

Ergebnisse einer Vorstudie

Abwasserwärmenutzung in Magdeburg

Aufgabenstellung

Als Grundlage für eine interne Grundsatzentscheidung des Betriebsbereiches Abwasserentsorgung sind Möglichkeiten, Restriktionen, Forderungen und Vorgaben für die Abwasserwärmenutzung im Magdeburger Kanalnetz zu analysieren.

Dazu sollen potentielle Realisierungsmöglichkeiten lokalisiert und hinsichtlich der finanziellen, energetischen, rechtlichen, betrieblichen, baulichen und ökologischen Aspekte der Wärmenutzung untersucht werden. In die Analyse wird eine Praktikumsarbeit integriert [1].

Potentielle Einsatzorte zur Nutzung der Abwasserwärme

Die Hauptwärmeversorgung erfolgt im innerstädtischen Bereich über ein **Fernwärmenetz**. Eine Einspeisung der gewonnen Abwasserwärme in das Fernwärmenetz ist auf Grund der Temperaturunterschiede technisch aufwendig und hochgradig ineffizient.

Eine Nutzung auf dem **Klärwerk** ist auf Grund des Fehlens potentieller Wärmenutzer in der Nähe ausgeschlossen. Der Klärschlamm wird landwirtschaftlich verwertet, womit eine denkbare Nutzung zur Schlammtrocknung absehbar nicht zur Disposition steht. Weiterhin muss ein vorhandener Wärmeüberschuss aus den BHKW's auf dem Klärwerk bereits jetzt bewirtschaftet werden.

Im Kanalnetz kann grundsätzlich ein Einsatz in Kanalabschnitten oder in den **Pumpenvorlagen der Abwasserpumpwerke** betrachtet werden.

Dabei muss berücksichtigt werden, dass Abwassernetze kein Verteilungs- sondern ein quasi offenes Übernahmesystem darstellen.

In das Kanalnetz gelangen somit nicht nur Abwässer, sondern in großen Mengen auch unlösliche Fest- und Grobstoffe, die auf dem Abwasserstrom schwimmen (Verbandsmaterialien, Damenbinden, Kondome, Papier, Kleidungsstoffe, Fäkalien usw.) beziehungsweise auf der Kanalsole rollend, hüpfend transportiert werden (Sand, Kies, Rasierklingen, Ohrstäbchen, Küchenabfälle usw.). Hinzu kommen gelöste Schmutzstoffe (Fette, Öle), die bei längeren Standzeiten und in Abhängigkeit von der Temperatur wieder rückgelöst werden. Der Abwasserabfluss ist durch eine große Variabilität (tageszeitlich, saisonal und stochastisch) in der Menge als auch in der Zusammensetzung gekennzeichnet.

Summa Summarum eine Frachtkonstellation, die insbesondere bei einem Stillstand des Abwasserstromes, wie er in Pumpenvorlagen technisch bedingt auftritt, eine hohe Tendenz zum Absetzen besitzt. Pumpenvorlagen werden daher hydraulisch so gestaltet, dass ein

Absetzen nicht begünstigt und eine Remobilisierung während des Pumpbetriebes befördert wird. Zusätzliche Einbauten von Elementen zur Wärmegewinnung, wie z. B. Rohrbündelwärmetauscher, müssen daher im Pumpensumpf aus betrieblichen Gründen abgelehnt werden. Auf Grund der Verschmutzung (Feststoffbelegung, Fettschicht usw.) der Wärmetauscher und der zu erwartenden Wärmeverluste an die Umgebungsluft muss ohnehin eine geringe Effizienz derartiger Anlagen erwartet werden.

Somit bleiben für die Installation der Wärmetauscher ausschließlich Kanalhaltungen im Entwässerungsnetz als potentieller Einsatzort näher zu betrachten. Aus den Prämissen der Wärmenutzung sind **Schmutzwasserkanäle** als Einbauort für Wärmetauscher prädestiniert. Als Alternative kommen Mischwasserkanäle in Frage. Hier verursachen Regen- und Schmelzwasserzuflüsse jedoch temporär Einbrüche in der Abwassertemperatur mit entsprechend negativen Effekten auf die Wärmenutzung.

