

**Bericht zu Arbeitspaket 3 des Projekts
„Energie aus Abwasser – Abwasserwärme- und -
kältenutzung mittels hocheffizienter
Großwärmepumpen“**



Untersuchung der Nutzung von Fernwärme und Absorptions- /Kompressionswärmepumpen in Kombination mit Abwasserwärme

Verfasser: DI Franz Zach (Gesamtleitung)
DI Dr. Günter Simader
DI Adolf Penthor (Fernwärme Wien GmbH)

Auftraggeber: Klima- und Energiefonds

Impressum

Herausgeberin: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency,
Mariahilfer Straße 136, A-1150 Wien; Tel. +43 (1) 586 15 24, Fax +43 (1) 586 15 24 - 340;
E-Mail: office@energyagency.at, Internet: <http://www.energyagency.at>

Für den Inhalt verantwortlich: DI Peter Traupmann

Gesamtleitung: DI Franz Zach

Reviewing: DI Adolf Penthor (Fernwärme Wien GmbH)

Layout: DI Franz Zach

Herstellerin: Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency

Verlagsort und Herstellungsort: Wien

Nachdruck nur auszugsweise und mit genauer Quellenangabe gestattet. Gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier.

Inhalt

1	Einleitung und Problemstellung	1
2	Mangelnde Eignung der Passivhauswohnanlage Wien 21., Kammelweg zur Durchführung einer Machbarkeitsstudie zur Abwasserwärmenutzung	4
3	Machbarkeitsstudie zur thermischen Abwassernutzung im TownTown-Hochhaus in 1030 Wien, Thomas Klestil-Platz 14	6
3.1	Gebäudebeschreibung	6
3.2	Haustechnik – Ausgangssituation im bestehenden Gebäude	8
3.3	Verfügbare Abwasserkanäle	11
3.4	Konzeption der thermischen Abwassernutzungsanlage	17
3.5	Wirtschaftlichkeitsanalyse	22
3.5.1	Kostenkomponenten	23
3.5.2	Annuitätenmethode	27
3.5.3	Kapitalwertmethode	31
3.6	Umweltauswirkungen	34
3.7	Möglicher Einsatz einer Kanal-Absorptionswärmepumpe zur Kälteerzeugung	36
3.8	Einspeisung von Abwasserwärme ins Wiener Fernwärmenetz	37
3.9	Fazit	38
4	Genehmigungsprozess einer thermischen Abwassernutzungsanlage in Wien	39
5	Zusammenfassung	40
6	Literatur	42

1 Einleitung und Problemstellung

Die thermische Nutzung von Abwasser ist in anderen Ländern, v.a. in der Schweiz, aber zunehmend auch in Deutschland, bereits weit verbreitet. In Österreich existieren dazu aber praktisch noch keine Erfahrungen. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wurde der Stand der Technik der thermischen Abwassernutzung analysiert. Danach wurden an ausgewählten Standorten in Österreich Machbarkeitsanalysen durchgeführt, um zur Realisierung konkreter Projekte beitragen zu können. Weiters werden im Zuge dieses Projektes die rechtlichen Rahmenbedingungen für thermische Abwassernutzung in Österreich erhoben und das Potenzial dieser Technologie in Österreich analysiert.

Im gegenständlichen Arbeitspaket 3 waren gemäß Antrag zwei Standorte für die Durchführung von Machbarkeitsstudien vorgesehen: Einerseits die Passivwohnanlage Kammelmweg in Wien Floridsdorf für Wärmegewinnung aus Abwasser, andererseits sollten anhand der Bürogebäude TownTown in Wien Erdberg die Eignung von Abwasser als Rückkühlmedium für die Gebäudekühlung untersucht werden.

Im Rahmen der einen Machbarkeitsstudie in diesem Arbeitspaket sollte untersucht werden, welche technischen Voraussetzungen für den Einsatz von Abwasserwärme in Kombination mit Fernwärme (Sekundärnetz) im Rahmen der Versorgung einer Passivhaus­siedlung zu erfüllen sind. Als Objekte wurden zwei Wohnhausanlagen mit je 85 Wohnungen in Passivhaus-Qualität ins Auge gefasst, die im 21. Wiener Gemeindebezirk liegen (Passivhäuser Kammelmweg). Durch das niedrige Temperaturniveau und die geringe Temperaturspreizung (Vorlauf, Rücklauf), welche für die Energieversorgung erforderlich sind, wäre gewährleistet, dass die Vorteile der Wärmepumpe bezüglich Energieeffizienz voll zum Tragen kommen.

Diese Machbarkeitsstudie begann mit der Erhebung der Kanaldaten in der Umgebung der Wohnsiedlung. Es stellte sich heraus, dass die nötige Abwassermenge nicht bereitsteht. Im nächsten Abschnitt werden die durchgeführten Kanaluntersuchungen am genannten Standort dargestellt und begründet, warum die Passivhauswohnanlage Kammelmweg daher nicht für Abwasserwärmenutzung in Frage kommt. Weitere Untersuchungen waren nicht notwendig um die mangelnde Eignung dieser Passivhauswohnsiedlung festzustellen.

Das Projektteam war jedoch sehr an der Durchführung einer detaillierten Studie auch für Wärmenutzung interessiert, weshalb intensiv nach Ersatzstandorten gesucht wurde. Zunächst wurde vom Projektteam der in Planung befindliche Bürokomplex mit Hotel und Einkaufszentrum (laut vorläufiger Planung) auf dem Areal der Komet-Gründe in Wien Meidling als Ersatzstandort für die Wärmenutzung aus Abwasser in Wien vorgesehen. Wegen einer Neukonzeption des dortigen Abwasser-Hauptsammlers wären die Voraussetzungen für die Erschließung des Abwassers im Prinzip günstig. Die Planung des Bauprojektes verzögerte sich während der Laufzeit des Forschungsprojektes jedoch immer weiter und auch derzeit sind noch keine Details über die Bauführung bekannt. Soweit das Projektteam davon Kenntnis hat, sind die Genehmigungsverfahren – auch aufgrund von Einsprüchen von Anrainern und Bürgerprotesten bzw. Bedanken aus Sicht der UNESCO (Weltkulturerbe) – unerwartet kompliziert. In zahlreichen Gesprächen mit dem Planungsteam der Komet-Gründe konnte eruiert werden, dass vom Bauherrn Interesse an einer thermischen Abwassernutzung besteht bzw. diese sogar schon fix eingeplant wäre. Details konnten jedoch aufgrund der Unsicherheiten bei den Genehmigungsabläufen nicht ermittelt werden. Ein Austausch über

Details der Planung war aufgrund der öffentlichen Diskussionen und der damit verbundenen Probleme nicht gewollt oder aus anderen Gründen nicht möglich. Die möglichen Ausmaße, v.a. hinsichtlich Bauhöhe, sind weiters noch sehr unsicher, auch die Nutzungsart steht noch in Diskussion. Bei einer Bauverhandlung im Februar 2012 wurden laut Medienberichten 38 Einsprüche gegen das Bauprojekt erhoben. Ob, wann und in welcher Form das Bauprojekt realisiert wird, lässt sich daher momentan nicht abschätzen. Seriöserweise konnte dieser Standort daher leider bisher nicht im Detail weiter untersucht werden. Grundsätzlich wäre dieses Bauprojekt aus vielerlei Hinsicht ideal für die thermische Nutzung von Abwasser:

- Ein Abwasserkanal mit hohem Durchfluss fließt in unmittelbarer Nähe des geplanten Gebäudes vorbei.
- Von der Haustechnik her sind Niedertemperaturabgabesysteme vorgesehen, womit auch gebäudeseitig günstige Verhältnisse für die thermische Abwassernutzung gegeben sind.
- Es handelt sich um einen Neubau, wo in hohem Maße Synergieeffekte bei den Baukosten auftreten.
- Auch von Seiten des Investors wird auf Nachhaltigkeit bei der Energieversorgung des Objektes großen Wert gelegt.

Die zweite Machbarkeitsstudie laut Projektantrag geht auf die Nutzung der Abwasserwärme für die Gebäudekühlung ein. Konkret soll die Rückkühlung mittels Abwasser eines Bürohauskomplexes „TownTown“ im 3. Wiener Gemeindebezirk geprüft werden. Die Gebäude werden bereits mit Fernkälte versorgt. Die Rückkühlung von Kälteprojekten erfolgt meist mittels offener Kühltürme. Diesbezüglich treffen sehr häufig unterschiedliche Interessenslagen aufeinander. Auf der einen Seite steht die Möglichkeit einer ressourceneffizienten, umweltschonenden Alternative der Kälteversorgung, auf der anderen Seite die Forderung/Einhaltung von Denkmalschutz, Sichtschutz, Lärmschutz etc. sowie die Bedenken hinsichtlich hygienischer Anforderungen (Stichwort Legionellen). Die Genehmigungsverfahren werden als sehr aufwendig beschrieben. Erschwerend kommt hinzu, dass die Thematik der (offenen) Kühltürme und diesbezügliche gesetzliche Vorgaben in Österreich auf Bundesländer-Ebene und somit nicht einheitlich geregelt ist. Sie wird auch auf europäischer Ebene unterschiedlich gehandhabt. Im Rahmen dieses Projekts soll die Rückkühlung mittels Abwasser untersucht werden. Mit diesem Projekt soll geprüft und mit der anschließenden Realisierung gezeigt werden, ob und wie die Abwassernutzung hierzu Abhilfe schaffen kann.

Bereits nach der Erkenntnis, dass der Standort Kammelweg für eine detaillierte Machbarkeitsstudie nicht die erforderlichen Mindestvoraussetzungen hinsichtlich Abwasserkanäle erfüllt, wurde vom Projektteam anhand der Haustechnikpläne dieses Bürogebäudes festgestellt, dass sich dieser Standort auch gut für eine Versorgung mit Wärme aus Abwasser eignen würde.

Noch dazu wurde in Erfahrung gebracht, dass ab 2013 ein weiteres Gebäude in unmittelbarer Nähe errichtet werden wird. Da thermische Abwassernutzung während der Errichtungsphase eines Gebäudes immer leichter zu implementieren ist, wurde während der Durchführung dieser Machbarkeitsstudie besonders diesem Gebäude Beachtung geschenkt. Die Haustechnik ist in allen bisher errichteten 20 Baukörpern gleich, Proteste gegen das Projekt oder andere Schwierigkeiten sind nicht bekannt. Somit liegen nun, neben Voruntersuchungen an den Standorten Kammelweg und Komet-Gründe, Machbarkeitsstudien für zwei Gebäude auf dem Areal TownTown in Wien Erdberg – jeweils für Wärme und für Kälte – vor.

Zusammenfassend ist somit festzuhalten, dass neben den laut Projektantrag durchzuführenden Analysen zur Abwasserwärmenutzung in Wien 21., Kammelmweg und zu Abwasserkältenutzung in Wien 3., TownTown (Erdbergstraße/Thomas Klestil-Platz) auch Voruntersuchungen zur thermischen Abwassernutzung auf den zu bebauenden Komet-Gründen in Wien Meidling sowie auch eine detaillierte Machbarkeitsstudie zur Abwasserwärmenutzung in TownTown durchgeführt wurde.

Die Ergebnisse für den Standort Komet-Gründe wurden im Vorangegangenen bereits dargestellt.

Kapitel 2 beleuchtet die Situation am Standort Kammelmweg.

Das darauf folgende Kapitel 3 beschäftigt sich ausführlich mit dem Standort TownTown in Wien Erdberg und seiner Eignung für Abwasserwärme- und -kältenutzung.

2 Mangelnde Eignung der Passivhauswohnanlage Wien 21., Kammelmweg zur Durchführung einer Machbarkeitsstudie zur Abwasserwärmenutzung

In der Ausschreibung des o.g. Projektes sind im Arbeitspaket 3 zwei Machbarkeitsstudien vorgesehen, eine davon sollte für die Passivhauswohnanlage Wien 21., Kammelmweg erstellt werden.

Eine im Zuge der Voruntersuchungen gestellte Anfrage bei Wien Kanal (MA 30) ergab für die Kanäle in der Nähe des Objektes folgende durchschnittliche Abwasserflussmengen und Temperaturen bei Trockenwetter:

21., Kammelmweg (unmittelbar an der Straße vor dem Objekt): Eiprofil 70/105 cm; Trockenwetterabfluss: 2 l/s

21., Prager Straße/Lehnertgasse (Entfernung ca. 150 m): Eiprofil 80/120 cm; Trockenwetterabfluss/Temperatur:

08:00: 15 l/s, 12°C

12:00: 10 l/s, 12°C

23:00: 10 l/s, 13°C

Ein weiteres Kanalrohr in akzeptabler Entfernung zum Objekt ist nicht vorhanden.

Die Temperaturen liegen über jenen anderer typischer Wärmequellen von Wärmepumpen und sind ausreichend hoch. Auch die Größe der beiden Kanäle eignet sich für den nachträglichen Einbau eines Wärmetauschers.

Jedoch ist die Abflussmenge aufgrund der Erfahrung mit den bisher realisierten Abwärmeeinrichtungen deutlich zu gering: In der Fachliteratur wird oft eine Untergrenze für den Mindestabwasserfluss von 15 l/s (Mittelwert bei Trockenwetter) angegeben. Ein geringerer Wert als 15 l/s wurde in keiner Quelle gefunden.

Die Mindestabflussmenge ergibt sich aus mehreren technischen und wirtschaftlichen Anforderungen:

Bei geringerer Abflussmenge

- muss der Wärmetauscher zur Erzielung derselben Leistung größer ausgelegt werden, was zu höheren Kosten führt,
- ist der Abwasserspiegel niedriger, wodurch zur Erzielung der gleichen Wärmetauscherfläche eine größere Kanallänge benötigt wird bzw. bei einer externen Wärmetauscheranlage nicht genug Abwasser abgeleitet werden kann,
- schwankt der Abwasserstrom stärker (statistisches Verhalten). Damit werden die Anforderungen an die Auslegung von Wärmetauschern bzw. Speichern zur Überbrückung höher,

- wird der betroffene Abwasserstrom stark abgekühlt, was unter gewissen Umständen problematisch sein kann.

Die in der Literatur genannten Grenzen sind selbstverständlich nicht als starre Werte anzusehen, da die Ausschlusskriterien mit sinkendem Abwasserfluss stetig an Bedeutung gewinnen. Allerdings ist deren Fundierung aufgrund der Vielzahl der in der Schweiz und in Deutschland bereits in Betrieb befindlichen Objekte derart einzuschätzen, dass nicht davon auszugehen ist, dass eine Unterschreitung um etwa die Hälfte zu einem guten Ergebnis führt.

Damit erwies sich die Passivhauswohnanlage in Wien 21., Kammelweg aufgrund der Kanalsituation als nicht geeignet für eine vertiefte Machbarkeitsstudie zur Abwasserwärmenutzung.

Infolgedessen wurde die am Standort Kammelweg vorgesehene Untersuchung der Beheizung eines Gebäudes auf den im Antrag für die Untersuchung der Kühlung festgelegten Gebäudekomplex TownTown verlegt. Dort wird nun an zwei verschiedenen Gebäuden (ein kürzlich fertig gestelltes und ein in Planung befindliches) die technische und wirtschaftliche Machbarkeit von Wärme- und Kältegewinnung aus dem Abwasser untersucht.

3 Machbarkeitsstudie zur thermischen Abwassernutzung im TownTown-Hochhaus in 1030 Wien, Thomas Klestil-Platz 14

Hauptgegenstand dieses Berichtes ist die Untersuchung der technischen und finanziellen Machbarkeit der Nutzung von thermischer Energie aus dem Kanalabwasser auf dem Areal „TownTown“ in Wien Erdberg. Auf dem Areal sind in der Vollausbauweise 21 Gebäude vorgesehen. 20 Gebäude sind bereits fertig gestellt. Bei dem noch nicht realisierten Gebäude handelt es sich um ein Hochhaus, für das die gemischte Nutzung als Hotel und Bürogebäude vorgesehen ist. Alle 20 bereits errichteten Gebäude werden von Fernwärme Wien mit Fernwärme und Fernkälte versorgt. Die Zentralen sind so ausgelegt, dass sie die 21 geplanten bzw. bereits realisierten Gebäude mit Wärme und Kälte versorgen können. Da jedoch in unmittelbarer Umgebung weitere Gebäude geplant sind, deren Investoren ebenfalls an einer Wärme- und Kälteversorgung durch Fernwärme Wien interessiert sind, müssen vor allem für den Kühlbetrieb Alternativen gefunden werden. Die thermische Nutzung des Abwassers ist hierbei aufgrund der lokalen Gegebenheiten des Kanals und der Haustechnik eine grundsätzlich mögliche Alternative, die jedoch einer eingehenden Untersuchung bedarf. Besonders realistisch ist die Verwirklichung der thermischen Abwassernutzung im erwähnten derzeit in Planung befindlichen Hotel-Bürogebäude. Da jedoch noch keine definitiven Einreichpläne vorliegen, kann hierauf keine Machbarkeitsstudie direkt gegründet werden. Weil aber alle 20 realisierten Gebäude von der thermischen Qualität und der Haustechnik sehr ähnlich konzipiert sind und dies auch für das noch fehlende Gebäude vorgesehen ist, kann als Referenz für die Gebäudedaten das Bürohochhaus in 1030 Wien, Thomas Klestil-Platz 14 herangezogen werden. Da die Gegebenheiten des Kanals aufgrund der kurzen Distanz zwischen beiden Bauplätzen als gleichwertig zu bezeichnen sind, ist mit dieser Untersuchung auch gleichzeitig die Machbarkeit von thermischer Abwassernutzung im genannten, bereits bestehenden Gebäude abgedeckt. Es ist jedoch anzumerken, dass aufgrund der gerade fertig gestellten Haustechnik ein neuerlicher Eingriff nur unter besonders positiven Rahmenbedingungen realistisch erscheint und das Potenzial bevorzugt für das in Planung befindliche Gebäude reserviert werden sollte, da sich hier aufgrund von Synergieeffekten bessere wirtschaftliche Voraussetzungen ergeben.

