

Schlussbericht 4. Juni 2015

Abwasserenergienutzung aus Kanal

Machbarkeitsstudie The Circle Flughafen Zürich



Projektleitung:

Verein InfraWatt
Kirchhofplatz 12
CH-8200 Schaffhausen
Tel. 052 238 34 34
www.infrawatt.ch

Projektbearbeitung:

Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
CH-8411 Winterthur
Tel. 052 234 50 50
www.hunziker-betatech.ch

Autoren:

Ernst A. Müller, Verein InfraWatt
Ruedi Moser, Hunziker Betatech AG
Oliver Mathys, Hunziker Betatech AG

Finanzierung:

Das Projekt wurde vom Bundesamt für Energie im Rahmen des Programmes EnergieSchweiz und von der Flughafen Zürich AG finanziert.

BFE-Programmleiter: Herr Matthieu Buchs
BFE-Vertragsnummer: SI/401529-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren verantwortlich.

Projektziele

Mit dieser Untersuchung wird mit Unterstützung vom Bundesamt für Energie von InfraWatt und den Fachleuten der Firma Hunziker Betatech AG ermittelt, ob und wie die Abwasserenergienutzung bei einem aktuellen Grossprojekt technisch und wirtschaftlich zur Beheizung und Kühlung von Gebäuden integriert werden kann. Mit einer Machbarkeitsstudie am Gebäudekomplex "The Circle" wird untersucht, inwiefern die Abwasserenergienutzung aus dem Kanal an einem konkreten Fall mit weit fortgeschrittenem Projektstand überhaupt noch integrier- und umsetzbar ist. Daneben sollen für interessierte Bauherren und Fachleute generelle Aspekte und Erfahrungen für die Abwasserwärmenutzung wiedergegeben und allgemeine Schlussfolgerungen einer Ausweitung in der Schweiz gezogen werden.

Zusammenfassung

Der Bau eines grossen Neubaukomplexes "The Circle" neben dem Flughafen Zürich mit Baukosten von ca. 1 Milliarde Franken sowie ein Abwasserkanal, der direkt vor der Haustüre liegt und neu gebaut werden muss, bieten optimale Voraussetzungen, um an einem bereits gestarteten Grossprojekt die Möglichkeiten der Nutzung des Abwassers zur Beheizung und zur Kühlung aufzuzeigen. Sehr hilfreich war, dass der Betriebsleiter der ARA Kloten Opfikon die Abwasserwärmenutzung grundsätzlich unterstützte, die verschiedenen Kontakte herstellte und bei der Flughafen Zürich AG die Idee einbrachte die Wärmenutzung aus dem Kanal zu prüfen.

Mittels zur Verfügung gestellter Daten der ARA Abwasserreinigung Kloten Opfikon (= AKO) konnte das mögliche Potential für Heizen und Kühlen ermittelt werden. Im Mittel steht im neu zu erstellenden Abwasserkanal eine primäre Heizleistung von 1.8 MW, beziehungsweise 1.4 MW Kühlleistung zur Verfügung, welche ohne Beeinträchtigung des Betriebes der Kläranlage genutzt werden könnte. Durch spezielle Wärmetauscher, welche idealerweise während des Einbaus der neuen Kanalelemente installiert werden, kann der grösste Teil dieser Energie aus dem Kanal genutzt werden. Das Energieangebot, welches unmittelbar nach dem Wärmetauscher zur erforderlichen Wärmepumpe geliefert werden kann, beläuft sich auf etwa 1.6 MW Heizleistung. Die Kälteleistung ist je nach Abwassertemperatur abhängig und variiert zwischen 1.0 bis 1.3 MW. Als Energieaufbereitungsanlagen werden bivalente Wärmepumpen- bzw. Kältemaschinenanlagen mit einer Spitzendeckung vorgeschlagen. Der neue Abwasserkanal sollte dabei möglichst etwas grösser als ursprünglich geplant dimensioniert werden. Die Gestehungskosten pro kWh Wärme/Kälte belaufen sich dabei auf Fr./kWh 0.10, was im Vergleich zu konventionellen Öl- oder Gasheizungen durchaus interessant ist. Der Einsatz von Abwärme aus dem Abwasser bzw. erneuerbarer Energien wird dabei von verschiedenen Förderinstitutionen unterstützt.

