der Temperatur eine Gefügeschädigung einstellt.

3.2.2 Baukonstruktionen

Die bautechnischen Fragestellungen im Zusammenhang mit dem angedachten Großwärmespeicher ergeben sich aus der Anforderung einer dauerhaften Nutzbarkeit und Dichtheit des Speicherbauwerkes. Die erforderliche Größe der schwimmenden Speicherabdeckung (ca. 250 x 250 m) stellt, neben der technischen Herausforderung, auch eine maßgebliche Herausforderung an die Nutzungsmöglichkeiten während des Betriebes dar.

Die Gewährleistung der Sicherheit und Dauerhaftigkeit des Speicherbetriebes spielt eine wesentliche Rolle für die Akzeptanzkriterien des Bauwerks.

3.2.3 Geologie und Geotechnik

Bautechnisch (geologisch-hydrogeologisch) mögliche Standorte für ein Bauwerk der angedachten Kubatur in Linz sind gegeben und nach Aussage der Stadtverwaltung denkbar⁹⁾. Detailaussagen zum geotechnischen Bauwerksdesign und sinnvolle Wärmeflussprognosen in den Untergrund sind jedoch nur auf Basis eines abgesicherten (hydro-) geologischen Modells möglich, wofür wiederum das Abteufen und Auswerten von Kernbohrungen erforderlich ist. Darauf aufbauend kann erst das geotechnische Design des eigentlichen Bauwerks (Erdbecken, Damm) und der temporär erforderlichen Bauhilfsmaßnahmen (z.B. Baugrubensicherungen) erfolgen.

Wärmefluss und -ausbreitung im Untergrund sind in hohem Maße von den (hydro-)geologischen Standortverhältnissen geprägt und müssen sich daher auf konkrete Rahmenbedingungen beziehen.

⁹⁾ Gespräch mit Hrn. Dipl.-Ing. Amesberger, Magistrat Linz, Direktion Stadtentwicklung am 13.01.2015

Gleichzeitig sind diesbezügliche naturnahe Prognosen für die Machbarkeitsstudie erforderlich, da die Ergebnisse wesentliche Auswirkungen auf die thermische Speicheroptimierung und somit auf die Wirtschaftlichkeit des Projekts haben. Schließlich ist die mögliche Erwärmung rund um den Speicher als direkte Umweltauswirkung zu bewerten.

3.3 Wirtschaftlichkeitsuntersuchung

Um die Sinnhaftigkeit eines Großwärmespeichers abzuschätzen, muss auch dessen Wirtschaftlichkeit mit Bezug auf das Gesamtsystem der Wärmebereitstellung betrachtet werden. Es liegt auf der Hand, dass Wärmespeicher zu Einsparungen im Bereich der kurzfristigen Wärmegestehungskosten führen. Um jedoch die Wirtschaftlichkeit fundiert beurteilen zu können, müssen die Einsparungen quantifiziert und den erwarteten Investitions- und Betriebskosten gegenübergestellt werden. Dazu wird ein zeitlich aufgelöstes Kostenminimierungsmodell erforderlich, welches den kostenminimalen Einsatz des Speichers unter Berücksichtigung des gesamten Fernwärmesystems ermittelt. Ziel ist letztendlich eine Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Großwärmespeichers im Fernwärmeverbund Linz aus volkswirtschaftlicher Sicht, mit einer anschließenden Bewertung der betriebswirtschaftlichen Umsetzbarkeit.

3.4 Gesellschaftliche Machbarkeit

Die Berücksichtigung von Akzeptanzkriterien stellt langfristig die (gesellschaftliche) Tragfähigkeit von Entscheidungen im Bereich der Implementierung von Technologien sicher. Im Rahmen der weiterführenden Machbarkeitsuntersuchung sollen in einer Metastudie bereits untersuchte Akzeptanzkriterien zur Implementierung von Technologien, Veränderungen von Gebäuden, Stadtbild usw. auf die Projektidee umgelegt und hinsichtlich ihrer Relevanz beurteilt werden. Ziel ist es, Akzeptanzkriterien als Grundlage für eine zukünftige Befragung von AkteurInnen / NutzerInnen / Betroffenen für ein konkretes Bauvorhaben zur Verfügung zu stellen.

Die Errichtung eines Heißwasserspeichers beeinflusst die Umwelt, insbesondere den unmittelbaren Standort, in unterschiedlicher Weise. Vor allem die große Dimension und spezielle bautechnische Erfordernisse eines derartigen Bauwerks stellen für die Abschätzung der Auswirkungen auf die Umgebung eine Herausforderung dar. Aus diesem Grund soll ein Leitfaden erstellt werden, in dem jene Schutzgüter und Bereiche thematisiert werden, für die erhebliche Beeinträchtigungen zu erwarten sind (z.B. Boden, Grundwasser, Entfernung zu schutzwürdigen Gebieten). Es wird eine Relevanzmatrix erstellt, in der die potentiell betroffenen Schutzgüter und Schutzinteressen den voraussichtlich relevanten Beeinflussungen durch das Projekt gegenübergestellt sind.

3.5 Vorschlag eines Konsortiums

3.5.1 ForschungspartnerInnen

Um die beschriebenen Forschungsfragen weiter zu behandeln wurden ForschungspartnerInnen, welche die notwendigen Fachgebiete bestmöglichst abdecken, gesucht (gefunden) und die jeweiligen

Forschungsfragen vorbesprochen. Im Jänner 2015 schloss sich das in Tabelle 5 angeführte Konsortium zusammen, um als Forschungsteam an der 2. Ausschreibung „Stadt der Zukunft“ der FFG, mit dem kooperativen F&E-Projekt „Vision einer Fernwärmezukunft mit integriertem Großwärmespeicher – Vertiefte Machbarkeit am Beispiel Linz“ (Vision GWS) teilzunehmen.