3.1 Gebäudebeschreibung

Das bestehende Bürogebäude wurde im Herbst 2010 fertig gestellt und ist u.a. an die Wiener Stadtwerke vermietet. Die Nutzung ist zu 100% gewerblich.

Die wichtigsten Gebäudedaten sind in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 1: Grunddaten des vorhandenen Gebäudes in TownTown, dessen Spezifikationen der Machbarkeitsstudie zu Grunde liegen; Quelle: Fernwärme Wien GmbH; Darstellung: Österreichische Energieagentur

Name	CB 03 „The Tower“
Baujahr	2008-2010
BGF	22.000 m ²
Stockwerke	22

Höhe	ca. 80 Meter
Kühllast	1.653 kW
Heizlast	1.717 kW

Das geplante Hotel-Bürogebäude ist momentan laut Planungsbüro Coop Himmelb(l)au mit einer BGF von 43.750 m² etwa doppelt so groß geplant (Grundfläche: 2.450 m², 30 Stockwerke, 128 Meter Höhe). Damit ist anzunehmen, dass der Heiz- und Kühlleistungs- bzw. -energiebedarf auch etwa doppelt so groß sein wird. Da Planänderungen bzw. weitere Effizienzsteigerungen einkalkuliert werden müssen, wird in einer vorsichtigen Berechnung angenommen, dass für die beiden Gebäude gleich große Heiz- und Kühllasten gelten werden. Somit kann man für die weiteren Betrachtungen die Ausmaße und Werte von CB 03 zu Grunde legen. Nach [2] und anderen Medienberichten ist die Planung bereits weit fortgeschritten, eine Realisierung ist für 2013 angepeilt.

Die bauliche Situation in TownTown ist in Abbildung 1 dargestellt. In unmittelbarer Nähe des Hochhauses (schraffiertes Parallelogramm in der Verlängerung der Nottendorfer Gasse) ist der Bau eines Hotel-Bürogebäudes vorgesehen (rot umrandete Fläche). Das südöstliche Ende des zu errichtenden Gebäudes ist etwa 5-10 Meter vom Abwasserkanal entfernt, der in der Verlängerung der Nottendorfer Gasse weiterfließt. Somit sind dort ähnlich gute Standortvoraussetzungen gegeben. Der Vorteil eines in Planung befindlichen Hauses ist, dass die thermische Abwassernutzungsanlage von Beginn an in die Planungen integriert werden kann. Einerseits fallen die Baustelleneinrichtungskosten nur einmal an, andererseits können auch die Lage und Gegebenheiten der Technikräume sowie der Verteileinrichtungen besser darauf abgestimmt werden.

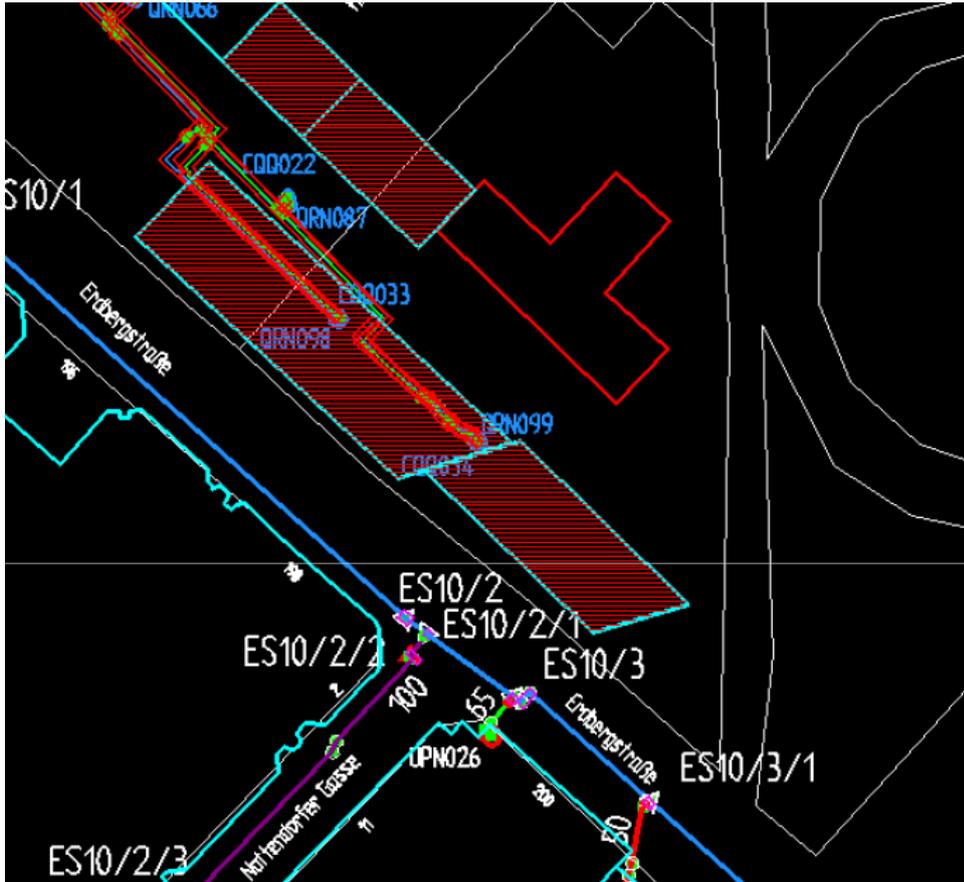


Abbildung 1: Planausschnitt TownTown, Beschreibung siehe Text; Quelle: Fernwärme Wien GmbH

3.2 Haustechnik – Ausgangssituation im bestehenden Gebäude

Die Wärmeversorgung im Gebäude erfolgt durch Fernwärme Wien, die Kälteversorgung durch Fernkälte, ebenfalls von Fernwärme Wien. Wärme und Kälte werden mit 90°C bzw. 7°C zur Verfügung gestellt. Die Auslegungstemperaturen für die Rückläufe betragen 39,1°C bzw. 14,5°C.

Das Gebäude ist mit Betonkernaktivierung (BKA) ausgestattet, die regelmäßige Lastkurven und niedrige Temperaturspreizungen, sowohl für Heizung als auch für Kühlung, ermöglicht. Insgesamt können 491 kW (29,7% der Maximallast) an Wärme bzw. 661 kW (38,5% der Maximallast) an Kälte durch dieses Abgabesystem bereitgestellt werden. Die Regulierung der Temperatur auf für BKA bzw. Fußbodenheizung und Radiatoren notwendige Temperaturen erfolgt über Mischventile.

Aufgrund der großen Höhe des Gebäudes gibt es im untersten und im obersten Geschoß je eine Technikzentrale, welche jeweils die untere bzw. obere Hälfte des Gebäudes mit Kälte und Wärme versorgen.

Gegenstand der Studie ist die Untersuchung der möglichen Grundlastdeckung durch Wärme- bzw. Kälteenergie aus dem Abwasser. Eine gänzliche Umstellung auf diese Technologie ist schon aufgrund der teilweise geforderten Temperaturen (bis zu 90°C) nicht oder nur

sehr unwirtschaftlich möglich; zudem wäre eine gänzliche Umstellung aus Erfahrung mit anderen Projekten nicht wirtschaftlich. (Die hohen Investitionskosten rechtfertigen nicht die Abdeckung selten benötigter Leistungsbereiche.) Ob der Kanal die so benötigten Wärme- und Kälteleistungen liefern könnte, ist ebenfalls zu untersuchen und erfolgt über die Berechnung der Temperaturveränderung unter definierten Lastbedingungen (siehe am Ende von Abschnitt 3.3).

Für die Bereitstellung von Heiz- und Kühlenergie durch Wärmepumpen sind geringe Vor- und Rücklauftemperaturen für Heizung und hohe für Kühlung anzustreben, schließlich hängt die Effizienz (Arbeitszahl) einer Wärmepumpe in erster Linie vom Temperaturhub ab. Daher werden die Anteile, die diese Bedingungen erfüllen, bevorzugt für die Untersuchungen herangezogen. Dies deckt sich mit der Forderung, vor allem die Grundlast abzudecken.

Die Temperaturen für BKA zur Heizung betragen VL/RL: 29,5/26,5°C, für Kälte 17/21°C. Zusätzlich existieren noch Heiz- bzw. Kühldecken mit Heizlasten von 33 bzw. 35 kW, die aufgrund der Temperaturen (VL/RL: 35/32,1°C bzw. 19/22°C) auch für die thermische Abwassernutzung in Betracht kommen (siehe auch Tabelle 2 und Tabelle 3).

Die bereits erwähnte Unterteilung der Versorgung des Gebäudes auf zwei Technikzentralen bringt es mit sich, dass die Erreichbarkeit der angesprochenen Leistungen für BKA und Kühldecken unterschiedlich gut ist. Da das Gebäude ursprünglich auf die Versorgung mit Fernwärme und -kälte mit weit höheren bzw. niedrigeren Temperaturen abgestimmt wurde, wird die obere Technikzentrale, die knapp mehr als die Hälfte der Wärme- und Kälteleistungen für BKA (257 bzw. 346 kW) verwaltet, mit 85°C für Wärme bzw. 8°C für Kälte angespeist. Für eine Anbindung dieser Lasten müssten separate Leitungen bis auf das Dach verlegt werden, was zusätzlichen Aufwand bedeuten würde.

Die gut erschließbaren Leistungen betragen daher für Heizung 234 kW + 33 kW = 267 kW, für Kühlung 315 kW + 35 kW = 350 kW; für die restlichen Leistungen von 257 kW für Wärme und 346 kW für Kälte müsste eine separate Untersuchung stattfinden, sofern die umliegenden Kanäle nach positiver Prüfung der erstgenannten Anteile noch Restkapazität aufweisen. Dies kann jedoch nicht im Rahmen dieser Untersuchung geschehen. Bevorzugt wird – in erster Linie aus Kostengründen, aber auch (eng damit verknüpft) aufgrund der einfacheren baulichen Machbarkeit – die Anspeisung der unteren Technikzentrale sowie der Heiz- und Kühldecken angestrebt. Für das in Planung befindliche Gebäude könnte eine auch im Hinblick auf diesen Umstand von vornherein adaptierte Haustechnik ausgeführt werden.

Die folgenden Tabellen geben eine Übersicht über die Heiz- bzw. Kühlleistungen sowie die Temperaturniveaus.

Tabelle 2: Zusammensetzung der Heizlast nach Bereitstellungsort und -art, BKA...
Betonkernaktivierung; Quelle: Fernwärme Wien GmbH

Technikzentrale	Verteilsystem	Heizlast in kW	VL/RL bei Verteilstation in °C	Energieverbrauch in kWh/a, geschätzt
Keller	BKA	234	29,5/26,5	468.000
	Heizdecke	33	35/32,1	66.000
	Torluftschleier	75	60/35	

Untersuchung der Nutzung von Fernwärme und Absorptions-/Kompressionswärmepumpen in Kombination mit Abwasserwärme

	Heizkörper	117	65/40	
	Lüftung	222	90/37	
	Heizkörper	103	90/37	
	andere	190	90/37-40	
Dach	BKA	257	85/37	(514.000)
	Lüftung	170	85/37	
	Heizkörper	257	85/37	
	andere	110	85/37	

Tabelle 3: Zusammensetzung der Kühllast nach Bereitstellungsort und -art, BKA...
Betonkernaktivierung; Quelle: Fernwärme Wien GmbH

Technik- zentrale	Verteilssystem	Kühllast in kW	VL/RL bei Verteilsta- tion in °C	Energieverbrauch in kWh/a, geschätzt
Keller	BKA	315	17/21	346.500
	Kühldecke	35	19/22	38.500
	Lüftung	268	7/14	
	Fancoils	370	7/14	
	andere	50	7/14	
Dach	BKA	346	8/15	(380.600)
	Lüftung	214	8/15	
	Fancoils	409	8/15	

Die Tatsache, dass die Hälfte der Kühl- und Heizlast durch die Zentrale auf dem Dach bereitgestellt wird und die Temperaturen erst dort durch Mischer den jeweiligen Gegebenheiten entsprechend auf niedrigere Vorlauftemperaturen für Heizung und höhere für Kühlung angepasst werden, beschränkt, wie bereits ausgeführt, das Potential der thermischen Abwassernutzung – bei Fernwärme spielt dieser Aspekt jedoch keine Rolle.

Die fettgedruckten Zeilen kennzeichnen jene Anteile, die einer Machbarkeitsuntersuchung unterzogen werden. Die übrigen Anteile werden in jedem Fall weiterhin mit Fernwärme und Fernkälte versorgt. Warmwasserbereitung wird ebenso wie die Heizlasten mit höheren und die Kühllasten mit niedrigeren Vorlauftemperaturen nicht einbezogen, weil dadurch die Jahresarbeitszahl der Gesamtanlage erheblich sinken würde. Damit wird der Fokus auf die Grundlast gelegt, also den Anteil mit den meisten jährlichen Volllaststunden und damit den günstigsten Voraussetzungen für eine wirtschaftliche Investition.

Energieverbrauch für Heizung:

Zwar existieren bereits erste Energieverbrauchswerte; da das Gebäude bisher jedoch nur ca. zur Hälfte bezogen wurde, sind diese aber nur bedingt aussagekräftig.

Für die Periode 30. 8. 2010 bis 24. 2. 2011 ergibt sich hochgerechnet ein Jahresheizenergieverbrauch von etwa 1,11 Mio. kWh. Aufgrund der berechneten Heizlast von 1.653 kW wäre (mit einer angenommenen Volllaststundenzahl von 1.600 pro Jahr) ein Verbrauch von 2,64 Mio. kWh zu erwarten. Dies stimmt mit der Tatsache gut überein, dass das Gebäude nie mehr als zur Hälfte besetzt war und die gemessene Temperaturdifferenz zwischen Vor-

und Rücklauf durchschnittlich weniger als die Hälfte des Planwertes erreichte. Die Messdaten unterstützen daher die oben gegebene Abschätzung.

Da größtenteils die Betonkernaktivierung die Grundlast liefert, können – unter einer vorsichtigen Annahme – dafür 2.000 Volllaststunden angesetzt werden. Somit ergibt sich ein jährlicher auf BKA entfallender Heizenergieverbrauch (bei Vollbelegung) von etwa 468.000 kWh für die Zentrale im Untergeschoß (und von 514.000 kWh im Dachgeschoß) sowie weitere 66.000 kWh für die Heizdecken.

Energieverbrauch für Kühlung:

Zur Bestimmung des jährlichen Energieverbrauchs für die Kühlung wird ebenfalls auf die errechnete Kühllast zurückgegriffen. Als Volllaststundenanzahl wird 1.100 h/a angenommen. Somit ergibt sich ein jährlicher auf BKA entfallender Kühlenergieverbrauch (bei Vollbelegung) von etwa 346.500 kWh für die Zentrale im Untergeschoß (und von 380.600 kWh im Dachgeschoß) sowie weitere 38.500 kWh für die Kühldecken.

3.3 Verfügbare Abwasserkanäle

Die Umgebung des Bürogebäudes samt Lage der Abwasserkanäle ist in Abbildung 2 dargestellt.

Die in der Umgebung befindlichen Kanäle sind als Mischwasserkanäle ausgeführt. Eine Nutzung zur Gebäudeheizung bzw. -kühlung kommt damit grundsätzlich bei allen in der Nähe liegenden Kanälen in Betracht.

Abbildung 2 ist zu entnehmen, dass es prinzipiell 3 Kanäle gibt (wobei 2 davon aus je 2 parallel laufenden Rohren bestehen, also insgesamt 5 Kanalrohre), die untersucht werden können.

Direkt unterhalb des bestehenden sowie wenige Meter neben dem Südostende des zu errichtenden Gebäudes fließen zwei Kanäle („Kanal 1“ in Abbildung 2). Für diesen Kanal (beide Stränge getrennt) wurden von Wien Kanal Kanaldurchflussdaten von 2008 zur Verfügung gestellt. Aus der Auswertung der minutlichen Wasserstandsdaten ergibt sich, dass einer der beiden Kanäle, der südöstliche der beiden Parallelstränge (der rechte in Fließrichtung), etwas höhere Durchflusswerte aufweist. Diese sinken auch in der Nacht nicht oder nur unwesentlich unter 50 l/s. Um die Daten übersichtlich zu gestalten, wurden die Minutenwerte zu 2-Stunden-Mittelwerten zusammengefasst. Die folgenden Abbildungen zeigen die 2-Stunden-Mittelwerte dieses Kanals für 4 repräsentative Monate: Jänner, April, Juli und Oktober. Tag 1 bedeutet also keinen bestimmten Tag und die 12 Datenpunkte von Tag 1 (bis 31) müssen nicht alle am selben Tag aufgetreten sein. Besonders hohe Werte sind nicht mehr abgebildet – diese gehen auf Niederschlagsereignisse zurück und sind für die Potenzialabschätzung nicht von Relevanz.

Das Gefälle beträgt ca. 2 bis 4 Promille.