Die Realisierung der Abwasserenergienutzung konnte dem Bauherrn aufgrund der Ergebnisse der Machbarkeitsstudie empfohlen werden. Da der Bau der neuen Kanalisation bereits weit fortgeschritten war, kam nur noch die etwas teurere Variante ausserhalb des Kanales in Frage. Weil bei diesem Projekt für den Gebäudekomplex The Circle eine Pfahlfundation erstellt werden mussten, ergab sich hier die Möglichkeit Erdpfähle für die Warmegewinnung einzusetzen. Da diese Wärmepumpen-Variante mit Erdwärme in diesem Fall sehr kostengünstig ist, entschloss sich die Flughafen Zürich AG für die Variante Erdpfähle, so dass die Abwasserwärmenutzung nicht realisiert wurde.

Anlässlich dieser Arbeiten zeigte sich die in der Machbarkeitsstudie (vgl. Anhang) ebenfalls angesprochene Problematik der oftmals späten Projektierung. Die Umsetzungswahrscheinlichkeit der Abwasserenergienutzung aus dem Kanal nimmt aufgrund befürchteter zeitlicher Verzögerungen und Mehrkosten jeweils ab. An diesem Punkt ist mittels Aufklärung und Information der Bauherren anzusetzen, um einen Miteinbezug dieser nachhaltigen Technologie bereits im Vorprojekt zu erreichen und so einen

im Hinblick auf die Energiestrategie 2050 wertvollen Beitrag leisten zu können. Dazu sind zunächst die interessantesten Standorte in der Schweiz zu ermitteln und mit den Gemeinden und den Abwasserverbänden Projekte auszulösen. Für die Planung, den Bau und Betrieb von geeigneten Projekten interessieren sich in der Schweiz inzwischen zahlreiche Contractoren mit umfassenden Erfahrungen mit der Abwasserenergienutzung, so dass auch die Finanzierung sowie das notwendige Know How für die Realisierung von solchen Anlagen sichergestellt werden können.

Inhalt

Projektziele	3
Zusammenfassung	3
1 Allgemeines	6
1.1 Ziele	6
1.2 Abgrenzung	6
2 Wärme- und Kältepotential aus Kanalabwasser	6
2.1 Berechnungsgrundlagen Abwasser.....	6
2.2 Trockenwetter-Zulaufmengen.....	7
3 Einfluss auf die Abwasserreinigungsanlage	7
3.1 Zulässige Temperaturabkühlung im ARA-Zulauf	7
3.2 Zulässige Temperaturerhöhung für Gewässer	8
3.3 Einschränkungen	8
4 Systeme zur Wärmegewinnung aus dem Kanal	9
4.1 Abwärmenutzung mit Inliner	9
4.2 Vorfabrizierte Kanalelemente	10
4.3 Abwärmenutzung mit Kanal-externen Wärmetauschern.....	11
4.4 Qualitativer Vergleich der verschiedenen Wärmetauschersysteme.....	12
5 Kosten und Wirtschaftlichkeit	12
6 Erkenntnisse und Ausblicke	12
6.1 Erkenntnisse	12
6.2 Ausblicke	13
6.3 Unterstützung und Förderung durch InfraWatt.....	13
6.4 Weiterführende Literatur	14
Anhang: Machbarkeitsstudie "The Circle" Flughafen Zürich	15

1 Allgemeines

Dieser Bericht über die Abwasserenergienutzung in der Schweiz richtet sich an Gemeinden, interessierte Bauherren und Ingenieure, also an Fachleute aus der Abwasserbranche und darüber hinaus (u.a. auch aus dem Bereich Heizung/Lüftung/Klima, Energieplanung etc.). Es werden die generellen Aspekte für die Abwasserenergienutzung, wie auch Erfahrungen aus der Praxis, wiedergegeben. Beginnend bei der ersten Abschätzung über das mögliche Wärme- beziehungsweise Kältepotential, führt dieser Bericht zur Nutzung des Potentials aus dem Kanal (inline wie auch extern). Weiter werden die Kosten und die Wirtschaftlichkeit für die Abwasserwärmenutzung behandelt. Schlussendlich werden Erkenntnisse und Ausblicke für die Abwasserwärmenutzung generell gegeben. Zudem wird im Anhang eine konkrete Machbarkeitsstudie zur Nutzung des Wärme- beziehungsweise Kältepotentials aus dem Abwasserkanal für das Projekt „The Circle“ vom Flughafen Zürich aufgeführt.