Tabelle 5: Mögliche Forschungspartner zur Abdeckung aller Fragestellungen einer weiterführenden Machbarkeitsuntersuchung des Großwärmespeichers Linz

Forschungseinrichtung	Fachgebiete
Ingenieurbüro ste.p ZT-GmbH	Bautechnik, Geotechnik, Projektmanagement
Institut für Verfahrenstechnik, JKU Linz	Thermodynamik, Energie- und Verfahrenstechnik
Institut für Strömungslehre und Wärmeübertragung, JKU Linz	Strömungsmechanik, Wärmeübertragung, Thermofluidodynamik, Aerodynamik
Institut für Energietechnik und Thermodynamik, TU Wien	Thermodynamik, Wärmepumpen, Energietransport und -effizienz
Smart Minerals GmbH	Betontechnologie, akkreditierte Prüfanstalt
Institute of Polymeric Materials and Testing, JKU Linz	Kunststofftechnik, Polymerwerkstoffe, Kunststoffhalbzeuge
Universität Innsbruck, Arbeitsbereich für Energieeffizientes Bauen	Thermische Speicher, Bauphysik, energetische Gebäudeoptimierung
Austrian Institute of Technology GmbH	Geologie, Hydrogeologie, Geothermie
Technikum Wien, Institut für erneuerbare Energien	Technikfolgenabschätzung, Ökologie und Gesellschaft
EEG – Institute of Energy Systems and Electrical Drives Energy Economics Group, TU Wien	Ökonomische Beurteilung von Energiesystemen, Betriebs-, Regional- und Volkswirtschaft

3.5.2 Nutzer/Betreiber – Beratungskonsortium

Neben dem eigentlichen Forschungsteam soll ein sog. Projektbeirat installiert werden, zum Informationsaustausch und zur inhaltlichen Beratung. Im Rahmen der Projektsondierung wurden folgende Linzer Institutionen für den Projektbeirat im Zuge der vertieften Machbarkeitsuntersuchung gewonnen:

- Linz Strom GmbH
- VOEST-ALPINE AG
- Magistrat Linz, Direktion Stadtentwicklung
- DPx Fine Chemicals Austria

4 Literaturverzeichnis

- [1] Sterner, M.; Stadler, I.: Energiespeicher – Bedarf, Technologien, Integration; Verlag Springer Vieweg, Berlin Heidelberg 2014
- [2] FGW – Fachverband der Gas- und Wärmeversorgungsunternehmen: Erdgas und Fernwärme in Österreich – Zahlenspiegel 2014, Wien 2014
- [3] Lambauer, J. et al.: Industrielle Großwärmepumpen – Potentiale, Hemmnisse und Best-Practice Beispiele; Forschungsbericht, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung; Stuttgart, 2008
- [4] ÖWAV-Regelblatt 207: Thermische Nutzung des Grundwassers und des Untergrunds – Heizen und Kühlen; Wien 2009
- [5] Felberbauer, K.-P. et al. (2012). Energiespeicher der Zukunft. Energiespeicher für erneuerbare Energie als Schlüssel-Technologie für zukünftige Energiesysteme. Endbericht. Joanneum Research Report. Neue Energien 2020.
- [6] Berger, W.: Konzepte der thermischen Energiespeicherung. FORUM Gas Wasser Wärme 5/2008, pp. 18 – 21, 2008
- [7] JOANNEUM RESEARCH, TU Wien: Endbericht zum Forschungsprojekt Energiespeicher der Zukunft – Energiespeicher für erneuerbare Energie als Schlüsseltechnologie für zukünftige Energiesysteme, FFG-Pr.nr. 821935
- [8] Clausen, J.: Wärmenetze und Langzeitwärmespeicher als Schlüsseltechnologien der nachhaltigen Wärmeversorgung – Entwicklungspotenziale und Handlungsoptionen, Vertiefungsstudie; Borderstep Institut, Berlin, 2013
- [9] Mangold, D. et al.: Technisch-wirtschaftliche Analyse und Weiterentwicklung der solaren Langzeit-Wärmespeicherung. Forschungsbericht zum BMU-Vorhaben 0329607N. Stuttgart, 2012
- [10] Huhn R.: Beitrag zur thermodynamischen Analyse und Bewertung von Wasserwärmespeichern in Energieumwandlungsketten. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität Dresden, 2007
- [11] Bodmann, A.; Mangold, D. et al.: Solar unterstützte Nahwärme und Langzeit-Wärmespeicher, Forschungsbericht zum BMWA /BMU-Vorhaben (2003 – 2005)
- [12] Hedbäck, T. J.: Druckloser Heißwasserspeicher für Fernheizsysteme sowie Verfahren und Einrichtung zur Beibehaltung eines fast konstanten Überdrucks von über der Heißwasserschicht in einem drucklosen Heißwasserspeicher eines Fernheizsystems befindlichen Dampf oder Wasserdampf. Patent DE 43 05 867 A1, 199

IMPRESSUM

Verfasser

ste.p ZT GmbH
Mommsengasse 31, 1040 Wien
Tel.: +43 1 505 56 87
Fax: +43 1 505 39 84
E-Mail: office@step-zt.at

AutorInnen

Christoph Muser
Petra Drucker
Wolfgang M. Samhaber
Martin Jung
Robert Spendlingwimmer

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