Zirka 40 % der Fläche Magdeburgs sind im Trennsystem erschlossen. Adäquat groß ist der Anteil an der in Schmutzwasserkanälen gefassten Schmutzwassermenge. In der Gesamtnetzstruktur stellen sich diese Trennsysteme als Inseln, die vornehmlich an den Stadträndern (Neu Olvenstedt, Curie-Siedlung, Neue Neustadt, Westerhüsen ...) verteilt sind, im dominierenden Mischwassersystem dar.

Daraus resultiert, dass in Magdeburg kein Hauptsammler für sämtliches Schmutzwasser existiert. Der maximale mittlere Schmutzwasserabfluss in einem Magdeburger Schmutzwassersammler beträgt ca. 12 l/s. Diese Menge ist für eine sinnvolle Wärmenutzung nicht ausreichend.

Somit beschränkt sich aus technischen Aspekten eine Anwendung für die Abwasserwärmenutzung auf eine Installation von Wärmetauschern in **Mischwasserkanälen**.

Auswahl geeigneter Standorte

Basierend auf der Annahme, dass vor allem öffentliche Gebäude für die Nutzung der Abwasserwärmetechnik in Frage kommen, wurde nach geeigneten Objekten in der Nähe von Mischwasserkanälen mit ausreichendem Trockenwetterabfluss ($Q_{TW} > 15$ l/s) gesucht. Diese sollten einen ganzjährigen Bedarf an Niedrigtemperaturwärme aufweisen. Zu versorgende Gebäude müssen sich möglichst nahe am Kanalabschnitt befinden, um Transportverluste zu minimieren.

Insgesamt 7 Standorte wurden näher untersucht und in den hydraulischen und standortspezifischen Parametern:

Trockenwetterabflussmenge, Fließgeschwindigkeit, Distanz zwischen Kanal und Standort Wärmepumpe sowie spezifisches Wärmeangebot

bewertet.

Im Ergebnis dieser Bewertung kristallisieren sich 2 Standorte heraus, die sich gegenüber den anderen Standorten deutlich absetzen:

1. Hegelgymnasium mit dem Mischwasserkanal Ei 1000/1500 in der Steubenallee und
2. AMO Kulturhaus mit dem Mischwasserkanal MP 2000/2000 in der Erich-Weinert-Straße.

Detailuntersuchung ausgewählter Standorte

Weder das Hegelgymnasium noch das AMO Kulturhaus besitzen unserer Kenntnis nach ein Niedrigtemperaturheizsystem, wie es für eine sinnvolle Wärmenutzung aus Abwasser notwendig ist.

Die folgenden Betrachtungen setzen voraus, dass ein entsprechendes Heizsystem installiert und die dafür notwendige Gebäudeertüchtigung erfolgt. Die adäquaten Kosten werden folgend nicht berücksichtigt.

Weiterhin werden folgende Annahmen getroffen:

- Da keine Gefällereserve in den Kanalabschnitten vorhanden ist (wie übrigens bei allen untersuchten Einbauorten), muss, um Sohlsprünge zu vermeiden, ein kompletter Austausch des vorhandenen Kanals vorgesehen werden.
- Die Wärmetauscher werden als vorgefertigte Kanalsegmente installiert.
- Das Temperaturniveau des Abwassers (Mittelwert ca. 15 °C) ist für eine direkte Wärmeversorgung von Gebäuden nicht ausreichend. Erst mit dem Einsatz von Wärmepumpen kann diese Ressource erschlossen werden. Es kommt jeweils eine Kompressionswärmepumpe zum Einsatz.
- Die Abwasserwärmanlage wird so ausgelegt, dass sie den gesamten Jahreswärmebedarf decken könnte.

Die Details der Berechnungen finden Sie in der Anlage.

Im Ergebnis kann folgendes konstatiert werden:

Zur Absicherung einer kontinuierlichen Wärmeversorgung der Objekte muss neben der Wärmepumpe für die Abwasserwärmenutzung redundant ein Gasheizkessel vorgehalten werden, der Verbrauchspitzen bzw. Imponderabilitäten der Abwasserwärmeverfügbarkeit bei einem Mischwasserkanal ausgleicht. *Ein redundanter Heizkessel bleibt in den folgenden Kostenberechnungen unberücksichtigt.*

Für die Installation einer Anlage zur Nutzung der Abwasserwärme im **Hegelgymnasium** betragen die Investitionskosten (**brutto**) ca.