1.1 Ziele

Folgende Ziele soll dieser Bericht erreichen:

- Erfassen des Wärme-, bzw. Kältepotentials aus dem Abwasser.
- Mögliche Auswirkungen auf die Abwasserreinigungsanlage.
- Grober Vergleich der verschiedenen Systeme für Abwasserwärmenutzung.
- Grober Vergleich der Kosten und Wirtschaftlichkeit mit verschiedenen Systemen.
- Allgemeine Erkenntnisse und Ausblicke zur thermischen Energiegewinnung aus Abwasser.

1.2 Abgrenzung

Die in diesem Bericht getätigten Angaben beziehen sich auf die Nutzung von Rohabwasser aus dem Kanal. Die Nutzung von gereinigtem Abwasser ist an andere Bedingungen geknüpft und wird hier nicht behandelt. Ausführliche Unterlagen dazu sind unter www.infrawatt.ch zu finden.

Dieser Bericht beschreibt unter anderem Systeme von Unternehmern. Die Hunziker Betatech AG weist daraufhin, dass die hier genannten Abwärmenutzungssysteme nicht abschliessend behandelt werden konnten und für deren Angaben keine Garantien übernommen werden. Weiter wird darauf hingewiesen, dass jedes hier genannte System nur nach fachgerechter, genauer Abklärung und situationsbedingt eingesetzt werden kann. In jedem Fall gilt es frühzeitig den Kontakt zum ARA- und Kanal-Betreiber zu suchen und diese in das Projekt miteinzubeziehen.

2 Wärme- und Kältepotential aus Kanalabwasser

2.1 Berechnungsgrundlagen Abwasser

Die potentielle Entzugsleistung aus dem Abwasser wird aus dem Tagesmittel des Trockenwetterabflusses und der möglichen Temperaturabsenkung gemäss folgender Formel berechnet:

$$P = c * \rho * Q * \Delta T$$

P	Potentielle Entzugsleistung [kW]
c	Spez. Wärmekapazität Wasser [4.182 kJ/kg * K]
ρ	Dichte Wasser [1 kg/l bei 4°C]
Q	Tagesmittel des Trockenwetterabflusses [l/s]
ΔT	Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf [K]

Dieses Entzugspotential wird in der Wärmepumpe genutzt und steht, aufgrund der zugeführten elektrischen Energie, mit rund Faktor 1.3 als Nutzenergie zur Verfügung.

2.2 Trockenwetter-Zulaufmengen

Zur Berechnung der Entzugsleistung aus dem Abwasser ist das Tagesmittel des Trockenwetterabflusses relevant, also ohne Regenwasser. Als Trockenwetterabfluss werden die gemessenen Tagesmittelwerte der Trockenwetterzuläufe der letzten zwei Jahre jeweils ab dem dritten Trockenwetter-Tag berücksichtigt. Sämtliche Tage, an denen eine Regenmenge grösser Null gemessen wird, sowie je zwei Folgetage, werden nicht berücksichtigt.

Bei der Temperaturabsenkung sind einerseits die technischen Bedingungen seitens Wärmetauscher und Wärmepumpe zu beachten, aber auch die Bedingungen seitens der Abwasserreinigungsanlage, da dort der Betrieb weiterhin gesichert bleiben muss.

3 Einfluss auf die Abwasserreinigungsanlage

3.1 Zulässige Temperaturabkühlung im ARA-Zulauf

Die Entzugsleistung wird bestimmt durch die Ammoniumkonzentration im Ablauf der ARA und den Einleitbedingungen. Normalerweise müssen über 90 % der Tagessammelproben unter dem Grenzwert der Ablaufkonzentration von 2 mg NH₄-N/l liegen. Mit sinkender Zulauftemperatur ist eine steigende Ammoniumkonzentration im Ablauf der ARA zu erwarten. Mit folgender Formel kann die Ammoniumkonzentration ermittelt werden (Veranschaulichung an Beispiel vgl. Abb. 1):

$$C_{NH_4,neu} = C_{NH_4,gemessen} * e^{0.33 * \Delta T}$$

$C_{NH_4,neu}$	Zu erwartende Ammoniumkonzentration [mg NH ₄ -N/l]
$C_{NH_4,gemessen}$	Gemessene Ammoniumkonzentration [mg NH ₄ -N/l]
ΔT	Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf [K]