Untersuchung der Nutzung von Fernwärme und Absorptions-/Kompressionswärmepumpen in Kombination mit Abwasserwärme

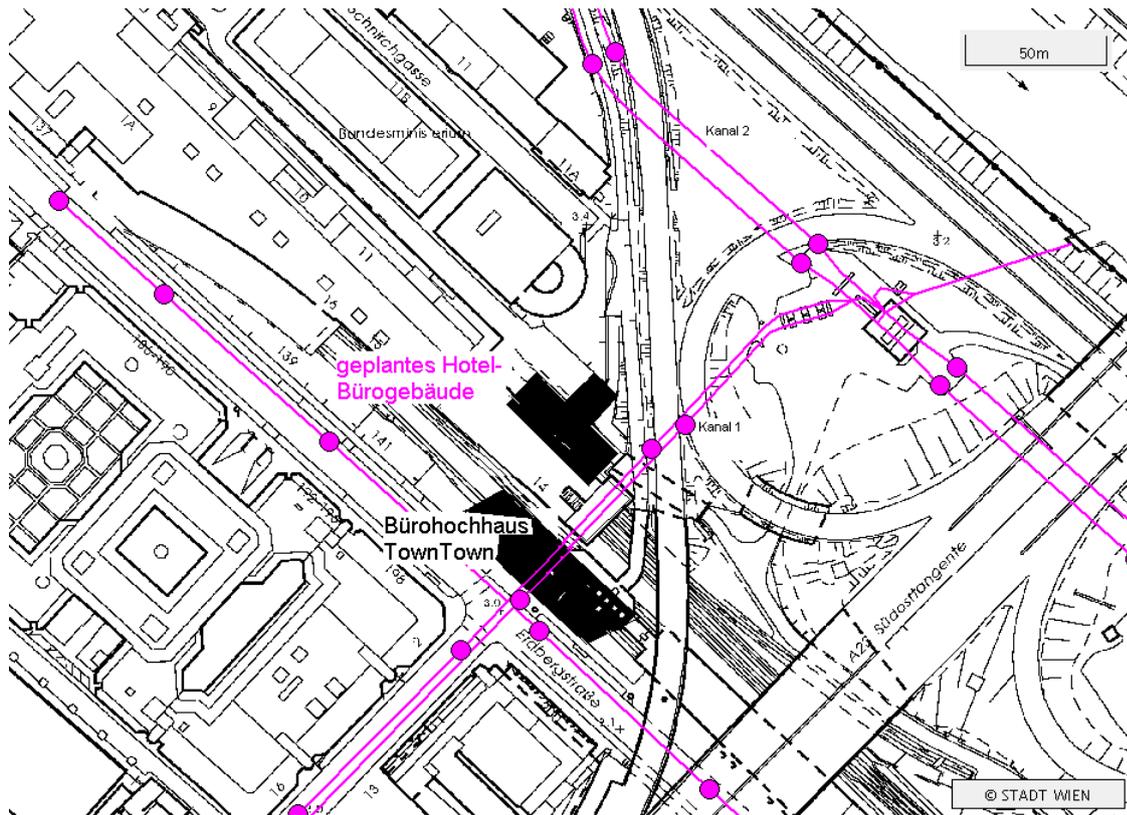


Abbildung 2: In der Umgebung des bereits bestehenden Gebäudes („Bürohochhaus TownTown“) und des geplanten Hotel-Bürogebäudes vorhandene Kanäle und ungefähre Umriss des bestehenden Bürohochhauses TownTown sowie des geplanten Hotel-Bürogebäudes; Quelle: www.kanis.at, Stand: 9. März 2011, Ergänzungen (Füllungen, Beschriftungen): Österreichische Energieagentur

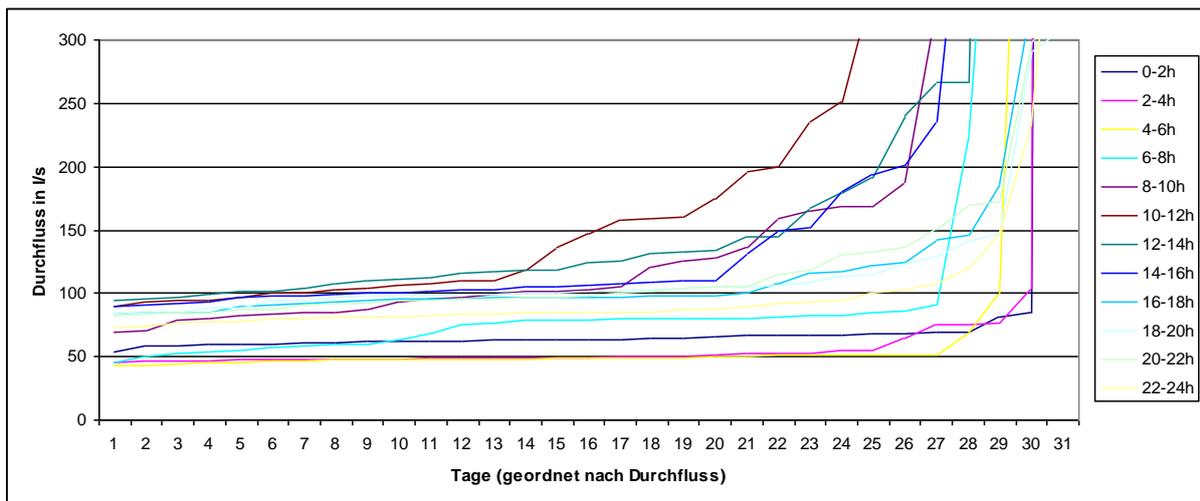


Abbildung 3: Durchflussdaten Jänner 2008; Quelle: Datenbasis: Wien Kanal; Berechnung und Darstellung: Österreichische Energieagentur

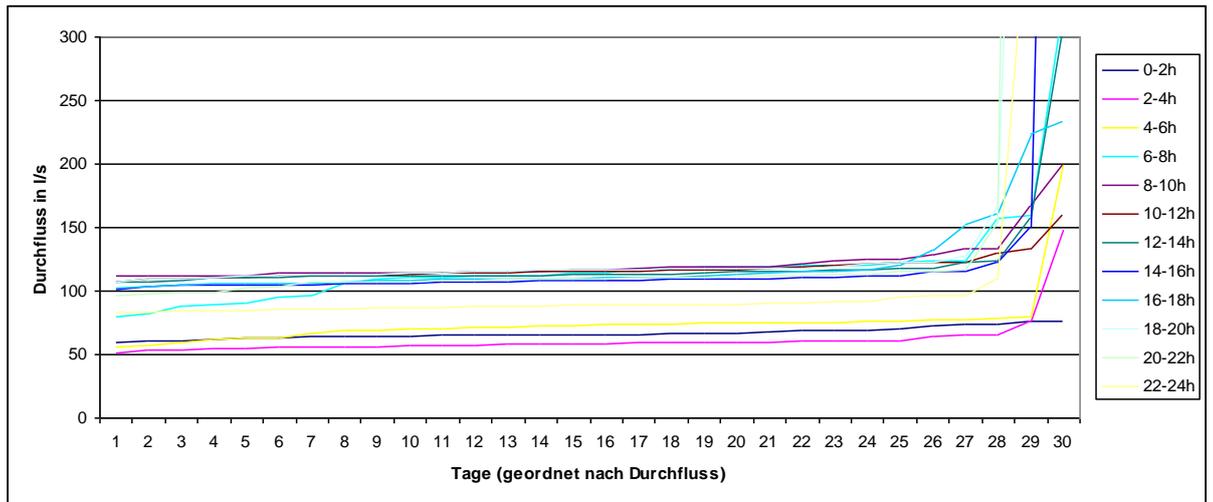


Abbildung 4: Durchflussdaten April 2008; Quelle: Datenbasis: Wien Kanal; Berechnung und Darstellung: Österreichische Energieagentur

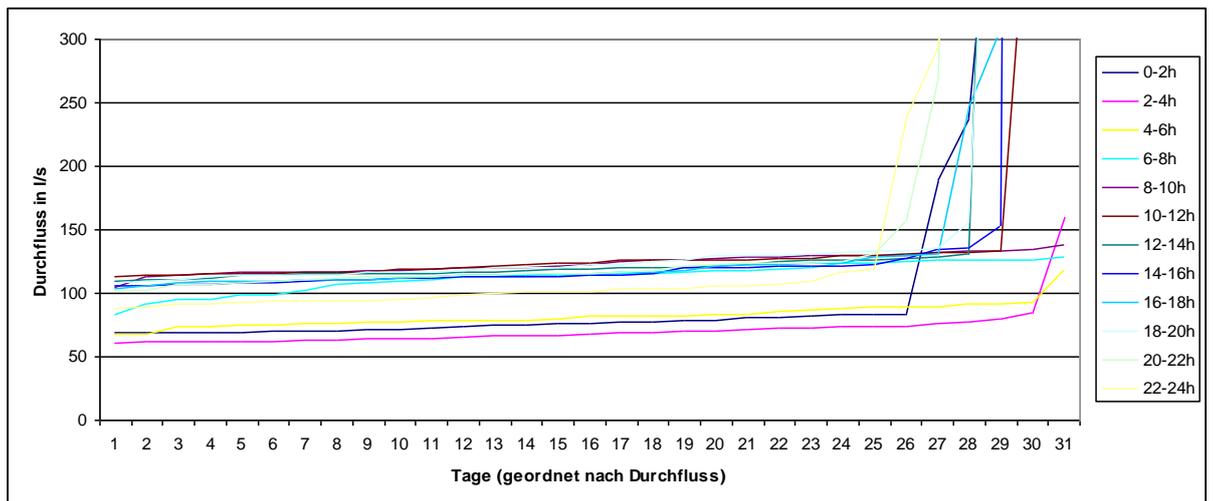


Abbildung 5: Durchflussdaten Juli 2008; Quelle: Datenbasis: Wien Kanal; Berechnung und Darstellung: Österreichische Energieagentur

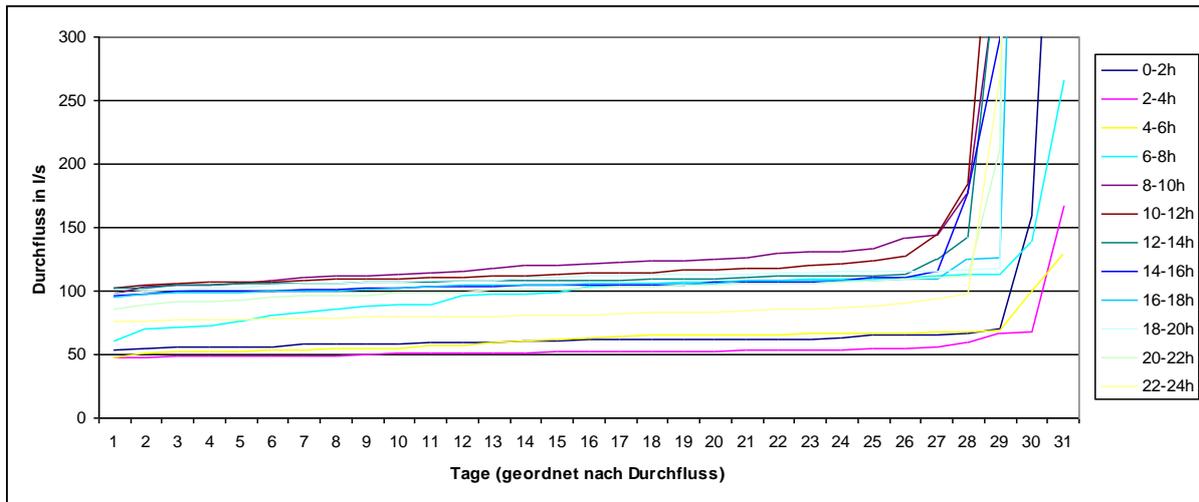


Abbildung 6: Durchflussdaten Oktober 2008; Quelle: Datenbasis: Wien Kanal; Berechnung und Darstellung: Österreichische Energieagentur

Aus den obigen Abbildungen ist ersichtlich, dass auch in der Nacht immer mindestens ca. 50 l/s durch diesen Kanal fließen. Der Quotient aus höchstem und niedrigstem Durchfluss pro Tag liegt etwa bei 2. Der niedrigste Durchfluss liegt im Winter zwar etwas niedriger als in den Sommermonaten, jedoch ist dieser Unterschied gering.

Alternativ stünde auch noch ein Kanal zur Verfügung, der entlang der Ostautobahn nordöstlich des Gebäudes vorbeifließt („Kanal 2“ in Abbildung 2). Der geringste Abstand zum Untersuchungsobjekt beträgt knapp über bzw. zum noch zu realisierenden Hotel-Bürogebäude knapp unter 100 Meter. Auf dem direkten Verbindungsweg befinden sich zwar keine Gebäude, jedoch wäre eine Autobahnauffahrt zu untergraben. Theoretisch kommt auch eine Verbindung durch Kanal 1 (Wärme- und Kälteleitungen im Kanal verlegt) in Betracht. Dies würde – neben den Kosten – den Genehmigungsaufwand voraussichtlich deutlich erhöhen.

Die Option „Kanal 2“ wäre aufgrund der größeren Entfernung nur verfolgenswert, wenn sich herausstellt, dass Kanal 1 nicht die nötigen Abwassermengen zur Verfügung stellen kann, um die gewünschten Heiz- und Kühlleistungen bereitzustellen oder aus anderen Gründen nicht in Betracht kommt (zu geringer Querschnitt, zu hohe Auslastung, Erhaltungszustand etc.).

Die dritte (von der Lage her theoretische) Möglichkeit wäre der Kanalstrang, der entlang der Erdbergstraße fließt. Dieser kommt jedoch nicht in Frage, da er erst (wie auch in Abbildung 2 erkennbar) etwa 200 Meter von der potenziellen Entnahmestelle entfernt beginnt und damit nicht die erforderliche Ablaufmenge bereitstellen kann, die für die thermische Abwassernutzung benötigt wird.

Zur Abschätzung der Temperaturverhältnisse am Standort wurden die von EbS Wien ermittelten Zulauftemperaturen des Abwassers zur Kläranlage herangezogen (siehe Abbildung 7).

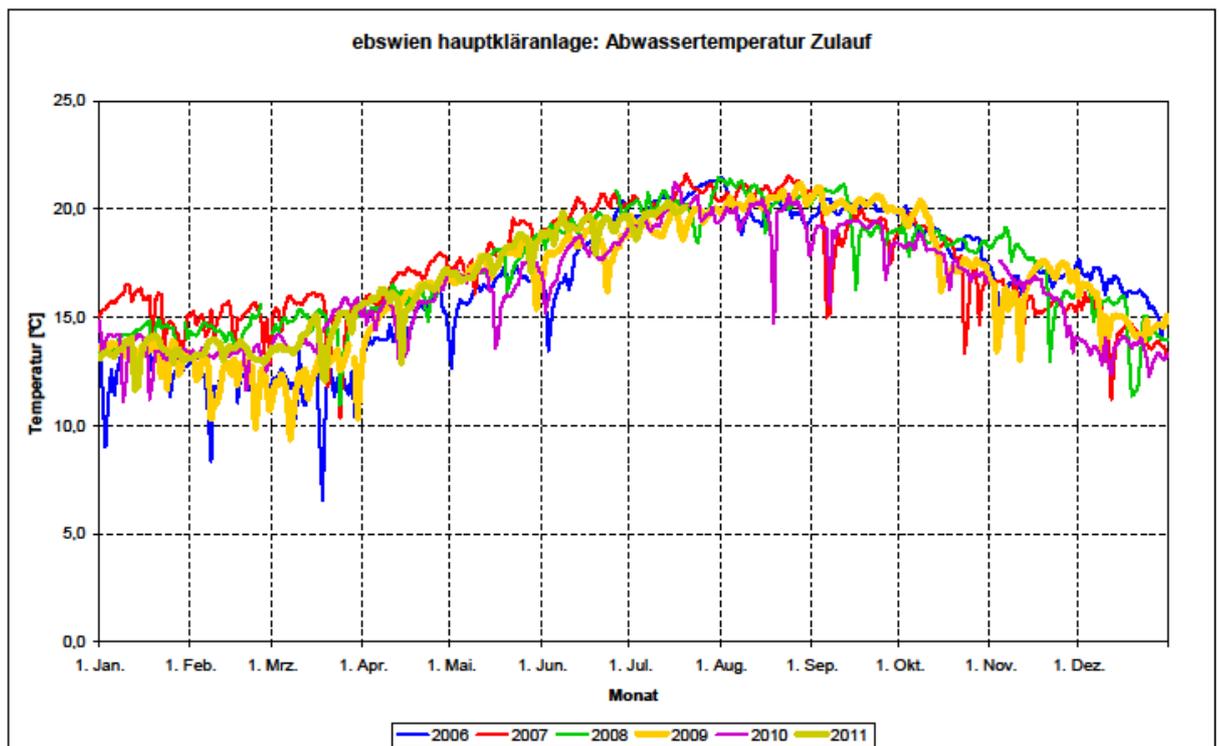


Abbildung 7: Abwassertemperatur im Zeitraum 2006 – Juli 2011 im Zulauf der Kläranlage Wien Simmering, Quelle: EbS Wien

Aus obigem Diagramm ist ersichtlich, dass die Temperatur fast nie unter 10°C sinkt. Lediglich bei enormen Schmelzwassermengen (wie es zuletzt in den ersten drei Monaten des Jahres 2006 der Fall war sowie auch ganz minimal im März 2009) ist eine kurzfristige Unterschreitung dieses Wertes möglich. In Anbetracht der Tatsache, dass Fernwärme im Gebäude weiterhin verfügbar sein wird und auch ein Fernwärmeanschluss im zu errichtenden Gebäude vorgesehen ist, kann die Anlage auf eine Minimaltemperatur von 12°C für den Heizbetrieb ausgelegt werden. Damit nimmt man in Kauf, dass nicht nur bei Störungen oder geplanten Abschaltungen der thermischen Abwassernutzungsanlage Fernwärme einspringt, sondern auch als Spitzenlastabdeckung zu etwa 25% der Zeit in den Monaten Jänner bis März zugeschaltet werden muss.

Die für den Kühlfall interessierende Höchsttemperatur im Sommer kann mit 21,5°C angesetzt werden. Da auf dem Areal auch Fernkälte vorhanden ist, ist auch hier eine bivalente Nutzung möglich. Der Wärmetauscher kann somit auch auf 20°C Abwassertemperatur ausgelegt werden.

Diese nicht auf den Maximalfall angepasste Auslegung – sowohl für Wärme als auch für Kälte – spart Installationskosten; dafür kann bei sehr hohen/niedrigen Temperaturen mit niedriger Stundenanzahl pro Jahr nicht der gesamte Wärme-/Kältebedarf gedeckt werden. In einer detaillierteren Analyse könnte hier mit einer Optimierungsrechnung ein Optimum gesucht werden. Dazu sind aber genaue Verbrauchsprofile sowie differenzielle Kosten zu Grunde zu legen. Erstere sind derzeit noch gar nicht vorhanden, weshalb der gewählte Ansatz für die weiteren Berechnungen verwendet wird.