$$K_{\text{Invest (1)}} = 564.000 \text{ €}.$$

Auf Grund der Stromkosten der Wärmepumpe, sowie der Kosten für die Instandhaltung/ Wartung der Wärmepumpe und der Kanaleinbauten müssen Betriebskosten von ungefähr

$$K_{\text{Betrieb (1)}} = 51.000 \text{ €/a} \quad \text{erwartet werden.}$$

Für die Installation einer Anlage zur Nutzung der Abwasserwärme im **AMO-Kulturhaus** betragen die Investitionskosten (**brutto**) ca.

$$K_{\text{Invest (2)}} = 284.000 \text{ €}.$$

Auf Grund der Stromkosten der Wärmepumpe, sowie der Kosten für die Instandhaltung/ Wartung der Wärmepumpe und der Kanaleinbauten müssen Betriebskosten von ungefähr

$$K_{\text{Betrieb (2)}} = 16.500 \text{ €/a} \quad \text{erwartet werden.}$$

Auswertung

Um einen Vergleich mit einer konventionellen Heizanlage ziehen zu können, werden für beide Standorte die Gesamtjahreskosten aus einem Kapitaldienst für Tilgung und Zinsen sowie den Betriebskosten berechnet.

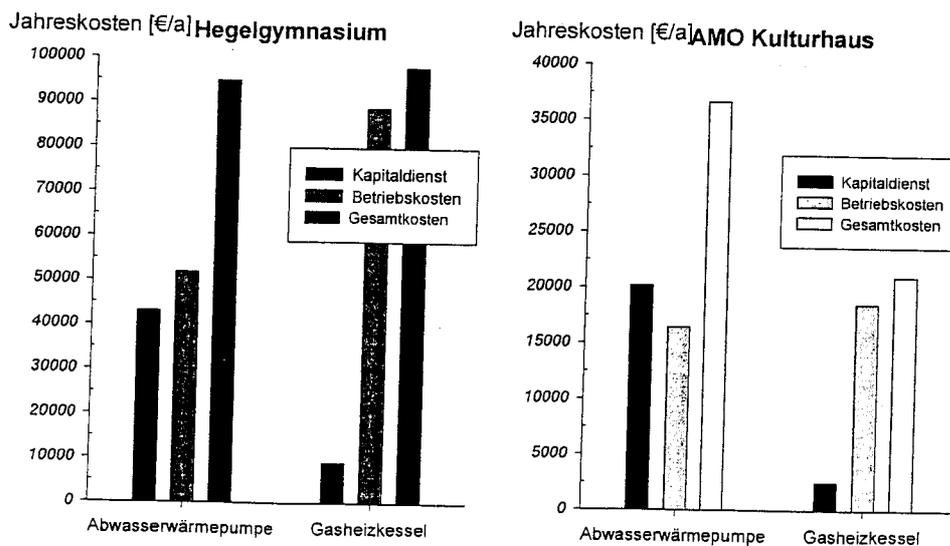


Abbildung 1: Jahreskosten aus Kapitaldienst und Betriebskosten

Beim Hegelgymnasium ergeben sich aus dem Einsatz einer Abwasserwärmanlage auf Basis der dargestellten Rahmenbedingungen weder finanzielle Vor- noch Nachteile gegenüber einem Gasheizkessel. Bei beiden betragen die Jahreskosten ca. 95.000 €/a.

Anders sieht das Ergebnis beim AMO Kulturhaus aus. Dort würde eine Abwasserwärmanlage um 42 % höhere Jahreskosten als ein Gasheizkessel verursachen.

Zirka 43 % der jährlichen Kapitalkosten am Standort Hegelgymnasium generiert die Kanalauswechslung. Eine betriebswirtschaftlich sinnvolle Nutzung der Abwasserwärmenutzung an diesem Standort wäre lediglich bei einer sanierungsbedingten Kanalerneuerung erkennbar. Ein derartiger Sanierungsbedarf für den Mischwasserkanal besteht jedoch mittelfristig nicht.