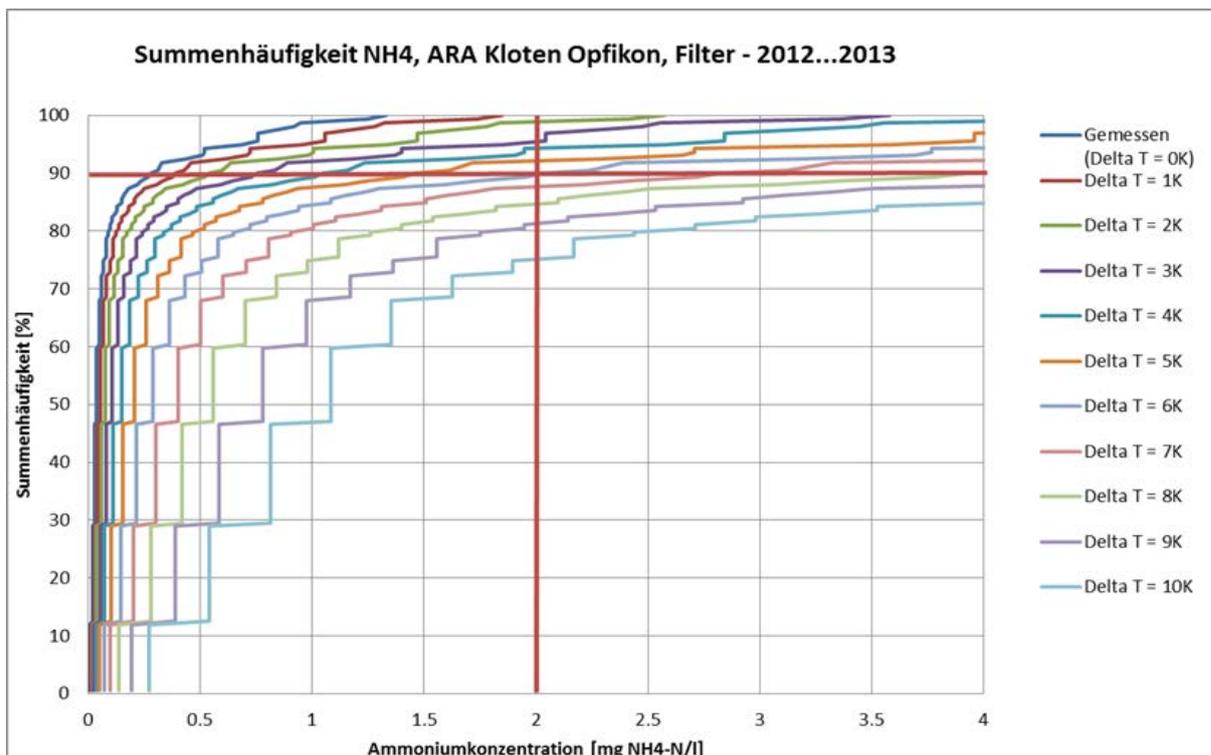


Abb. 1: Summenhäufigkeit NH₄-N, ARA Kloten/Opfikon, Messstelle Filter - 2012 und 2013

Die nachfolgende Formel beschreibt die Berechnung für die Temperaturabsenkung auf die gesamte Anlage Kläranlage bei einer Wärmeentnahme aus einem Teilstrom:

$$\Delta T_{\text{total}} = \Delta T_C \cdot Q_C / Q_{\text{total}}$$

ΔT_{total}	Temperaturabsenkung im Zulauf ARA total [K]
ΔT_C	Temperaturabsenkung im Teilstrom [K]
Q_{total}	Trockenwetterzulauf total [l/s]
Q_C	Trockenwetterzulauf im Teilstrom [l/s]

Weitere Angaben zur NH₄-und Potentialberechnung können dem Leitfaden "Energie in ARA" 2008/2010 vom Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) und Energie-Schweiz, entnommen werden (Bezug: www.vsa.ch).