Von Wien Kanal bestehen Bedenken hinsichtlich zu hoher Temperaturen und damit verbundener Geruchsbelästigung durch bereits vor der Kläranlage einsetzende biologische Abbauprozesse. Bei dieser Temperaturerhöhung spielt nicht nur die resultierende Änderung bei der Kläranlage eine Rolle, sondern auch die Änderung im jeweiligen Kanalstrang. Bei der Abkühlung jedoch ist hauptsächlich die Änderung bei der Kläranlage von Bedeutung.

Im Folgenden wird beispielhaft berechnet, wie sich eine Wärmeentnahme von 500 kW aus dem Abwasser (ca. 625 kW Heizleistung) auf die Temperatur des Zulaufs der Kläranlage in Wien Simmering auswirkt. Die gleiche Temperaturänderung – mit umgekehrtem Vorzeichen – erhält man durch Wärmeeintrag von 500 kW in das Abwasser. Dies entspricht dann aber einer Kühlleistung von etwa 400 kW (jeweils unter Annahme einer Leistungszahl von 4).

Einerseits wird der ungünstigste Fall berechnet: Der Wärmeaustausch mit der Umgebung wird vernachlässigt (entspricht einer Wärmeentnahme unmittelbar vor der Kläranlage) und die geringste auftretende Abflussmenge herangezogen.

Andererseits wird auch auf die Auswirkungen bei Zufluss im Trockenwettermittel Bezug genommen und die Auswirkungen einer Entfernung von 10 km zwischen Wärmeentnahme und Kläranlage dargestellt.

Laut EbS (Entsorgungsbetriebe Simmering) beträgt der minimale Trockenwetterabfluss etwa 2.500 l/s, dies entspricht 9.000 m³/h.

Die Wärmekapazität von Wasser beträgt 4.182 kJ/K = 1,162 kWh/Km³. Somit ist ein Energieentzug von 9.000*1,162 kW = 10,46 MW notwendig, um den Kläranlagenzufluss im ungünstigsten Fall um 1°C abzukühlen. Eine Anlage mit einer Entzugsleistung von 500 kW würde damit, wenn sie sich unmittelbar vor der Kläranlage befände, im ungünstigsten Fall zu einer Abkühlung des Kläranlagenzulaufes von 0,048°C führen.

Die Entfernung zwischen TownTown und Kläranlage beträgt jedoch etwa 5 km. Nach [8] ist der Effekt einer 1°C-Reduktion nach 10 km auf 0,74°C abgeklungen. Für 5 km wird daher ein (zur Sicherheit linearisierter) Wert von 0,87°C angenommen. Daher kann die Wärmeentnahme bei geringstem Abfluss höchstens zu einer Abkühlung um 0,042°C führen und bei mittlerem Trockenwetterabfluss (6.800 l/s) zu 0,015°C.

Da die Verweildauer des Abwassers etwa 20 Stunden (EbS) beträgt und auch die Untersuchungen von [8] zeigen, dass kurzfristige Schwankungen in der Zulauftemperatur in der Kläranlage weitgehend ausgeglichen werden, ist vor allem dieser Mittelwert von 0,015°C (für 500 kW Wärmeentzugsleistung) von Interesse. Die betragsmäßig gleiche Erwärmung ergäbe sich bereits bei einer Kälteleistung von 400 kW (jeweils bei einer Arbeitszahl von 4).

Die Auswirkung auf die Temperatur des Abwasserkanals, der für die thermische Nutzung verwendet wird, ist natürlich höher. Für den Heizfall (Abkühlung des Abwassers) wäre dies aus Kanalsicht aber nur bei der Gefahr des Einfrierens von Bedeutung, welche aufgrund der Auslegungstemperaturen ausgeschlossen werden kann. Beim Kühlfall ist, wie ausgeführt, auch die Erwärmung im jeweiligen Kanalstrang zu berücksichtigen.

Bei einem Abfluss von 43 l/s (absoluter 2h-Minimalmittelwert innerhalb des einjährigen Messzeitraumes des in Frage kommenden Kanals) bewirkt eine Leistung von 500 kW (Ent-

zug oder Einbringung; d.h. ca. 400 kW Kühl- oder 625 kW Heizleistung bei einer Leistungszahl von 4) eine Temperaturänderung um etwa 2,8°C.

Tabelle 4: Auswirkungen einer Entzugsleistung von 500 kW auf die Temperatur des betrachteten Kanalstrangs bei Minimalabfluss von 43 l/s sowie auf die 5 km entfernte Kläranlage bei Minimalabfluss und mittlerem Trockenwetterabfluss; Quelle: Österreichische Energieagentur

	Entzugsleistung	bedeutet Wärmeleistung	bedeutet Kühlleistung	bewirkt Temperaturänderung
Kanalstrang Minimalabfluss	500 kW	625 kW	400 kW	2,778°C
Kläranlage Minimalabfluss	500 kW	625 kW	400 kW	0,042°C
Kläranlage mittl. Trockenwetterabfluss	500 kW	625 kW	400 kW	0,015°C

Der Effekt auf die Temperatur des Abwassers einer Anlage gemäß der im Rahmen des Projektes durchgeführten Grobplanung wird am Ende des nächsten Abschnittes ermittelt (siehe Tabelle 7).

3.4 Konzeption der thermischen Abwassernutzungsanlage

Zur Erschließung eines Kanals für thermische Abwassernutzung gibt es zwei unterschiedliche Varianten in Bezug auf den Ort des Wärmetauschers: Dieser kann entweder direkt im Kanal verlegt werden oder das Abwasser wird aus dem Kanal geleitet und einem externen Wärmetauscher zugeführt. Im Prinzip wäre die Geometrie und der Verlauf des Kanals (langes gerades Stück) für einen Kanalwärmetauscher geeignet. Da Wien Kanal keine Einbauten im Kanal genehmigt, wird in dieser Studie die Variante eines externen Wärmetauschers untersucht. Weiters sind einem Kanalwärmetauscher wegen eines relativ fest vorgegebenen Verhältnisses zwischen maximaler Entzugs- bzw. Wärmeeintragsleistung und Länge des Kanalwärmetauschers Grenzen gesetzt, die mit den hier angedachten Dimensionen bereits überschritten sein dürften. Ein externer Wärmetauscher kann hingegen pro kW Leistung wesentlich kompakter aufgebaut werden, sodass hier weit höhere Leistungen bewältigbar sind.

Firma Huber SE mit Sitz in Berching (Bayern) erstellte auf Basis einer Besichtigung der örtlichen Gegebenheiten im Beisein von Vertretern von Wien Kanal ein Konzept zur Nutzung der thermischen Energie des Abwassers.

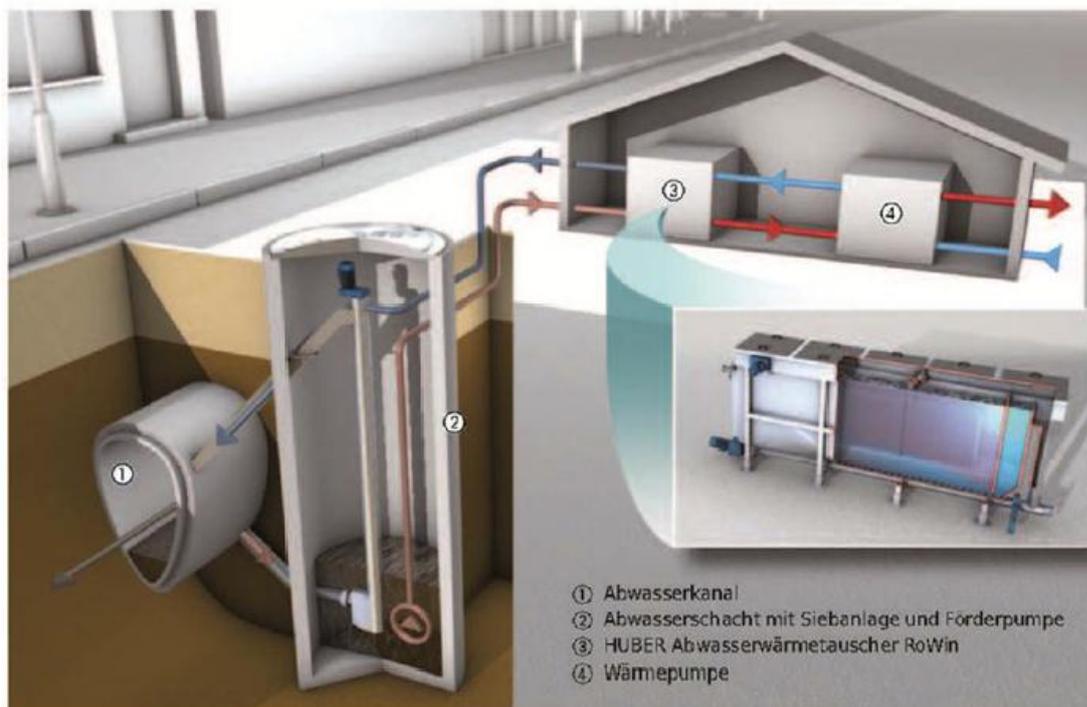
Nach Fa. Huber SE lässt sich das Anlagenkonzept wie folgt beschreiben:

„Der hier vorgesehene Prozess zum Entzug von Energie aus dem Abwasser erfolgt nach dem Verfahren HUBER ThermWin®. Über ein Entnahmebauwerk wird ein Teilstrom des Abwassers aus dem Abwasserkanal entnommen. Die im Entnahmebauwerk integrierte

Siebanlage sorgt für den Rückhalt von Grobstoffen. Das gesiebte Abwasser wird über den Wärmetauscher geleitet. Die Durchströmung erfolgt im Freispiegel (*also keine Druckrohrleitung, Anm.*). Hier erfolgt die Erwärmung des Sekundär-Kreislaufes, der mit der Wärmepumpe gekoppelt ist. Nach erfolgtem Wärmeübergang fließt das um seine thermische Energie erleichterte Abwasser zurück in den Abwasserkanal. Hierbei wird das vorher ausgesiebte Material zurück in den Kanal geschwemmt“ (siehe Abbildung 8).

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die zwei wesentlichen Komponenten der thermischen Abwassernutzungsanlage: Die erste ist das Schachtbauwerk mit der Schachtsiebanlage, welche mittels einer Schnecke Grobstoffe aus dem Abwasser entfernt (d.h. eine Vorfiltration vornimmt). Das gesiebte Abwasser gelangt weiter zum Wärmetauscher, während die ausgesiebten Feststoffe mit dem bereits vom Wärmetauscher zurückfließenden Abwasserstrom zurück in den Kanal zurückgeschwemmt werden.

Die zweite zentrale Komponente ist der Wärmetauscher. Hier fließt das vorgeseiebte Abwasser durch den Behälter, in dem sich je nach Ausführung unterschiedlich viele Rohrschlangen befinden. Darin fließt das Wasser des Sekundärkreislaufes mit etwas geringerer Temperatur als das Abwasser einige Male im Tauscher (in den Röhren) hin und her (Kombination aus Gleich- und Gegenstromprinzip), nimmt dadurch laufend Wärme auf (in der Abbildung durch rötler werdende Rohrfarbe dargestellt) und fließt weiter zur Wärmepumpe. In regelmäßigen Zeitabständen gleiten Plastikmanschetten über die Rohre, damit die Sielhautbildung (Ablagerung von Schmutzstoffen aus dem Abwasser, die von der Vorsiebung nicht erfasst wurden), welche die Wärmeübertragung reduzieren würde, unterbunden wird.



Funktionale Darstellung der Rückgewinnung von thermischer Energie aus Abwasser nach dem Verfahren HUBER ThermWin®

Abbildung 8: Darstellung des Funktionsprinzips mit Schachtsiebanlage, Wärmetauscher und Wärmepumpe, Quelle: Huber SE

In der folgenden Abbildung wird der Wärmetauscher detailliert dargestellt.

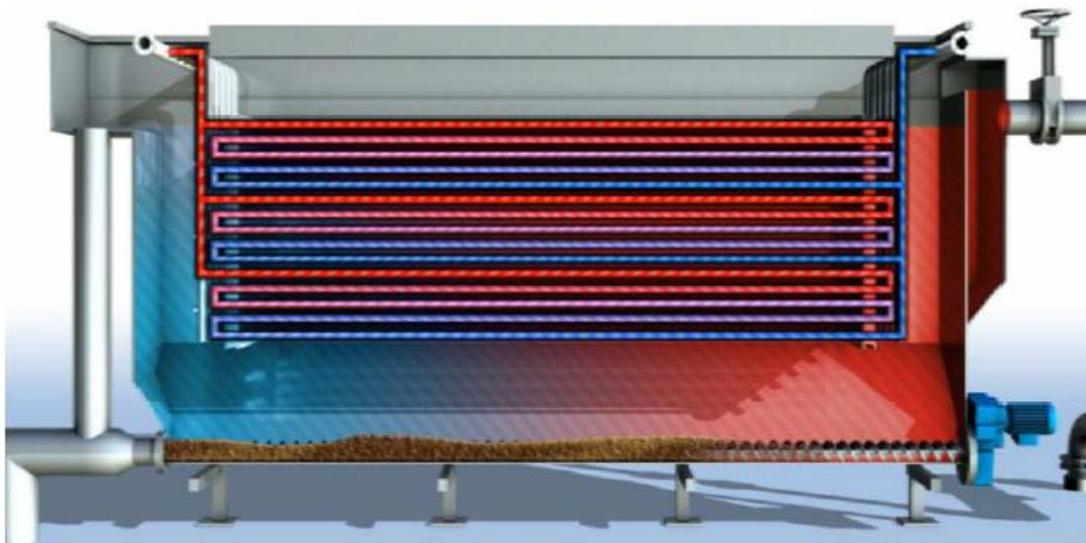


Abbildung 9: Wärmetauscher, Quelle: Huber SE

Die Wärmepumpe selbst ist keine Spezialanfertigung, die Anforderungen an diese unterscheiden sich nicht von denen an eine Wärmepumpe, die als Wärmedium Grundwasser, Erdreich oder Außenluft verwendet.

Als Wärmepumpe wird das Modell ISWS ER1 der Firma Ochsner Wärmepumpen GmbH gewählt. Die für die hier geforderten Lastfälle gültigen technischen Daten finden sich in Tabelle 5, ein ausführlicheres technisches Datenblatt mit Standard-Lastfällen zeigt Tabelle 6.

Tabelle 5: Auslegungsdaten für die für die Machbarkeitsstudie relevanten Lastfälle; Quelle: Ochsner Wärmepumpen GmbH

Heizbetrieb	
Nennleistungsaufnahme	59 kW
Nennheizleistung	310 kW
COP Heizbetrieb	5,3
Auslegungstemp. VL/RL	35°C/30°C
Kühlbetrieb	
Nennleistungsaufnahme	60 kW
Nennkühlleistung	297 kW
COP Kühlbetrieb	4,9
Auslegungstemp. VL/RL	20°C/15°C

Tabelle 6: Technische Daten der gewählten Wärmepumpe; Quelle: Ochsner Wärmepumpen GmbH

TECHNISCHE DATEN:

Masse	1185 kg
Nennspannung	400 V
Frequenz	50 Hz
Anlaufstrom Teilwicklung	423 A
Max. Betriebsstrom	162 A

Höhe	1694 mm
Breite	3550 mm
Tiefe	900 mm

Leistungsangaben bei 50°C/w35°C

Heizleistung	232,4 kW
Kälteleistung	178,1 kW
Leistungsaufnahme	54,3 kW
Leistungszahl	4,3
Betriebsstrom	90,1 A

Leistungsangaben bei 50°C/w50°C

Heizleistung	226,0 kW
Kälteleistung	147,6 kW
Leistungsaufnahme	78,4 kW
Leistungszahl	2,9
Betriebsstrom	139,7 A

KOMPRESSOR

Anzahl	1
Bauart	halbhermetischer Kompakt-Schrauben-Verdichter
Leistungsstufen	2 (stufenlos)

Arbeitsmittel	R407C
Arbeitsmittel-Menge	48 kg
Ölmenge (BSE 170)	15 l

VERDAMPFER

Rohrbündelwärmetauscher	
max. Verdampfeintritt	20 °C!
Wärmeträgertemperaturdifferenz	4 K
min. Wärmeträger-Volumenstrom	40,1 m³/h
interne Druckdifferenz	0,62 bar

KONDENSATOR

Rohrbündelwärmetauscher	
Wärmeträgertemperaturdifferenz	5 K
min. Wärmeträger-Volumenstrom	40,0 m³/h
interne Druckdifferenz	0,53 bar

Die Auslegungstemperaturen und -durchflüsse für den Heiz- und Kühlfall sind in den beiden nachfolgenden Abbildungen dargestellt.