Abwassercharakteristik		
spez. Wärmekapazität	Dichte Abwasser	Abwassertemperatur
c	ρ	$\varnothing T_a$
$kWh/kg \times K$	kg/l	$^{\circ}C$
4,19	1	15

Standortdefinition			
		1	2
		Hegel Gymnasium	Kulturhaus AMO
Kanalart		Mischwasserkanal	Mischwasserkanal
Kanalprofil	DN	EI 1000/1500	MP 2000/2000
Trockenweiterabfluss	Q_{TW}	l/s	120
benetzter Umfang bei Trockenweiter	$U_{Trocken}$	m	1,46
Fließgeschwindigkeit bei Trockenweiter	$V_{Trocken}$	m/s	0,96
Kosten bei Kanalauswechslung (Netto)		€/lfd. m	3.130
Fixe Kosten Kanalauswechslung (Netto)		€	32.400
Jahreswärmebedarf		kWh/a	1.454.010

Anlage 2: Standortdefinition

Zinssatz [%]
Zinsfaktor

5,00
1,05
KFAKR

Abwasserwärmepumpe							
Jahreskosten							
	ND [a]	K _{Invest} [€]	K _J [€/a]	ND [a]	K _{Invest} [€]	K _J [€/a]	
Wärmetauschermodule	12	83.300	9.398	12	47.600	5.370	0,1128
Wärmepumpe	10	89.700	11.617	10	23.990	3.107	0,1295
Zusatzkomponenten	10	17.300	2.240	10	7.159	927	0,1295
Installation	10	8.650	1.120	10	3.580	464	0,1295
Kanalauswechslung	80	364.676	18.609	80	201.824	10.299	0,1295
Summe Kapitaldienst		563.626	42.985		284.153	20.167	0,0510
Betriebskosten			51.740			16.440	
Jahreskosten			94.725			36.607	

Gasheizkessel							
Jahreskosten							
	ND [a]	K _{Invest} [€]	K _J [€/a]	ND [a]	K _{Invest} [€]	K _J [€/a]	
Kessel	10	63.310	8.199	10	17.453	2.260	0,1295
Zusatzkomponenten	10	4.432	574	10	1.222	158	0,1295
Installation	10	1.899	246	10	524	68	0,1295
Summe Kapitaldienst		69.641	9.019		19.198	2.486	
Betriebskosten			88.840			18.510	
Jahreskosten			97.859			20.996	

Anlage 3: Jahreskosten

CO ₂ -Bilanz Vergleich Standort 1			
Abwasserwärmepumpe		Gasheizkessel	
Leistungszahl	5,60	Normnutzungsgrad	1,09
Jahreswärmebedarf	1.454.010,00 kWh/a		1.333.954,13 kWh/a
Verdichterarbeit	86.224,06 kWh/a		
Wärme aus Abwasser	1.367.785,94 kWh/a		
Primärenergiefaktor Strom*	3,00	Primärenergiefaktor Gas*	1,10
spez. CO ₂ -Emission*	0,46 kgCO ₂ /kWh	spez. CO ₂ -Emission**	0,20 kgCO ₂ /kWh
Primärenergiebedarf	258.672,19 kWh/a	Primärenergiebedarf	1.467.349,54 kWh/a
CO ₂ -Emission	39.576,85 kgCO ₂ /a	CO ₂ -Emission	266.790,83 kgCO ₂ /a
Einsparpotential		227.213,98 kgCO₂/a	

CO ₂ -Bilanz Vergleich Standort 2			
Abwasserwärmepumpe		Gasheizkessel	
Leistungszahl	5,60	Normnutzungsgrad	1,09
Jahreswärmebedarf	300.000,00 kWh/a		275.229,36 kWh/a
Verdichterarbeit	54.098,36 kWh/a		
Wärme aus Abwasser	245.901,64 kWh/a		
Primärenergiefaktor Strom*	3,00	Primärenergiefaktor Gas*	1,10
spez. CO ₂ -Emission*	0,46 kgCO ₂ /kWh	spez. CO ₂ -Emission**	0,20 kgCO ₂ /kWh
Primärenergiebedarf	162.295,08 kWh/a	Primärenergiebedarf	302.752,29 kWh/a
CO ₂ -Emission	24.831,15 kgCO ₂ /a	CO ₂ -Emission	55.045,87 kgCO ₂ /a
Einsparpotential		30.214,72 kgCO₂/a	

*Angaben der Städtischen Werke Magdeburg GmbH

**Angaben der E.ON Ruhrgas AG auf <http://www.erdgasinfo.de>

Anlage 4: CO₂ - Bilanz