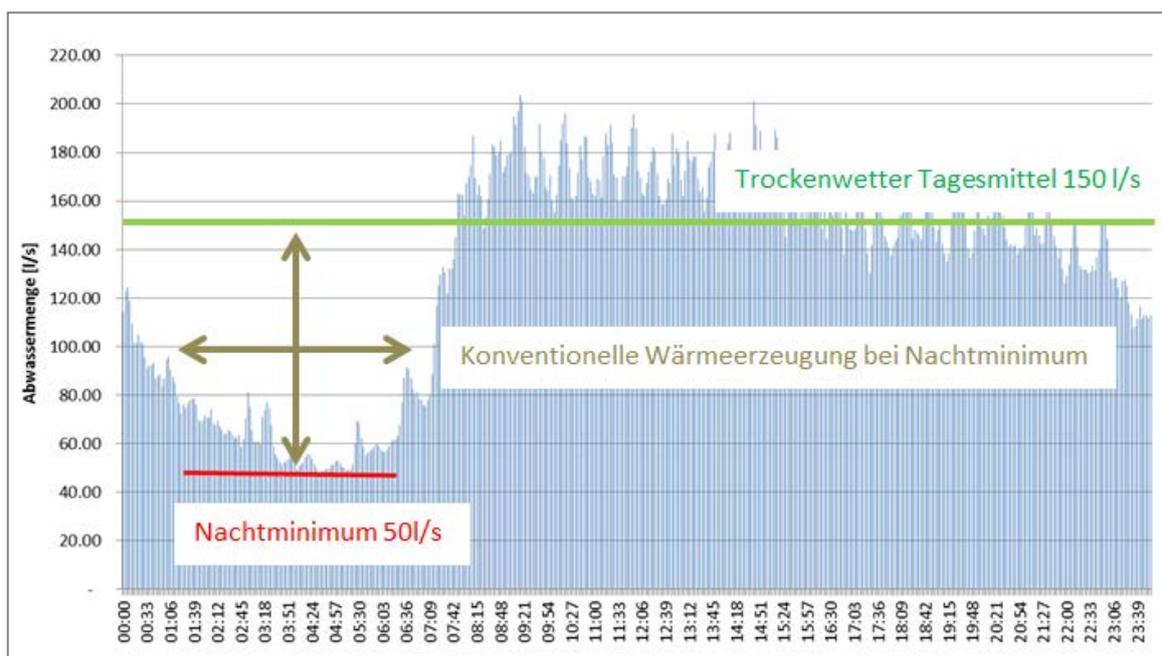


Abb. 2: Typische Tagesganglinie des Zulaufs bei Trockenwetter im Winter, ARA Kloten/Opfikon

3.2 Zulässige Temperaturerhöhung für Gewässer

Die Gewässer in der Schweiz weisen durch menschliche Einflüsse bedingt zunehmend höhere Temperaturen auf. Dadurch erfährt die einheimische Fischfauna schon heute Beeinträchtigungen. Wärmeeinträge in die Gewässer z.B. zu Kühlzwecken von Gebäuden über die Wärmerückführung ins Abwasser sind deshalb möglichst zu vermeiden. Kühlung mit Abwasser wird deshalb nur in jenen Fällen zugelassen, in denen das erwärmte Abwasser in Fließgewässern und stehenden Gewässern genügend verdünnt und die Temperatur nicht zu stark erhöht wird.

3.3 Einschränkungen

Da der Abwasseranfall über den Tag verteilt verschieden hoch ist, kann für kurze Zeiten zu wenig Wasser für die thermische Energiegewinnung vorhanden sein. Als Veranschaulichung wird eine typische Tagesganglinie bei Trockenwetter der ARA Kloten/Opfikon in Abbildung 2 gezeigt.

Es ist bei Ausschöpfung der Energiepotentiale aus dem Abwasser deshalb unerlässlich, ein bivalentes Heizsystem einzusetzen. Ein bivalentes Heizsystem ist ein System, das mit zwei Betriebsarten arbeitet. In diesem Fall zum Beispiel mit einer Wärmepumpe für die Grundlast und einem konventionellen Heizkessel (Gas, Öl) für die Spitzenlastabdeckung.

4 Systeme zur Wärmegewinnung aus dem Kanal

4.1 Abwärmenutzung mit Inliner

Bei der Wärmegewinnung im Kanal sind die Inliner am häufigsten, sie werden im Kanal installiert.