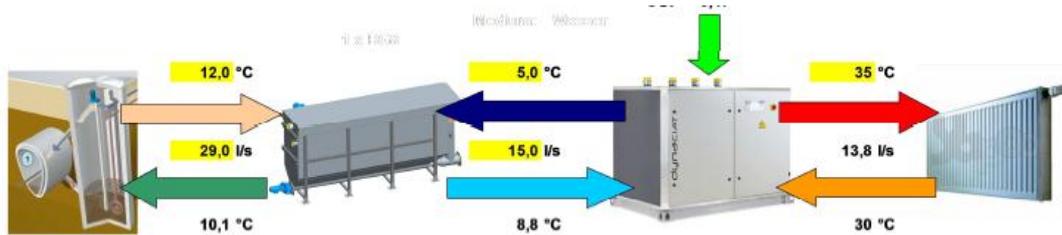


Abbildung 10: Auslegungstemperaturen und -durchflüsse für den Heizfall, Quelle: Huber SE

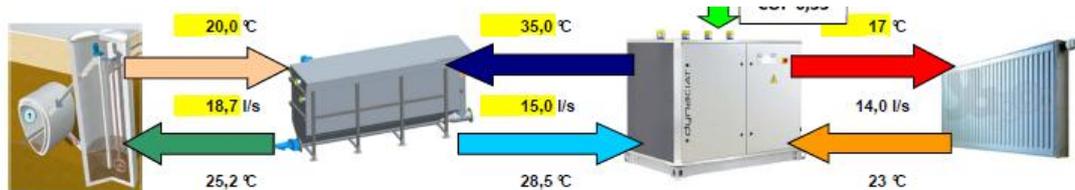


Abbildung 11: Auslegungstemperaturen und -durchflüsse für den Kühlfall, Quelle: Huber SE

Die Temperaturen entsprechen den in Tabelle 2 und Tabelle 3 angeführten geforderten Vorlauftemperaturen bzw. orientieren sich an den Temperaturjahresgängen des Abwasserkanals wie in Abbildung 7 angenommen. Der Maximalwert des Abwasserentzugs von 29 l/s im Heizfall liegt ebenfalls weit unter dem Minimaldurchfluss von knapp unter 50 l/s. Damit entspricht diese Anlage den gegebenen Rahmenbedingungen und ist an die vorgegebenen Temperaturegebenheiten angepasst. Die Zeiten, in denen die Abwassertemperatur 12°C unterschreitet bzw. 20°C übersteigt, sind vorhanden, jedoch wurde im Sinne der Wirtschaftlichkeit ein Mittelweg gewählt, diese Extremfälle nicht durch eine größer dimensionierte Anlage abzudecken, sondern dann eben einen kleinen Teil durch Fernwärme bzw. -kälte zu versorgen. Auch innerhalb dieser Über- bzw. Unterschreitungszeiträume kann ja weiterhin ein großer Teil von der thermischen Abwassernutzungsanlage bereitgestellt werden, sofern aus Kanalsicht keine Beschränkungen entgegenstehen. Es zeigt sich, dass die Anlage für den Heizfall um etwa 8% überdimensioniert ist: Sie wird auf den Kühlfall ausgelegt; damit ergibt sich bei den spezifischen Anforderungen automatisch eine leichte Überdimensionierung für den Heizfall, da es sich ja um dieselbe Anlage für beide Lastfälle handelt. Damit reicht die Auslegung auch noch bis zu einer Abwassertemperatur zwischen 10 und 11°C, um den vollständigen Heizbedarf zu decken.

Aufgrund der durchgeführten Dimensionierung ist ein Zuschalten von Fernwärme/Fernkälte für die Betonkernaktivierung sowie die Heiz- und Kühldecken aus der Technikzentrale im Kellergeschoß (d.s. die der Machbarkeitsstudie unterzogenen Anteile der Heiz- und Kühlversorgung des Gebäudes, siehe Tabelle 2 bzw. Tabelle 3) bedarfsseitig, also aufgrund einer zu geringen bzw. hohen Außenlufttemperatur allein, ausgeschlossen. Es muss auch noch (angebotsseitig) zu einer zu geringen bzw. hohen Abwassertemperatur kommen (d.h. unter bzw. über den Auslegungstemperaturen von 10 bis 11°C bzw. 20°C). Genau genommen ergibt sich eine Kurve in einem Außenlufttemperatur-Abwassertemperatur-Diagramm (gleichbedeutend mit Heiz-/Kühllast-Abwassertemperatur), auf deren einer Seite der Bedarf zur Gänze gedeckt werden kann, auf der anderen Seite nur teilweise – je weiter von der Kurve entfernt, umso weniger. Eine quantitative Darstellung kann jedoch nur mit detaillierten Messprotokollen der Wärmepumpe gegeben werden, die derzeit nicht vorliegen, was aber für die Zwecke dieser Machbarkeitsstudie auch nicht notwendig ist.

Die Anlage ist so dimensioniert, dass sie dem Abwasser im Heizfall höchstens 236,9 kW entnimmt und im Kühlfall höchstens 407,7 kW Wärmeleistung zuführt. Die in Tabelle 4 beispielhaft berechneten Temperaturänderungen werden daher mit dieser Auslegung nie erreicht werden. Die mit dieser Auslegung möglichen Temperaturveränderungen sind in Tabelle 7 veranschaulicht.

Tabelle 7: Temperaturbeeinflussung bei maximaler Heiz- und Kühlleistung auf Abwasserentnahmestelle bei Minimalabfluss von 43 l/s, Minimalzufluss zur Kläranlage von 2.500 l/s und durchschnittlichem Trockenwetter(TW-)zufluss von 6.800 l/s; Quelle: Österreichische Energieagentur

	Leistung	Entnahmestelle Minimalabfluss	Kläranlage 5 km entfernt	
			Minimalzufluss	mittl. TW-Zufluss
Heizfall	236,9	- 1,316°C	- 0,023°C	- 0,008°C
Kühlfall	407,7	2,265°C	0,039°C	0,014°C

Sollten bei hohen Abwassertemperaturen zusätzliche 2,265°C z.B. durch zu hohe Geruchsbelästigung nicht tolerabel sein, so müsste ein Schwellwert eingeführt werden, ab der die Anlage in der Leistung begrenzt oder gar abgeschaltet werden muss und die Kühlung bi- oder auch monovalent durch Fernkälte bereitgestellt werden müsste. Etwa 130 Meter nach dem potenziellen Abwasserentnahmeort befindet sich ein Zusammenfluss mit einem wesentlich größeren Kanal, wo die Temperaturänderungen (in beide Richtungen) durch den Mischungseffekt reduziert werden. Der Effekt in diesem Ausmaß ist daher nur lokal an und kurz nach der Entnahmestelle zu bewerten. Im Heizfall ist eine solche Beschränkung auf Basis der vorliegenden Daten nicht notwendig.

Weiterer Temperatureaustausch zwischen thermischer Nutzungsanlage und Kläranlage durch Erdreich und Außenluft wurde nicht berücksichtigt, da dieser nur zu einer Reduktion des Temperatureinflusses führen kann und nie zu einer Erhöhung. Die angestellte Berechnung stellt also eine Worst-Case-Betrachtung dar (ausgenommen sind mögliche, aber nicht zu erwartende, zukünftige Reduktionen beim Abwasseraufkommen in Wien).

Vor einer endgültigen Dimensionierung wird überdies empfohlen, eine am Standort direkt durchgeführte Temperaturmessung zu starten und eine Variationsrechnung über die optimalen Auslegungstemperaturen im Heiz- und Kühlfall anzustellen.

3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung erfolgt aus Sicht eines Gebäudeeigentümers, der die Investition in eine thermische Abwassernutzungsanlage selbst tätigt und auch die verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten trägt. Der Kunde ist also mit dem Gebäudeeigentümer gleichzusetzen.

Bei einer differenzierten Betrachtung, die bei einem vermieteten Gebäude angenommen werden kann, wonach der Gebäudeeigentümer (im gegenständlichen Fall eine Unterneh-

mensgemeinschaft) die Investition tätigt und auch für die Wartungskosten zuständig ist, die Mieter (im gegenständlichen Fall gewerbliche Mieter, Liste siehe [9]) aber die Heiz- und Kühlkosten tragen, kann gesagt werden, dass sich die Investition für den Gebäudeeigentümer nicht rentieren würde und für die Mieter jedenfalls von Vorteil ist. Berücksichtigt man jedoch, dass für einen Mieter die Gesamtkosten wesentlich sind und bei niedrigeren Betriebskosten eine entsprechend höhere Miete erzielt werden kann, ist auch bei dieser Konstellation die Wirtschaftlichkeitsberechnung auf den Gebäudeeigentümer zugeschnitten; für den/die Mieter wäre sie dementsprechend neutral (keine Kostendifferenz mit und ohne thermische Abwassernutzung).

Oftmals tritt auch ein Contractor (dies kann z.B. auch die Fernwärme Wien GmbH sein) als Investor einer thermischen Abwassernutzungsanlage auf und verkauft Wärme und Kälte zu einem fixen kWh-Preis an die Gebäudeeigentümer oder an die Mieter des Gebäudes. Da die Kosten des Referenzszenarios (ohne thermische Abwassernutzung) für den Contractor nicht bestimmt werden können bzw. vom jeweiligen Contractor abhängen, kann für diesen auch keine Einsparung ermittelt werden. Dies ist daher ein grundlegend verschiedenes Szenario und wird in dieser Berechnung nicht abgedeckt.

Bei der folgenden Wirtschaftlichkeitsrechnung werden die folgenden zwei Varianten verglichen:

- 1.) Der Kunde (Wärmeabnehmer des Bürohochhauses TownTown bzw. des in Planung befindlichen Hotel-Bürogebäudes) bezieht seinen Wärme- und Kältebedarf zur Gänze von Fernwärme Wien (Fernwärme- und Fernkälteanschluss).
- 2.) Der Kunde finanziert und betreibt die thermische Abwassernutzungsanlage selbst und nutzt Fernwärme und Fernkälte von Fernwärme Wien als Spitzenlastabdeckung sowie als Ausfallssicherung.

Die Amortisation ist folglich zu jenem Zeitpunkt gegeben, an dem die kumulierten Investitions- und Wartungskosten sowie die Kosten für den elektrischen Strom für die Wärmepumpe die vermiedenen Energiekosten für Fernwärme/Fernkälte (Arbeitspreis) unterschritten haben. Anschluss- und Grundkosten für Fernwärme können außer Ansatz bleiben, weil sie nach Auskunft von Fernwärme Wien GmbH in beiden Varianten gleich hoch sind.

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit wird sowohl die Annuitätenmethode nach VDI 2067 als auch die vielfach eingesetzte Kapitalwertmethode angewendet.

3.5.1 Kostenkomponenten

Im Wesentlichen können drei verschiedene Kostenbeiträge unterschieden werden:

- 1.) verbrauchsgebundene Kosten
- 2.) kapitalgebundene Kosten
- 3.) betriebsgebundene Kosten

Bei der Betrachtung zweier verschiedener Szenarien und Beurteilung der Wirtschaftlichkeit einer Alternative gegenüber der anderen sind (zunächst) nur die Differenzkosten von Interesse. Diese können wie folgt aufgliedert werden:

Auf der einen Seite fallen bei vollständiger Deckung durch Fernwärme und -kälte

- höhere Energiekosten für den Fernwärme und -kältebedarf an (verbrauchsgebunden).

Auf der anderen Seite entstehen bei thermischer Abwassernutzung

- Kosten für die elektrische Energie der Wärmepumpe (v.a. Kompressor) (verbrauchsgebunden),
- die Investitionskosten für die thermische Abwassernutzungsanlage (kapitalgebunden)
- Wartungs- und Instandhaltungskosten für die thermische Abwassernutzungsanlage (betriebsgebunden)

Verbrauchsgebundene Kosten

Bei den verbrauchsgebundenen Kosten stehen auf der einen Seite Kosten ausschließlich für Fernwärme und -kälte. Auf der anderen Seite stehen (neben den in jedem Fall auftretenden Fernwärme- und -kältekosten für die Spitzenlastabdeckung) die Kosten für den elektrischen Strom für das Wärmepumpensystem.

Für die betrachteten Wärme- und Kälteanteile nach Tabelle 2 und Tabelle 3 wird eine im Jahresmittel 90%ige Deckung der Wärme- und Kältenachfrage durch die thermische Abwassernutzungsanlage angenommen. Die restlichen 10% müssen laut Annahme während ungünstiger Temperaturverhältnisse des Abwassers (bi- oder monovalent) bzw. auch während Wartungs- und Reparaturarbeiten (monovalent) durch Fernwärme bzw. -kälte gedeckt werden.

Somit ergeben sich folgende Parameter:

Wärmebedarf, gedeckt durch thermische Abwassernutzung: 480.600 kWh/a

Kältebedarf, gedeckt durch thermische Abwassernutzung: 346.500 kWh/a

Diese Wärme- und Kältemengen werden also je nach Variante durch Fernwärme und -kälte oder durch thermische Abwassernutzung bereitgestellt. Die restlichen bezogenen Wärme- und Kältemengen (auch für andere Wärme- und Kälteverteiler- und -abgabesysteme nach Tabelle 2 und Tabelle 3) werden in jedem Fall durch Fernwärme bzw. -kälte gedeckt. Daher sind diese Anteile bei der Differenzbetrachtung zwischen den beiden Varianten nicht von Interesse.

Zur Wirtschaftlichkeitsberechnung wird der durchschnittliche Wärme- und Kältepreis für Großkunden bei 2000 Volllaststunden für Heizung (6,688 ct./kWh) und bei 1100 h für Kühlung (9,5 ct./kWh) herangezogen (Quelle: Herr DI Penthor, Fernwärme Wien, September

2011¹). Für elektrischen Strom wird, basierend auf Daten von www.enerdata.net aus 2006 bis 2010, ein Preis von 10,83 ct./kWh angesetzt. Alle Preise sind exkl. USt.

Die jährliche Inflation für allfällige Ersatzinvestitionen vor der Amortisation wird (basierend auf der mittleren Steigerung des VPI zwischen 1990 und 2010) mit 2,12%² und die jährliche Verzinsung auf Basis der ÖNORM M 7140 und auch in guter Übereinstimmung mit den klima:aktiv-Vorgaben 1.5 (3% über der Inflation) mit 5% angenommen.

Die Energiepreisentwicklung wird aufgrund der unsicheren Prognosen in zwei verschiedenen Szenarien angenommen:

- 1.) Der durchschnittliche Preisanstieg in den letzten 20 Jahren (basierend auf den Statistiken der AEA von 1990 - 2010) betrug für Strom 1,91% p.a., für Fernwärme 1,95% p.a. (beide Werte werden zu 1,93% angenommen).
- 2.) Beim jährlichen Preisanstieg von Fernwärme und Strom wurden in den letzten 8 Jahren durchschnittlich 3% verzeichnet. Es wird erwartet, dass sich diese beschleunigte Preisentwicklung zukünftig fortsetzen könnte. Als 2. Szenario wird daher ein Energiepreisanstieg von 3% p.a. zu Grunde gelegt.

Da sowohl die Investitions- als auch die Energie- und Wartungskosten einer 20%igen USt. unterliegen, verschiebt sich der Amortisationszeitpunkt bei einer alternativ möglichen Bruttobetrachtung nicht, lediglich die Beträge sind mit 1,2 zu multiplizieren.

Kapitalgebundene Kosten

Da Fernwärme und -kälte auch bei thermischer Abwassernutzung als Ausfallssicherung und Spitzenlastabdeckung vorhanden sein sollen, sind für die Fernwärme- und -kälteanschlüsse keine Investitionskosten zu berücksichtigen. Damit fallen in der hier durchgeführten Differenzbetrachtung nur die Investitionskosten für die thermische Abwassernutzungsanlage ins Gewicht. Diese wurden ermittelt, wie im Folgenden dargestellt.

Firma Huber SE mit Sitz in Berching (Bayern) wurde für 5. Oktober 2011 eingeladen die Situation vor Ort zu besichtigen und ein Angebot als Basis für die Wirtschaftlichkeitsanalyse zu legen. Das Angebot weist Nettoinvestitionskosten in Höhe von € 431.000.- für das bestehende Gebäude und € 411.000.- für das zu errichtende Gebäude aus. Im Folgenden werden die € 411.000.- als Basis für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen verwendet, da die Installation im zu errichtenden Gebäude als die realistischere Variante gesehen wird. Die Preise gliedern sich auf wie in Tabelle 8 dargestellt. Der Wert von € 200.000.- für Baumeisterarbeiten basiert auf Erfahrungen der Firma Huber SE mit vergleichbaren Anlagen. Als Beispiel sei die Anlage des Wintower-Hochhauses in Winterthur (CH) genannt, die ebenfalls von Fa. Huber SE ausgeführt wurde.

¹ Laut Fernwärme Wien fällt bei typischen Großkunden ein höherer Arbeitspreis an als bei Privatkunden (dzt. ca. 3,7 ct./kWh für Wärme), da hier im Gegenzug weniger Grundpreis verrechnet wird.

² Die EZB (Europäische Zentralbank) versucht (in erster Linie durch den Leitzins) die Inflation im Euroraum nahe an, aber unter 2% zu halten. Da die momentane Entwicklung aber zeigt, dass dies nicht immer erreichbar ist, ist der etwas höhere Wert gerechtfertigt.

Als Lebensdauern für die thermische Abwassernutzungsanlage werden je nach Kostenposition unterschiedliche Werte angenommen (siehe Tabelle 8).

Tabelle 8: Kostenaufstellung für die thermische Abwassernutzungsanlage laut Angebot der Firma Huber SE bzw. Ochsner Wärmepumpen GmbH (jeweils netto); Darstellung: Österreichische Energieagentur

Position	Kosten in 1.000 €	Nutzungsdauer in a
Wärmetauscher	87	20
Schachtsiebanlage	34	20
Wärmepumpe	37	20
Controls für Pos. 1 bis 3	18	20
Lieferung, Montage, Inbetriebnahme	23	20
Pumpentechnik	12	20
Verrohrung und Baumeisterarbeiten	200	50
Summe	411	

Betriebsgebundene Kosten

Für die Fernwärme- und -kälteanlage fallen bei alleiniger Fernwärmeversorgung gleich hohe Wartungs- und Instandhaltungskosten an wie bei bloßer Spitzenlastabdeckung (und Grundlastdeckung durch thermische Abwassernutzung). Daher sind nur die Wartungs- und Instandhaltungskosten, die durch die thermische Abwassernutzung zusätzlich anfallen, zu betrachten.

Für die thermische Abwassernutzungsanlage wird auf Basis vergleichbarer bereits in Betrieb befindlicher Anlagen ein jährlicher Aufwand von 1% der Investitionssumme, das sind € 4.110.-, angesetzt. Diese steigen laut Annahme im Rahmen der allgemeinen Inflation von 2,12%.