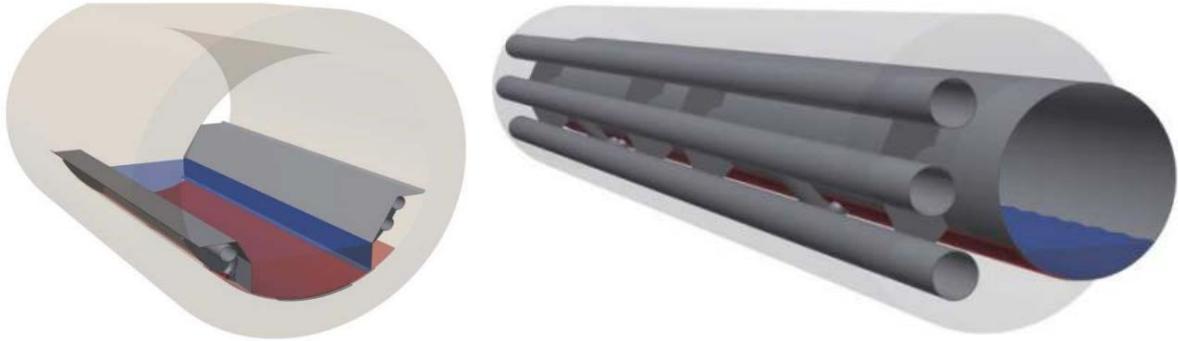


Abb. 3: Kanalwärmetauscher Typ „SEWER“ (links) und „GRAVITYTUBE“, Quelle: KASAG, 28.4.2015

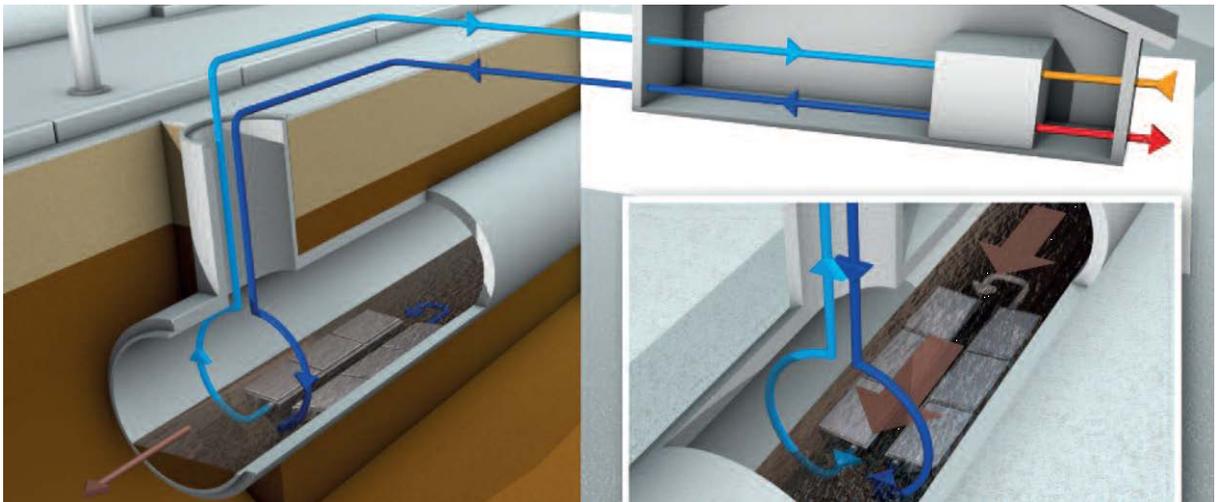


Abb. 4: System nach Picatech Huber, Quelle: Picatech Huber, 28.4.2015



Abb. 5: System nach Uhrig, Quelle: www.e-qua.de, 28.4.2015

4.2 Vorfabrizierte Kanälelemente

Zudem gibt es vorkonfektionierte Kanäle, wie in Abbildung 6 abgebildet, bei denen bereits ein „Wärmetauscher“ integriert ist. Diese Kanäle können aber nur dann zum Einsatz kommen, wenn die bestehenden Kanäle ersetzt werden müssen oder ein neues Kanalnetz gebaut wird. Diese Art von Kanälelementen muss vorfabriziert werden.



Abb. 6: Vorfabrizierte Kanäle mit Wärmetauscher, Quelle: ecoquent-positions, 28.04.2015

Weiter werden integrierte Systeme eingesetzt, die zum einen das Rohabwasser als thermische Energiequelle und das umliegende Erdreich als Energielieferanten nutzen. Die Lieferanten reden von 20% Wärmebeitrag aus Abwasser und 80% aus Erdreich. In Abbildung 7 ist solch ein System grafisch dargestellt. Auch dieses System kann nur bei Ersatz der bestehenden Kanäle angewendet werden.

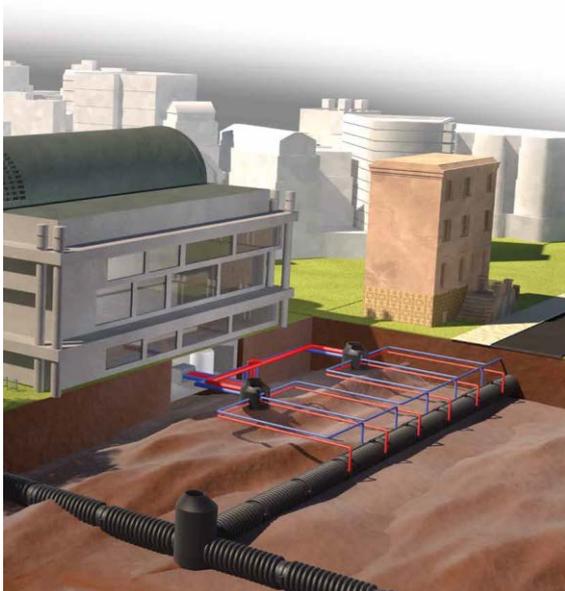


Abb. 7: System nach Xorella Frank, Quelle: Xorella Frank, 28.4.2015

4.3 Abwärmenutzung mit Kanal-externen Wärmetauschern

Es besteht auch die Möglichkeit, das Rohabwasser aus dem Kanal zu Pumpen und dieses in einen extern liegenden Wärmetauscher zu führen. Diese Nutzung bedarf diverser Anpassungen an die Infrastruktur, die bei den Inlinern (Kapitel 4.1) nicht zu berücksichtigen sind. In Abbildung 8 ist ein externer Wärmetauscher und in Abbildung 9 ein Konzept eines umgesetzten Projekts abgebildet.



Abb. 8: „RoWin“- System von Picatech Huber, Quelle: Hunziker Betatech AG, 28.04.2015

Wintower Immobilien AG : Konzept Wärme aus Abwasser

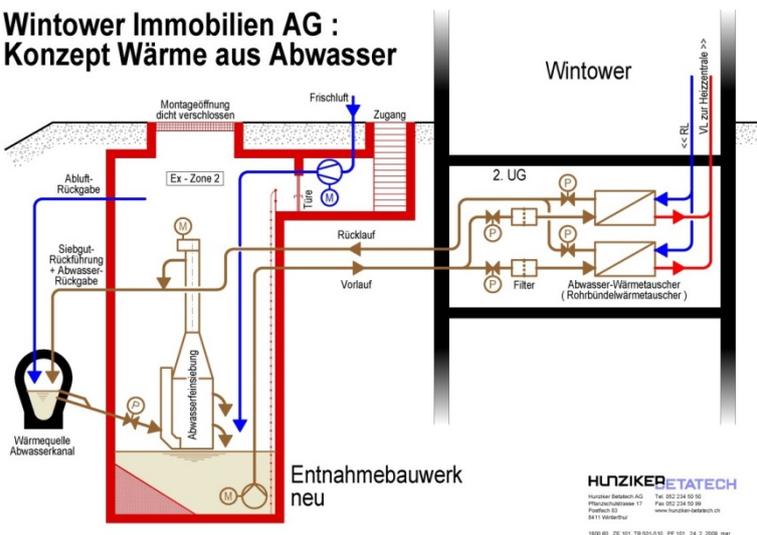


Abb. 9: Prinzipschema Wintower Winterthur, 2012

4.4 Qualitativer Vergleich der verschiedenen Wärmetauschersysteme

Die in Kapitel 4 erwähnten Systeme kommen alle für die thermische Energienutzung aus dem Rohabwasser in Frage. Es ist aber fallweise das entsprechende System aufgrund der spezifischen Ausgangslage und Bedingungen fachkompetent zu evaluieren.