Tabelle 9: Standardparameter für die Wirtschaftlichkeitsberechnung, nur im Punkt „Sensitivitätsanalyse“ werden andere Werte verwendet, JAZ...Jahresarbeitszahl, WP...Wärmepumpe; Quelle: Österreichische Energieagentur

Parameter	Wert
Investition therm. Abwassernutzungsanlage	€ 411.000.-
jährl. Wartungs- und Instandhaltungskosten	€ 4.110.-
Lebensdauer	20 bzw. 50 Jahre (s. Tabelle 8)
Zinssatz	5% p.a.
Preissteigerung Wartung – Inflation	2,12% p.a.
Preissteigerung Fernwärme	1,93% bzw. 3% p.a.
Preissteigerung elektr. Strom	1,93% bzw. 3% p.a.
Berechnungsart	netto (ohne USt.)
Preis elektr. Strom	10,83 ct./kWh
Preis Fernwärme	6,688 ct./kWh

Preis Fernkälte	9,5 ct./kWh
Wärmebedarf/a, gedeckt durch WP	480.600 kWh
Kältebedarf/a, gedeckt durch WP	346.500 kWh
JAZ Wärmepumpe (Kälte + Wärme)	4

Der Wert für die Jahresarbeitszahl von 4 ist als eher vorsichtig anzusehen, da auch die Temperaturverhältnisse, sowohl quellen- (siehe Abwassertemperaturen in Abbildung 7) als auch senkenseitig (siehe erforderliche Vorlauftemperaturen in Tabelle 2 und Tabelle 3) vergleichsweise günstig sind.

Für den Heizbetrieb kommt eine Studie des Fraunhofer Institutes zu einer mittleren Jahresarbeitszahl für Wärmepumpen mit Wärmequelle Erdreich von 3,9 (Mittelwert aus 56 Anlagen) [6]. Diese JAZ umfasst die Wärmepumpe sowie die Solepumpe. Bei zusätzlicher Integration der Ladepumpe sowie des Heizstabes sinkt die JAZ auf etwa 3,7. Des Vergleiches wegen ist dieser umfassendere Wert heranzuziehen. Die durchschnittliche Vorlauftemperatur für Heizung lag bei den getesteten Anlagen bei 36°C im Raumheizbetrieb (vgl. [7], S. 48), in der vorliegenden Studie ist mit einem weitaus günstigeren Wert von 30°C zu rechnen (vgl. Tabelle 2). Auf S. 88 desselben Berichtes wird zudem deutlich, dass die Vorlauftemperaturen selbst bei den Tiefensonden im Winter nur etwa 5°C beträgt, das Abwasser liegt mit fast immer über 10°C bedeutend besser. Zudem ist die hier berechnete Anlage in einem höheren Leistungsbereich, was ebenfalls für eine bessere Effizienz spricht. Selbst bei etwas unterdurchschnittlicher Anlagenperformance wäre aufgrund der Standortgegebenheiten zumindest für den Heizbetrieb mit einer JAZ von 4 oder darüber zu rechnen.

Für den Kühlbetrieb liegen die Temperaturverhältnisse mit einer erforderlichen Vorlauftemperatur von 17°C (bzw. 19°C) oft sogar unter der Wärmequellentemperatur („Free Cooling“). Die höchste Abwassertemperatur lag in den vergangenen 5 Jahren unter 22°C. Eine JAZ von 4 sollte damit auch hier erreichbar sein.

3.5.2 Annuitätenmethode

Bei der Annuitätenmethode werden die gesamten während des festzulegenden Betrachtungszeitraumes anfallenden Kosten gleichmäßig auf Jahreswerte umgelegt und zusätzlich abgezinst. Weiters wird auch ein Preisänderungsfaktor berücksichtigt (dynamische Betrachtungsweise).

Der Betrachtungszeitraum wird in dieser Studie mit 20 Jahren festgelegt. Die Annuitätenmethode gibt für beide Varianten (mit und ohne thermische Abwassernutzung) eine über die 20 Jahre gleich bleibende Annuität aus. Je höher diese Annuität ist, desto unwirtschaftlicher ist die Investition, d.h. die Variante mit der niedrigeren Annuität sollte bevorzugt werden.

In Abbildung 12 werden die kumulierten (bis zum jeweiligen Jahr angefallenen) Annuitäten mit und ohne thermische Abwassernutzung für einen jährlichen Preisanstieg von 1,93% bei Strom und Fernwärme/-kälte dargestellt, Abbildung 13 zeigt denselben Sachverhalt für eine Preissteigerung von 3% p.a. Es zeigt sich, dass in beiden Varianten die thermische Nutzung des Abwassers wirtschaftlich ist und bei einer höheren Preissteigerung der Abstand größer

Untersuchung der Nutzung von Fernwärme und Absorptions-/Kompressionswärmepumpen in Kombination mit Abwasserwärme

ist (weil die Energiekosten bei alleiniger Fernwärme- und -kälteversorgung einen höheren Anteil an den betrachteten Kosten ausmachen).

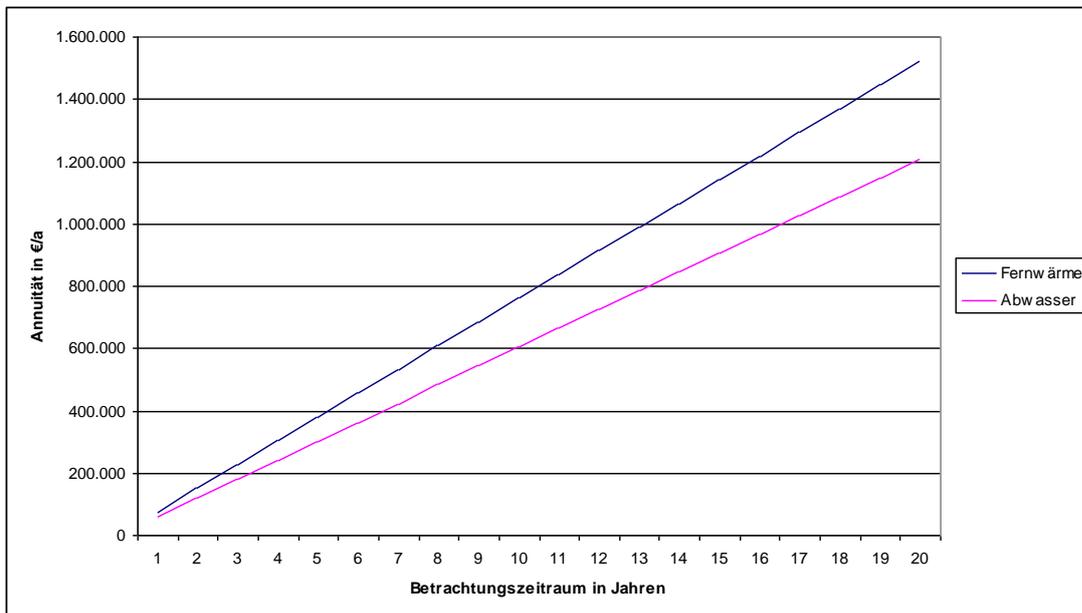


Abbildung 12: Annuität für alleinige Fernwärme- und -kälteversorgung sowie für thermische Abwassernutzung, Energiekostensteigerung: 1,93% p.a., Betrachtungszeitraum 20 Jahre; Quelle: Österreichische Energieagentur

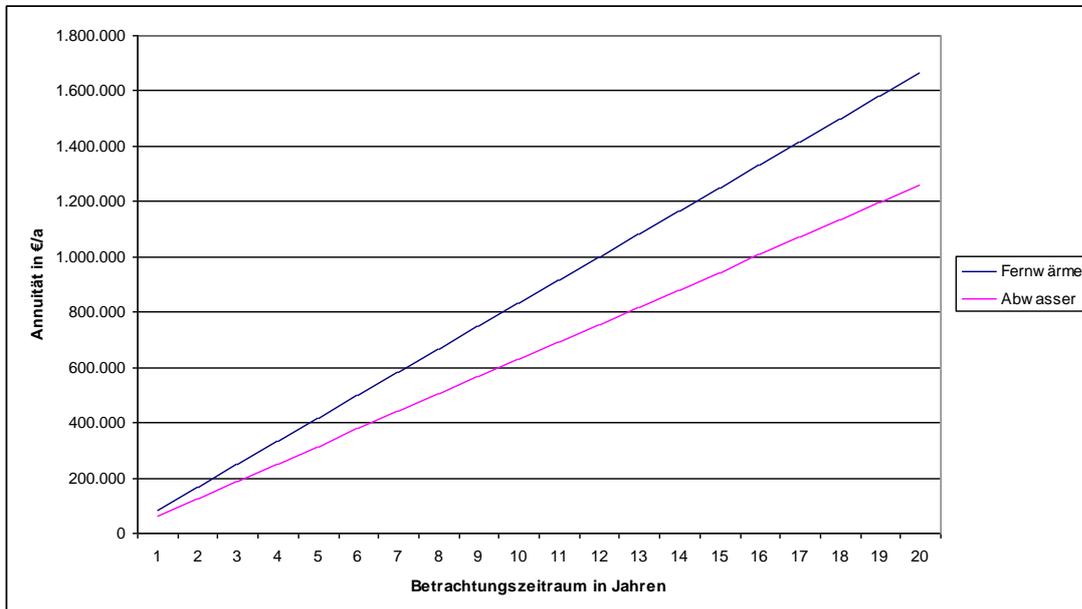


Abbildung 13: Annuität für alleinige Fernwärme- und -kälteversorgung sowie für thermische Abwassernutzung, Energiekostensteigerung: 3% p.a., Betrachtungszeitraum 20 Jahre; Quelle: Österreichische Energieagentur

Sensitivitätsanalyse zur Annuitätenmethode

Die vorangegangene Wirtschaftlichkeitsanalyse basiert auf Jahresarbeitszahlen für Heizung und Kühlung von jeweils 4. Da dieser Parameter aber ungewiss ist und gleichzeitig als sehr entscheidend zu sehen ist, wird im Folgenden eine Sensitivitätsanalyse der Amortisationszeit in Abhängigkeit der Jahresarbeitszahlen für Kälte- und Wärmegewinnung aus dem Abwasser (getrennt) durchgeführt.

Die Variationsparameter für die Sensitivitätsanalyse sind der Zinssatz, die zukünftigen Energiepreissteigerungen sowie die Jahresarbeitszahlen für Kälte- und Wärmeproduktion. In der Folge werden Zinssatz und die beiden Jahresarbeitszahlen variiert, einmal für eine niedrige Energiepreissteigerung (1,93% p.a., siehe Da die allgemeine Inflation kaum Auswirkungen hat, weil im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren keine Ersatzinvestitionen anfallen und auch die Wartungs- und Instandhaltungskosten klein gegen die Energiekosten sind, soll dieser Parameter der Übersichtlichkeit halber fix mit 2,12% p.a. angenommen werden.

Tabelle 10) einmal für eine höhere (3% p.a, siehe Tabelle 11).

Ausgabewert ist die Differenz der Annuitäten aus beiden Varianten (mit und ohne thermische Abwassernutzung). Ein positiver Wert bedeutet, dass die Annuität der Variante mit thermischer Abwassernutzungsanlage geringer und diese Variante somit im Vergleich wirtschaftlicher ist. Über den gesamten Zeitraum ist die ausgewiesene Differenz mit 20 zu multiplizieren.

Da die allgemeine Inflation kaum Auswirkungen hat, weil im Betrachtungszeitraum von 20 Jahren keine Ersatzinvestitionen anfallen und auch die Wartungs- und Instandhaltungskosten klein gegen die Energiekosten sind, soll dieser Parameter der Übersichtlichkeit halber fix mit 2,12% p.a. angenommen werden.

Tabelle 10: (Jährliche) Differenz der Annuitäten alleinige Fernwärme-/kälteversorgung minus Grundlastdeckung durch thermische Abwassernutzung; Energiepreissteigerung: 1,93% p.a., Betrachtungszeitraum: 20 Jahre; Quelle: Österreichische Energieagentur

Untersuchung der Nutzung von Fernwärme und Absorptions-/Kompressionswärmepumpen in Kombination mit Abwasserwärme

		Betrachtungszeitraum 20 Jahre					
		Jahresarbeitszahl Wärme					
		2,5	3,5	4,5	5,5		
Zinssatz in % p.a.	8%	Jahresarbeitszahl Wärme	2,5	-10411	-3568	233	2652
		Jahresarbeitszahl Wärme	3,5	-5478	1365	5166	7585
		Jahresarbeitszahl Wärme	4,5	-2737	4106	7907	10326
		Jahresarbeitszahl Wärme	5,5	-993	5850	9651	12070
	6,5%	Jahresarbeitszahl Wärme	2,5	-5147	1753	5586	8025
		Jahresarbeitszahl Wärme	3,5	-172	6727	10560	12999
		Jahresarbeitszahl Wärme	4,5	2591	9490	13323	15763
		Jahresarbeitszahl Wärme	5,5	4350	11249	15082	17521
	5%	Jahresarbeitszahl Wärme	2,5	-39	6920	10786	13246
		Jahresarbeitszahl Wärme	3,5	4978	11937	15803	18264
		Jahresarbeitszahl Wärme	4,5	7766	14725	18591	21051
		Jahresarbeitszahl Wärme	5,5	9539	16499	20365	22825
	3,5%	Jahresarbeitszahl Wärme	2,5	4895	11917	15818	18301
		Jahresarbeitszahl Wärme	3,5	9958	16980	20881	23363
		Jahresarbeitszahl Wärme	4,5	12770	19792	23693	26176
		Jahresarbeitszahl Wärme	5,5	14560	21582	25483	27965
	2%	Jahresarbeitszahl Wärme	2,5	9643	16730	20667	23172
		Jahresarbeitszahl Wärme	3,5	14752	21839	25776	28282
		Jahresarbeitszahl Wärme	4,5	17591	24678	28615	31120
		Jahresarbeitszahl Wärme	5,5	19397	26484	30421	32927
		Jahresarbeitszahl Kälte	2,5	-10411	-3568	233	2652
		Jahresarbeitszahl Kälte	3,5	-5478	1365	5166	7585
		Jahresarbeitszahl Kälte	4,5	-2737	4106	7907	10326
		Jahresarbeitszahl Kälte	5,5	-993	5850	9651	12070
		Jahresarbeitszahl Kälte	2,5	-5147	1753	5586	8025
		Jahresarbeitszahl Kälte	3,5	-172	6727	10560	12999
		Jahresarbeitszahl Kälte	4,5	2591	9490	13323	15763
		Jahresarbeitszahl Kälte	5,5	4350	11249	15082	17521
		Jahresarbeitszahl Kälte	2,5	-39	6920	10786	13246
		Jahresarbeitszahl Kälte	3,5	4978	11937	15803	18264
		Jahresarbeitszahl Kälte	4,5	7766	14725	18591	21051
		Jahresarbeitszahl Kälte	5,5	9539	16499	20365	22825
		Jahresarbeitszahl Kälte	2,5	4895	11917	15818	18301
		Jahresarbeitszahl Kälte	3,5	9958	16980	20881	23363
		Jahresarbeitszahl Kälte	4,5	12770	19792	23693	26176
		Jahresarbeitszahl Kälte	5,5	14560	21582	25483	27965
		Jahresarbeitszahl Kälte	2,5	9643	16730	20667	23172
		Jahresarbeitszahl Kälte	3,5	14752	21839	25776	28282
		Jahresarbeitszahl Kälte	4,5	17591	24678	28615	31120
		Jahresarbeitszahl Kälte	5,5	19397	26484	30421	32927

Tabelle 11: (Jährliche) Differenz der Annuitäten alleinige Fernwärme-/kälteversorgung minus Grundlastdeckung durch thermische Abwassernutzung; Energiepreissteigerung: 3% p.a., Betrachtungszeitraum: 20 Jahre; Quelle: Österreichische Energieagentur

		Betrachtungszeitraum 20 Jahre					
		Jahresarbeitszahl Wärme					
		2,5	3,5	4,5	5,5		
Zinssatz in % p.a.	8%	Jahresarbeitszahl Kälte	2,5	-7564	-143	3981	6605
			3,5	-2213	5208	9332	11956
			4,5	759	8181	12304	14928
			5,5	2651	10073	14196	16820
	6,5%	Jahresarbeitszahl Kälte	2,5	-2105	5414	9591	12249
			3,5	3316	10834	15011	17669
			4,5	6327	13846	18023	20681
			5,5	8244	15762	19939	22597
	5%	Jahresarbeitszahl Kälte	2,5	3209	10829	15063	17757
			3,5	8703	16324	20557	23251
			4,5	11755	19376	23609	26303
			5,5	13698	21318	25552	28246
	3,5%	Jahresarbeitszahl Kälte	2,5	8361	16088	20381	23113
			3,5	13932	21659	25952	28684
			4,5	17027	24754	29047	31779
			5,5	18997	26724	31017	33748
	2%	Jahresarbeitszahl Kälte	2,5	13336	21174	25528	28299
			3,5	18987	26825	31179	33951
			4,5	22126	29964	34319	37090
			5,5	24124	31962	36317	39088

Hohe Jahresarbeitszahlen, hohe Energiepreisteigerungen und niedrige Zinssätze sind erwartungsgemäß vorteilhaft für die Wirtschaftlichkeit der Investition in eine thermische Abwassernutzungsanlage. Innerhalb des dargestellten Bereiches gibt es kaum Szenarien, in denen die thermische Abwassernutzung nicht wirtschaftlich ist. Bei einer Energiepreisteigerung von 1,93% p.a. sind es 8 von 80, bei 3% p.a. gar nur 4 von 80. Entscheidender Parameter ist die Performance der Anlage, gemessen als Jahresarbeitszahl. Die Wahl des Zinssatzes hat ebenfalls merkbaren Einfluss auf das Ergebnis.

3.5.3 Kapitalwertmethode

Bei der Kapitalwertmethode werden die Zahlungsflüsse jährlich erfasst. Man erhält eine kumulierte Kostenverlaufskurve, die einen Amortisationszeitpunkt anzeigt. Es müssen ebenso wie bei der Annuitätenmethode Annahmen über die zukünftige Preisentwicklung für Fernwärme- und Strompreis getroffen und ein Zinssatz festgelegt werden. Alle Einnahmen und Ausgaben werden auf den Anfangszeitpunkt abgezinst.

Die Kosten werden in der folgenden Berechnung in einen Wärmeenergie-, Kälteenergie-, Investitions- und Wartungs-/Instandhaltungsteil separiert und jeweils nur die Differenzkosten berücksichtigt. Positive Werte bedeuten eine Kostenersparnis durch thermische Abwassernutzung. Diese treten von Beginn an bei den Energiekosten (Wärme und Kälte) auf. Die Investition erfolgt nur im ersten Jahr. Die erste Ersatzinvestition wird erst nach Ende des 20. Jahres fällig und ist somit außerhalb des Betrachtungszeitraumes. Der Betrachtungszeitraum hat im Unterschied zur Annuitätenmethode (auf die Annuitäten) hier jedoch keine Auswirkung auf die jährlichen Kapitalwerte, d.h. der Amortisationszeitpunkt wird davon nicht beeinflusst, solange keine Ersatzinvestitionen anfallen.

Untersuchung der Nutzung von Fernwärme und Absorptions-/Kompressionswärmepumpen in Kombination mit Abwasserwärme

Die Differenzkosten sind für das Preisanstiegsszenario mit 1,93% p.a. in

Tabelle 12 und für das Szenario mit 3% p.a. in Tabelle 13 dargestellt.

Die Spalten „Ersparnis“ und „Ausgabe“ sind rechnerisch identisch zu sehen, die unterschiedlichen Namen zeigen nur an, dass zweimal Ersparnisse durch thermische Abwassernutzung auftreten und zweimal Mehrausgaben. In diesen Spalten sind die im jeweiligen Jahr auftretenden Mehr- oder Minderausgaben verzeichnet. Die Spalten BW (Barwert) zeigen hingegen die *abgezinste* Mehr- oder Minderbelastung im jeweiligen Jahr. Die Spalten KW (Kapitalwert) summieren die einzelnen Barwerte bis zum betreffenden Jahr auf. Die Summenwerte für alle vier Kostenanteile (Kapitalwerte) finden sich in der rechten Spalte „Kapitalwert kumuliert“. Ist der Wert negativ, so haben sich die abgezinste Ausgaben für die thermische Abwassernutzung noch nicht rentiert (rot markiert). Sobald der Wert jedoch positiv wird, ist ein Überschuss der Energiekostensparnis gegenüber den Investition und Wartungs-/Instandhaltungskosten gegeben.

Tabelle 12: Ersparnis der Energiebereitstellung mit thermischer Abwassernutzung gegenüber Fernwärme bzw. Fernkälte unter Berücksichtigung der Anfangsinvestition und zusätzlicher Wartungs-/Instandhaltungskosten mit einer jährlichen Energiepreissteigerung von 1,93%; BW...Barwert, KW...Kapitalwert; Quelle: Österreichische Energieagentur

Jahre	Wärme			Kälte			Investition			Wartung			Kapitalwert kumuliert
	Ersparnis	BW	KW	Ersparnis	BW	KW	Ausgabe	BW	KW	Ausgabe	BW	KW	
1	19.130	19.130	19.130	23.536	23.536	23.536	-411.000	-411.000	-411.000	-4.110	-4.110	-4.110	-372.444
2	19.499	18.571	37.701	23.990	22.848	46.384	0	0	-411.000	-4.197	-3.997	-8.107	-335.022
3	19.876	18.028	55.729	24.453	22.180	68.564	0	0	-411.000	-4.286	-3.888	-11.995	-298.702
4	20.259	17.501	73.230	24.925	21.531	90.095	0	0	-411.000	-4.377	-3.781	-15.776	-263.451
5	20.650	16.989	90.219	25.406	20.902	110.997	0	0	-411.000	-4.470	-3.677	-19.453	-229.237
6	21.049	16.492	106.712	25.897	20.291	131.288	0	0	-411.000	-4.565	-3.576	-23.030	-196.030
7	21.455	16.010	122.722	26.396	19.697	150.985	0	0	-411.000	-4.661	-3.478	-26.508	-163.801
8	21.869	15.542	138.264	26.906	19.122	170.106	0	0	-411.000	-4.760	-3.383	-29.891	-132.520
9	22.291	15.088	153.352	27.425	18.562	188.669	0	0	-411.000	-4.861	-3.290	-33.181	-102.160
10	22.722	14.647	167.998	27.954	18.020	206.689	0	0	-411.000	-4.964	-3.200	-36.381	-72.694
11	23.160	14.218	182.217	28.494	17.493	224.181	0	0	-411.000	-5.069	-3.112	-39.493	-44.095
12	23.607	13.803	196.019	29.044	16.981	241.163	0	0	-411.000	-5.177	-3.027	-42.520	-16.338
13	24.063	13.399	209.418	29.604	16.485	257.648	0	0	-411.000	-5.287	-2.944	-45.464	10.602
14	24.527	13.007	222.426	30.176	16.003	273.651	0	0	-411.000	-5.399	-2.863	-48.327	36.750
15	25.001	12.627	235.053	30.758	15.535	289.186	0	0	-411.000	-5.513	-2.784	-51.111	62.127
16	25.483	12.258	247.310	31.352	15.081	304.266	0	0	-411.000	-5.630	-2.708	-53.819	86.758
17	25.975	11.899	259.210	31.957	14.640	318.906	0	0	-411.000	-5.749	-2.634	-56.453	110.663
18	26.476	11.551	270.761	32.574	14.212	333.118	0	0	-411.000	-5.871	-2.562	-59.014	133.865
19	26.987	11.214	281.975	33.202	13.796	346.914	0	0	-411.000	-5.996	-2.491	-61.506	156.383
20	27.508	10.886	292.861	33.843	13.393	360.307	0	0	-411.000	-6.123	-2.423	-63.929	178.239

Tabelle 13: Ersparnis der Energiebereitstellung mit thermischer Abwassernutzung gegenüber Fernwärme bzw. Fernkälte unter Berücksichtigung der Anfangsinvestition und zusätzlicher Wartungs-/Instandhaltungskosten mit einer jährlichen Energiepreissteigerung von 3%; BW...Barwert, KW...Kapitalwert; Quelle: Österreichische Energieagentur

Jahre	Wärme			Kälte			Investition			Wartung			Kapitalwert kumuliert
	Ersparnis	BW	KW	Ersparnis	BW	KW	Ausgabe	BW	KW	Ausgabe	BW	KW	
1	19.130	19.130	19.130	23.536	23.536	23.536	-411.000	-411.000	-411.000	-4.110	-4.110	-4.110	-372.444
2	19.704	18.766	37.896	24.242	23.088	46.624	0	0	-411.000	-4.197	-3.997	-8.107	-334.587
3	20.295	18.408	56.305	24.969	22.648	69.272	0	0	-411.000	-4.286	-3.888	-11.995	-297.419
4	20.904	18.058	74.362	25.718	22.217	91.488	0	0	-411.000	-4.377	-3.781	-15.776	-260.925
5	21.531	17.714	92.076	26.490	21.793	113.282	0	0	-411.000	-4.470	-3.677	-19.453	-225.095
6	22.177	17.376	109.453	27.285	21.378	134.660	0	0	-411.000	-4.565	-3.576	-23.030	-189.917
7	22.843	17.045	126.498	28.103	20.971	155.631	0	0	-411.000	-4.661	-3.478	-26.508	-155.379
8	23.528	16.721	143.219	28.946	20.572	176.203	0	0	-411.000	-4.760	-3.383	-29.891	-121.469
9	24.234	16.402	159.621	29.815	20.180	196.382	0	0	-411.000	-4.861	-3.290	-33.181	-88.177
10	24.961	16.090	175.711	30.709	19.795	216.178	0	0	-411.000	-4.964	-3.200	-36.381	-55.492
11	25.710	15.783	191.495	31.630	19.418	235.596	0	0	-411.000	-5.069	-3.112	-39.493	-23.402
12	26.481	15.483	206.977	32.579	19.048	254.645	0	0	-411.000	-5.177	-3.027	-42.520	8.102
13	27.275	15.188	222.165	33.557	18.686	273.330	0	0	-411.000	-5.287	-2.944	-45.464	39.032
14	28.093	14.899	237.064	34.563	18.330	291.660	0	0	-411.000	-5.399	-2.863	-48.327	69.397
15	28.936	14.615	251.679	35.600	17.981	309.640	0	0	-411.000	-5.513	-2.784	-51.111	99.208
16	29.804	14.336	266.015	36.668	17.638	327.279	0	0	-411.000	-5.630	-2.708	-53.819	128.474
17	30.698	14.063	280.078	37.768	17.302	344.581	0	0	-411.000	-5.749	-2.634	-56.453	157.206
18	31.619	13.795	293.874	38.901	16.973	361.553	0	0	-411.000	-5.871	-2.562	-59.014	185.413
19	32.568	13.533	307.406	40.068	16.649	378.203	0	0	-411.000	-5.996	-2.491	-61.506	213.103
20	33.545	13.275	320.681	41.271	16.332	394.535	0	0	-411.000	-6.123	-2.423	-63.929	240.287

Bei einer Energiepreissteigerung von 3% p.a. (angelehnt an die letzten 8 Jahre) ist die Amortisation im 12. Jahr erreicht, bei einem Wert von 1,93% (angelehnt an die letzten 20 Jahre) ein Jahr später, also im 13. Jahr. Die aktuellen Prognosen lassen eher auf eine höhere zukünftige Energiepreissteigerung schließen, sodass eine Amortisation eher früher als später erwartet werden kann.

Sensitivitätsanalyse zur Kapitalwertmethode

Die Variationsparameter sind hier wie bei der Annuitätenmethode der Zinssatz, die zukünftigen Energiepreissteigerungen sowie die Jahresarbeitszahlen für Kälte- und Wärmeproduktion. Der Einfluss der Inflation auf die Wartungs- und Instandhaltungskosten ist vergleichsweise kleiner und wird daher wie zuvor vernachlässigt (d.h. konstant gehalten). Im Unterschied zur Variationsrechnung bei der Annuitätenmethode werden hier jedoch vier verschiedene Preisänderungsszenarien (1,5 bis 4,5% p.a.) untersucht.

Im Folgenden werden für verschiedene Zinssatz-/Energiepreissteigerungspaare die Jahresarbeitszahlen für Wärme und Kälte variiert. Die Felder für jene 20 (von 320) Szenarien, in denen nach 20 Jahren noch keine Amortisation erreicht ist, bleiben leer.

Tabelle 14: Amortisationsdauer in Jahren für verschiedene Paare von Zinssätzen und Energiepreissteigerungen, jeweils mit Variation der Jahresarbeitszahl Wärme (waagrecht) und Kälte (senkrecht); Quelle: Österreichische Energieagentur

		Zinssatz																								
		2%					3,5%					5%					6,5%					8%				
		Jahresarbeitszahl Wärme																								
Energiepreissteigerung in % p.a.	Jahresnutzungsgrad Kälte	2,5	3,5	4,5	5,5	2,5	3,5	4,5	5,5	2,5	3,5	4,5	5,5	2,5	3,5	4,5	5,5	2,5	3,5	4,5	5,5					
		4,5%	2,5	14	12	11	10	15	13	12	11	17	14	13	12	19	15	14	13		17	15	14			
		3,5	12	11	10	10	13	11	11	10	15	12	11	11	16	13	12	11	18	15	13	12				
		4,5	12	10	9	9	13	11	10	10	14	12	11	10	15	12	11	11	17	14	12	12				
		5,5	11	10	9	9	12	10	10	9	13	11	10	10	14	12	11	10	16	13	12	11				
		3,5%	2,5	15	13	12	11	17	14	12	12	19	15	13	13		17	15	14		19	16	15			
		3,5	13	11	10	10	14	12	11	11	16	13	12	11	18	14	13	12		16	14	13				
		4,5	12	11	10	9	13	11	10	10	15	12	11	11	16	13	12	11	18	15	13	12				
		5,5	12	10	10	9	13	11	10	10	14	12	11	10	15	13	12	11	17	14	12	12				
		2,5%	2,5	16	13	12	11	18	15	13	12		16	14	13		18	16	15			18	17			
3,5	14	12	11	10	15	13	12	11	17	14	13	12	20	15	14	13			18	15	14					
4,5	13	11	10	10	14	12	11	10	16	13	12	11	18	14	13	12			16	14	13					
5,5	12	11	10	10	14	11	11	10	15	12	11	11	17	14	12	12	19	15	13	13						
1,5%	2,5	18	14	13	12	20	16	14	13		18	16	14			18	16				19					
3,5	15	12	11	11	17	14	12	12	19	15	13	13			17	15	14		20	17	16					
4,5	14	12	11	10	15	13	12	11	17	14	13	12	20	15	14	13			18	15	14					
5,5	13	11	10	10	15	12	11	11	16	13	12	11	19	15	13	12			17	15	14					

Es ist daher nur bei sehr ungünstigen Verhältnissen (hoher Zinssatz, niedrige Jahresarbeitszahlen, niedrige Energiepreissteigerungsrate) mit einer nach 20 Jahren nicht eintretenden Amortisation zu rechnen. Im günstigsten betrachteten Fall rentiert sich die Investition in eine thermische Abwassernutzungsanlage bereits nach 9 Jahren und ist damit vor allem für nachhaltig und langfristig planende Unternehmen eine als wirtschaftlich zu bezeichnende Investition.

Eine weitere wesentliche Erkenntnis aus dieser Tabelle ist, dass auch große Schwankungen bei Energiepreissteigerungen und Zinssatz vergleichsweise wenig Einfluss auf die Amortisationsdauer der thermischen Abwassernutzungsanlage haben. Als die kritischsten Parameter können somit die Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpe für Wärme- und Kälteerzeugung angesehen werden.

3.6 Umweltauswirkungen

Da Fernwärme und -kälte von Fernwärme Wien äußerst niedrige Werte sowohl bei Treibhausgasemissionen als auch beim Primärenergiefaktor aufweist (je nach Berechnungsmethode unterschiedlich), ergeben sich im direkten Vergleich, also auf Gebäudeebene, je nach Berechnungsmethode kaum oder keine positiven Umwelteffekte bei diesen beiden Parametern. Jedoch ist das Fernwärme- und -kälteversorgungssystem ganzheitlich zu betrachten. Dabei zeigt sich, dass aufgrund der regen Bautätigkeit in der Umgebung des Standortes andere Abnehmer bereit stehen, die ansonsten aufgrund von Kapazitätsgrenzen nicht mit Fernwärme versorgt werden könnten (bei Fernwärme sind solche Engpässe derzeit nicht zu

erwarten). Diese anderen Abnehmer müssten daher auf andere Kältequellen als Fernkälte zurückgreifen. Als Referenz für die Kälteversorgung wird eine Kompressionskältemaschine mit einer Jahresarbeitszahl von 3 angenommen (ungünstigere Temperaturverhältnisse als bei Abwasser, d.h. höheres Temperaturniveau für die Rückkühlung im Sommer). Die Ergebnisse für die THG- und Primärenergieeinsparungen für Kälte allein sind in Tabelle 16 dargestellt.

Für den Heizzweck (optionales Szenario, siehe Tabelle 17) wird zusätzlich als Alternative eine Gaszentralheizung angenommen. Als am weitesten verbreiteter Energieträger für Wärme ist in Wien Erdgas anzusehen. Hier wird daher ein Gaskessel mit einem Jahresnutzungsgrad von 85% als Referenz angesetzt. Die Einsparungen im Heizfall sind jedoch aufgrund der hohen Kapazitäten im Fernwärmenetz derzeit nicht unmittelbar gegeben. Sie werden daher getrennt betrachtet. Diese Berechnung steht stellvertretend für Standorte, an denen kein Fernwärmeanschluss möglich ist.

Es wird – wie bei der Wirtschaftlichkeitsanalyse – eine im Jahresmittel 90%ige Deckung der Wärme- und Kältenachfrage durch die thermische Abwassernutzungsanlage für die Berechnungen angesetzt.

Somit ergeben sich folgende Parameter:

Wärmebedarf, gedeckt durch thermische Abwassernutzung: 480.600 kWh/a

Kältebedarf, gedeckt durch thermische Abwassernutzung: 346.500 kWh/a

Im einen Fall (thermische Abwassernutzung) werden für die disponiblen Wärme- und Kälteanteile $(480.600 + 346.500)/4 \text{ kWh/a} = 206.775 \text{ kWh/a}$ elektrischer Strom benötigt, im anderen Fall (Erdgasheizung und elektrische Kompressionskälteanlage) hingegen $480.600/0,85 \text{ kWh/a} = 565.412 \text{ kWh/a}$ Erdgas und $346.500/3 \text{ kWh/a} = 115.500 \text{ kWh/a}$ elektrischer Strom.

Die Primärenergie- und Treibhausgas-(THG-)Emissionsfaktoren sind der aktuellen OIB-Richtlinie 6 [5] zu entnehmen, siehe nachfolgende Tabelle 15.

Tabelle 15: Primärenergie- und THG-Emissionsfaktoren für Erdgas und el. Strom nach [5]

	Erdgas	el. Strom
PEF gesamt	1,17	2,62
PEF nicht erneuerbar	1,17	2,15
CO ₂ -Emissionen in g/kWh	236	417

Aus [5] ist nicht zu entnehmen, ob es sich bei den CO₂-Emissionswerten um Äquivalente-missionen (einschließlich CH₄, N₂O, SF₆ etc.) handelt oder nur CO₂ als Treibhausgas berücksichtigt wurde. Die dort angegebenen und hierher übertragenen Werte werden jedenfalls als Grundlage für das Treibhausgaseinsparungspotenzial herangezogen. Sollte sich herausstellen, dass in [5] nur der CO₂-Anteil berücksichtigt wurde, wäre allenfalls ein Faktor von ca. 1,1 zu berücksichtigen, d.h. sämtliche Absolutwerte und Einsparungen würden sich um ca. 10% erhöhen.

Setzt man nun die Werte für den Energiebedarf beider Varianten ein, so ergeben sich folgende Einsparungen für den potenziell durch thermische Abwassernutzung zu deckenden Wärme- und Kälteenergiebedarf:

Tabelle 16: Jährliche Primärenergie- und Treibhausgasbilanz für Kühlung, mit und ohne thermische Abwassernutzung; Quelle: Österreichische Energieagentur

	mit Abwassernutzung	ohne Abw.-Nutz.	Einsparung
PEF gesamt in kWh/a	226.958	302.610	75.653
PEF nicht erneuerbar in kWh/a	186.244	248.325	62.081
CO ₂ -Emissionen in kg/a	36.123	48.164	12.041

Tabelle 17: Jährliche Primärenergie- und Treibhausgasbilanz für Kühlung und Heizung, mit und ohne thermische Abwassernutzung; Quelle: Österreichische Energieagentur

	mit Abwassernutzung	ohne Abw.-Nutz.	Einsparung
PEF gesamt in kWh/a	541.751	964.142	422.391
PEF nicht erneuerbar in kWh/a	444.566	909.857	465.291
CO ₂ -Emissionen in kg/a	86.225	181.601	95.376

Bereits allein durch die vorsichtig angenommene Effizienzsteigerung der Kälteanlage von JAZ = 3 auf JAZ = 4 durch thermische Abwassernutzung ergibt sich ein nicht unerhebliches Einsparpotenzial von 76 MWh/a Primärenergie und 12 t/a THG-Äquivalente.

Unter Einbeziehung eines Gasheizkessels als Referenzszenario für den Heizfall steigen diese Werte noch erheblich auf 422 MWh/a bzw. 95 t/a.

3.7 Möglicher Einsatz einer Kanal-Absorptionswärmepumpe zur Kälteerzeugung

Am Standort TownTown steht das ganze Jahr hindurch Wärme aus dem Fernwärmenetz mit mindestens 95 °C zur Verfügung. Somit ist es technisch möglich, eine Absorptionswärmepumpe anstatt einer Kompressionswärmepumpe zu installieren, welche dann Fernwärme als Antriebsenergie nutzt (anstatt elektrischen Strom) und mit dieser Energie einen Wärmepumpenkreislauf antreibt, der dem Abwasser Wärme entzieht bzw. zuführt. Fernwärme Wien setzt Absorptionskältemaschinen in Fernkältenetzen an geeigneten Stellen ein, an denen im Sommer ein Überangebot an Wärme besteht, das sonst ohne Nutzen rückgekühlt werden müsste.

Aus Sicht eines Investors stellt sich die Wirtschaftlichkeit des Einsatzes einer Absorptionswärmepumpe im Gegensatz zu einer Kompressionswärmepumpe wie folgt dar:

Die Investitionskosten für eine Absorptionswärmepumpe liegen in jedem Fall über jenen einer Kompressionswärmepumpe (in etwa beim Doppelten).

Fernwärme als Antriebsenergie kostet für einen Großkunden, wie angegeben, 6,688 ct./kWh. Die Jahresarbeitszahl von Absorptionswärmepumpen kann nach Erfahrungen der Fernwärme Wien mit etwa 0,75 angegeben werden. Der thermische Energieaufwand zur

Erzeugung einer kWh Kälte kostet somit rund 8,9 ct. Die Jahresarbeitszahl der Kompressionswärmepumpe müsste daher auf unter 1,3 fallen, damit die Absorptionswärmepumpe hinsichtlich der Energiekosten für einen Investor attraktiv wäre. Dies ist aber mit Sicherheit nicht anzunehmen. Dazu kommen, wie erwähnt, noch die höheren Investitionskosten.

Daher kann zusammenfassend gesagt werden, dass zahlreiche Beispiele im Wiener Fernkältenetz zeigen, dass die Kombination Fernwärme und Absorptionswärmepumpe (wegen des sommerlichen Wärmeüberschusses v.a. zur Kälteerzeugung eingesetzt) technisch machbar ist, für einen Investor, der Fernwärme von Fernwärme Wien zum Standardtarif zukaufen muss, aber wirtschaftlich in keinem Fall interessant ist, da sowohl Investitions- als auch Energiekosten über jenen einer Kompressionswärmepumpe liegen.

3.8 Einspeisung von Abwasserwärme ins Wiener Fernwärmenetz

Fernwärme an sich ist kein Energieträger, sondern eine Form der Verteilung von Wärme. Sie wird in Wien aus verschiedenen Quellen gespeist (z.B. Müllverbrennung, Abwärme von Kraftwerken, Biomasse, Industrieabwärme). Daher ist es auch möglich, Wärme, die von Wärmepumpen erzeugt wird, ins Fernwärmenetz einzuspeisen. Abwasser eignet sich dazu als Wärmequelle in besonderem Maße, da es in Wien in Fernwärmegebieten (dies sind dicht verbaute Gebiete) meist in großen Mengen zur Verfügung steht, während z.B. Erdkollektoren aufgrund der beengten Platzverhältnisse im dicht verbauten Gebiet oft nicht oder nur schwer einsetzbar sind.

Fernwärme Wien versorgt die Kunden sowohl über ein Hochtemperaturnetz (VL-Temperatur bis 165 °C) als auch über hydraulisch daran gekoppelte Niedertemperaturnetze (VL-Temperatur bis 90 °C).

Derzeit existieren Hochtemperaturwärmepumpen, die Temperaturen bis zu 95 °C bereitstellen können. Jedoch liegt hier bei einer angenommenen Wärmequellentemperatur von 10 °C die theoretisch mögliche Arbeitszahl nur bei 4,3, der reale Wert liegt meist um einiges darunter. Auch wenn es also technisch mit höheren Temperaturen machbar ist, sollen Wärmepumpen vorrangig dort eingesetzt werden, wo niedrigere Temperaturen benötigt werden. Als Richtwert kann eine Maximaltemperatur von 65 °C als sinnvoll bezeichnet werden.

Der Einsatz von Wärmepumpen sollte daher dort erfolgen, wo Sekundärnetze vorhanden sind, in denen Temperaturen unter 65 °C benötigt werden. Derzeit wird in Wien kein Sekundärnetz auf diesem niederen Temperaturniveau betrieben. Es wird jedoch ein Fernwärmenetz im Stadterweiterungsgebiet Seestadt Aspern errichtet, in dem diese Voraussetzung erfüllt wird (Maximaltemperatur für die Warmwasserversorgung: 63 °C, für Heizung wären niedrigere Werte ausreichend). Da sich dort aber auch viele Betriebe ansiedeln sollen, ist es denkbar, dass teilweise auch Abwasserwärme als Energiequelle zum Einsatz kommen könnte.

In bestehenden Gebäuden kommt es durch Sanierung dazu, dass die erforderlichen Maximaltemperaturen für Heizung unter 70 °C sinken. In Sekundärnetzen, in denen alle angeschlossenen Objekte saniert sind, wären dadurch günstige Voraussetzungen für eine Wärmepumpe gegeben (das Netz muss immer auf jenen Kunden mit der höchsten Temperaturanforderung ausgelegt werden).

Zusammenfassend lässt sich daher sagen, dass die Einbindung von Abwasserwärme als Wärmequelle ins Fernwärmenetz technisch möglich ist, in Wien jedoch derzeit an keinem konkreten Standort wirtschaftlich sinnvoll umsetzbar ist.

3.9 Fazit

Im vorangegangenen Kapitel wurde die technische, ökonomische und ökologische Machbarkeit bzw. Sinnhaftigkeit der Nutzung von Wärme und Kälte aus dem Abwasser für den Gebäudekomplex TownTown in Wien Erdberg am Beispiel eines Bürohochhauses sowie unter Einbeziehung eines in Planung befindlichen Hotel-/Bürogebäudes unmittelbar daneben untersucht.

Die Voraussetzungen hinsichtlich der Erschließbarkeit eines geeigneten Kanals und der Gebäudetechnik (welche sich beim geplanten Gebäude ähnlich ausgestalten wird) sind für die Nutzung der thermischen Energie des Abwassers äußerst günstig, was sowohl auf die Wirtschaftlichkeit als auch auf die ökologische Bilanz positive Effekte hat.

Auf Basis der getätigten Untersuchungen und getroffenen Annahmen ergibt sich nach der Kapitalwertmethode für die thermische Abwassernutzungsanlage in TownTown eine wirtschaftliche Amortisationsdauer im Bereich von 12 bis 13 Jahren.

Auch die ökologische Analyse zeigt, dass im Gegensatz zu einer Beheizung mit Erdgas und Kühlung mit konventioneller Technik, welche aufgrund des beschränkten Fernkälteangebotes letztlich in der Umgebung verstärkt zum Einsatz kommen müsste, jährliche Primärenergieeinsparungen im Bereich von 450.000 kWh und jährliche Treibhausgaseinsparungen von knapp 100 Tonnen resultieren.

Die Voraussetzungen für die beiden untersuchten Gebäude (bestehender Büroturm sowie geplantes und ab 2013 errichtetes Hotel-Bürogebäude) sind aufgrund der Nähe zueinander als gleichwertig anzusehen. Das Potenzial sollte aus Aufwandsgründen vor allem für das geplante Hotelgebäude vorgesehen werden, da sich hier bei rechtzeitiger Mitplanung durch Synergieeffekte deutliche Kostenreduktionen bei den der thermischen Abwassernutzung zurechenbaren Kosten ergeben können und die Wirtschaftlichkeit damit weiter positiv beeinflusst werden kann. Eine Nutzung des Abwasserwärme- und -kältepotenzials für das bestehende Gebäude CB 03 ist zwar auch ökonomisch und ökologisch sinnvoll, aber im Vergleich dazu aufwändiger.

Darüber hinaus wäre die Realisierung einer thermischen Abwassernutzungsanlage zumindest innerhalb Österreichs in dieser Form eine Neuheit und könnte sich so als Best Practice-Beispiel im Bereich der Nutzung erneuerbarer Energien bzw. Abwärme entwickeln.

Aus Sicht der Österreichischen Energieagentur kann unter dem derzeitigen Wissenstand gesagt werden, dass die Realisierung dieses Projektes – eine Genehmigung durch die zuständigen Behörden sowie Absprache mit Wien Kanal selbstverständlich vorausgesetzt sowie nach einer detaillierteren technischen Prüfung durch eine auf diesem Gebiet erfahrene Firma – positiv einzuschätzen ist und sowohl ökonomisch als auch ökologisch sinnvoll ist.

4 Genehmigungsprozess einer thermischen Abwassernutzungsanlage in Wien

Bei Herrn Dr. Wandl von EbS Wien (Entsorgungsbetriebe Simmering; Betreiber der Wiener Kläranlage) wurde telefonisch in Erfahrung gebracht, dass allenfalls von der MA 58 eine gewässerschutzrechtliche Bewilligung einzuholen wäre, von EbS Wien müsse keine Genehmigung eingeholt werden.

Von Seiten der Wiener MA 30 (Wien Kanal) sind Anlagen mit Wärmetauscher im Kanal nicht genehmigungsfähig, Bypasslösungen wie hier projiziert sind jedoch grundsätzlich denkbar.

Laut Auskunft des BMWFJ ist in jedem Fall eine wasserrechtliche Bewilligung einzuholen. Diese ist im Normalfall an die Bezirkshauptmannschaft bzw. für Anlagen in Wien an die Stadt Wien zu richten. Für Anlagen, von denen das Ausland betroffen ist, sind vom Bund bzw., wenn dies nicht der Fall ist, von der Bezirkshauptmannschaft zu erwirken. Derzeit existieren noch keine genauen Richtlinien, welche Nutzung noch unbedenklich wäre. Ein Leitfaden, der als allgemein anerkannte Grundlage Richtlinien für die Genehmigungsfähigkeit enthält, soll im weiteren Verlauf dieses Forschungsprojektes – in enger Zusammenarbeit mit dem zuständigen BMLFUW – entstehen.

Nähere Ausführungen sind den im Rahmen dieses Projektes entstehenden Veröffentlichungen zu diesem Thema zu entnehmen.

5 Zusammenfassung

Hauptziel dieses Forschungsprojektes ist es, Erfahrungen auf dem Gebiet der thermischen Abwassernutzung in erster Linie aus dem benachbarten Ausland zu sammeln und an geeigneten Standorten in Österreich Machbarkeitsstudien durchzuführen, die nach Möglichkeit konkrete Projekte nach sich ziehen.

Neben den Ergebnissen in Arbeitspaket 2, in dem fünf Standorte in Österreich (außerhalb Wiens) untersucht wurden, wurden im Rahmen des hier behandelten Arbeitspaketes 3 in Wien Untersuchungen an den Standorten Kammelweg und Komet-Gründe durchgeführt und detaillierte Studien zur Abwasserwärme- und -kältenutzung an zwei Gebäuden in TownTown in Wien Erdberg durchgeführt, die das Kernstück dieses Berichtes bilden.

Einerseits wurden in dieser Studie die Voraussetzungen der thermischen Abwassernutzung für das bereits bestehende Bürohochhaus auf dem Stadtentwicklungsgebiet „TownTown“ erhoben. Andererseits existieren bereits detaillierte Pläne für ein weiteres zumindest ähnlich dimensioniertes weiteres Hochhaus in unmittelbarer Nähe, das ab 2013 errichtet werden soll und bei dem die Voraussetzungen hinsichtlich Kanal und Haustechnik praktisch ident sind. Es hat sich herausgestellt, dass für diese beiden Gebäude in TownTown praktisch die gleichen Voraussetzungen für thermische Abwassernutzung gegeben sind und diese sowohl für Wärme als auch für Kälte technisch und wirtschaftlich machbar ist. Dabei spielten vor allem die unmittelbare Nähe zu einem genügend großen Kanal (Mindestabfluss ca. 43 l/s), hohe Abwassertemperaturen im Winter und vergleichsweise niedrige im Sommer, und die auf großflächige Wärme- und Kälteabgabesysteme ausgerichtete Haustechnik (Betonkernaktivierung sowie auch Heiz- und Kühldecken), welche niedrige Heizungs- und hohe Kühlungs-vorlauftemperaturen erlaubt, eine entscheidende Rolle. Im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsanalyse auf Basis der Kapitalwertmethode konnten Amortisationsdauern im Bereich von 12 Jahren ermittelt werden.

Damit die thermische Nutzung von Abwasser sinnvoll und möglich ist, sollten hinsichtlich des Kanals und des Gebäudes die eben genannten Voraussetzungen erfüllt sein. Thermische Nutzung aus Abwasser ist weiters umso wirtschaftlicher, je größer die Heiz- und Kühllasten sind (hier: 267 bzw. 350 kW) und wenn Wärme- und Kältenachfrage über einen möglichst großen Zeitraum im Jahr möglichst gleichmäßig existiert (hohe Zahl an jährlichen Volllaststunden, hier ca. 2000). Grenzen sind v.a. durch die Abflussmenge des ausgewählten Kanals gesetzt.

Die geplante Dimension der Wärme- und Kältenutzung hat auf die Zulaufemperatur der Wiener Kläranlage einen Einfluss im Hundertstelgradbereich. Dieses Projekt allein sollte daher keinen merkbaren Einfluss auf die Reinigungsleistung der Kläranlage haben. Kumulierte Effekte (bei mehreren Anlagen) sind jedoch grundsätzlich immer zu berücksichtigen. Eine einfache Mischungsrechnung, wie sie auch hier durchgeführt wurde, stellt den worst case dar und sollte daher aus Sicht der Österreichischen Energieagentur eine hinreichende Basis für die Darstellung der Temperatureinflüsse im Kanal und bei der Kläranlage sein, ggf. müssen zeitliche Schwankungen beim Kläranlagenzufluss (ebenfalls als Basis für eine Mischungsrechnung) detailliert untersucht werden.

Die rechtlichen Rahmenbedingungen (v.a. hinsichtlich der Genehmigungsfähigkeit) sind derzeit noch Gegenstand von Untersuchungen, die Genehmigungspflicht bei Anlagen, die Wärme oder Kälte im öffentlichen Kanal nutzen, ist immer gegeben. In jedem Fall sollte von Beginn an das Gespräch mit Kanal- und Kläranlagenbetreiber sowie mit der zuständigen Behörde gesucht werden.

Speziell in Wien werden Einbauten in den Kanal kritisch gesehen, weshalb nur die Möglichkeit eines externen Wärmetauschers in Betracht gezogen wurde. In anderen Gemeinden ist die Situation von Fall zu Fall möglichst am Beginn zu erheben.

Das gesamtösterreichische Potenzial der Abwasserwärme- und -kältenutzung wird im weiteren Projektverlauf noch erhoben. Es lässt sich jedoch basierend auf Erfahrungen in anderen Ländern sagen, dass thermische Abwassernutzung einen wichtigen Baustein zur Effizienzsteigerung im Gebäudebereich leisten kann, jedoch stark vom jeweiligen Standort abhängt und daher stets im Detail untersucht werden muss.

6 Literatur

- [1] Mit Abwasser Heizen und Kühlen, Erneuerbare Energie für Bauherrschaften und Gemeinden, Energie Schweiz, März 2005, www.infrastrukturanlagen.ch
- [2] <http://www.immonet.at/de/towntown-company-building-21-praesentation.htm>, abgerufen am 10. 4. 2012
- [3] Heizen und Kühlen mit Abwasser, Ratgeber für Bauherren und Kommunen, Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Bundesverband Wärmepumpe e.V., Institut Energie in Infrastrukturanlagen, Jänner 2009
- [4] DWA-Merkblatt M 114: Energie aus Abwasser – Wärme- und Lageenergie, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Juni 2009
- [5] OIB-Richtlinie 6, Energieeinsparung und Wärmeschutz, Ausgabe: Oktober 2011, Österreichisches Institut für Bautechnik, OIB-330.6-094/11, im Dez. 2011 verfügbar unter http://www.oib.or.at/RL6_061011.pdf, abgerufen am 11. 1. 2012
- [6] http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de/download/wp_effizienz_endbericht_kurzfassung.pdf, abgerufen am 6.3.2012
- [7] http://wp-effizienz.ise.fraunhofer.de/download/wp_effizienz_endbericht_langfassung.pdf, abgerufen am 6.3.2012
- [8] Wanner, O.: Wärmerückgewinnung aus Abwasser – Wärmetauscherverschmutzung – Auswirkungen und Gegenmaßnahmen, Dübendorf, Februar 2009
- [9] http://www.towntown.at/hp_german/index.php, abgerufen am 29. 3. 2012



Versorgungssicherheit
Wettbewerbsfähigkeit
Nachhaltigkeit
Perspektiven