So sind zum Beispiel Inliner, wie in Kapitel 4.1 erwähnt, am häufigsten. Sie sind dann sinnvoll, wenn die Kanäle nicht ersetzt werden müssen und der Durchmesser bei \geq DN 1000 mm liegt. Vorfabrizierte Wärmetauscher, wie in Kapitel 4.2 aufgeführt, kommen dann zum Einsatz, wenn man Kanäle ersetzt oder Gebiete mit neuen Kanälen erschlossen werden. Die Lösungen mit externen Wärmetauschern aus Kapitel 4.3 können dahingehend ein breiteres Spektrum abdecken. Die Kanäle können kleiner als DN 1000 mm sein. Vorteilhaft ist, dass am Kanal nur geringe Eingriffe vorgenommen werden müssen, umgekehrt ist aber der Aufwand für die benötigten Bauwerke (siehe auch Abbildung 9) beträchtlich, so dass diese Variante aus Kostengründen für kleinere Objekte weniger geeignet sind.

5 Kosten und Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten für die Abwasserwärmenutzung variieren je nach System. Auch sind Neubauten grundsätzlich etwas kostengünstiger als spätere Nachrüstungen, auch wenn die Abwasserwärmenutzung bisher in den meisten Fällen bei bestehenden Kanälen und bei bestehenden Gebäuden realisiert wurde. Alle Systeme haben aber bei entsprechenden Voraussetzungen gemeinsam, dass diese mit moderaten Gestehungskosten pro kWh betrieben werden können. Aus verschiedenen Projekten sind Gestehungskosten von 10 bis 15 Rp/kWh bekannt bei Amortisationszeiten \geq 20 Jahre. Die Gestehungskosten setzen sich primär aus den Kapitalkosten und Amortisation für die Investition, den Energiekosten und den Betriebs/Personalkosten für Wartung und Unterhalt zusammen.

Generell sind kleine Anlagen weniger wirtschaftlich. Für Wärmeverbünde und Grossverbraucher können aber wirtschaftliche Renditen erzielt werden.

6 Erkenntnisse und Ausblicke

6.1 Erkenntnisse

Im Abwasser ist ein erhebliches Potential an thermischer Energie zu finden ist. Sowohl Rohabwasser, wie auch gereinigtes Abwasser lassen sich dafür nutzen. Wobei die Ausreizung des Potentials bei Rohabwasser und gereinigtem Abwasser nicht gleich zu setzen sind.

Die Nutzung von gereinigtem Abwasser lassen höhere Temperaturspreizungen (für Wärmezwecke) zu, die Energiegewinnung ist einfacher und zudem ist beim Auslauf der ARA am meisten Wasser vorhanden. In der Summe ergibt dies höhere nutzbare Entzugsleistungen. Zudem können in nicht überbauten Gebieten dank den geringeren Kosten mit kalter oder warmer Fernwärme grosse Distanzen überwunden werden, pro 1 MW Wärmeabnahme rund 1 km, bei 2 MW ungefähr das Doppelte. Als Beispiel sei hier die ARA Moossee-Urtenenbach genannt, bei welcher gleich zwei Wärmeverbünde mit Abwasserwärme realisiert wurden: Eine warme Fernwärme mit 1.8 MW nach Hindelbank mit einer Distanz von rund 1 km und eine kalte Fernwärme mit 1.9 MW nach Jegenstorf mit einer Distanz von 2.2 km (vgl. Abb. 10, Quelle Localnet AG).

Der Vorteil beim Rohabwasser ist die dezentrale Lage im Gemeindegebiet, wo auch häufig Wärmeabnehmer zu finden sind. So kann diese Energiequelle direkt oder in der Nähe des Verbrauchers erschlossen werden. Die Leistungsausnützung ist im Gegenzug geringer als beim Auslauf der ARA.

Stolperstein bei vielen Abwasserwärmenutzungsprojekten ist indes die späte Projektierung. In vielen Fällen werden Bauherren erst bei weit fortgeschrittenen Projektierungsphasen auf die Möglichkeit der Abwasserwärmenutzung aufmerksam. Dies kann im ungünstigsten Fall zu Planungsschlaufen und allenfalls zu Zusatzkosten führen, weshalb viele Bauherren die Option der Abwasserwärmenutzung wieder fallen lassen. Das Ziel sollte sein, die Bauherren schon in der Phase des Vorprojekts über die Möglichkeit einer allfälligen Abwasserwärmenutzung zu informieren.

Zusätzlich zur Abwasserwärmenutzung soll hier auch die Nutzung durch Erdsondenfelder oder bei entsprechenden Vorkommen auch Grundwasser, sofern eine Wärmeentnahme bewilligt wird, erwähnt werden. Diese können eine Alternative für die nachhaltige Wärmeerzeugung bieten.

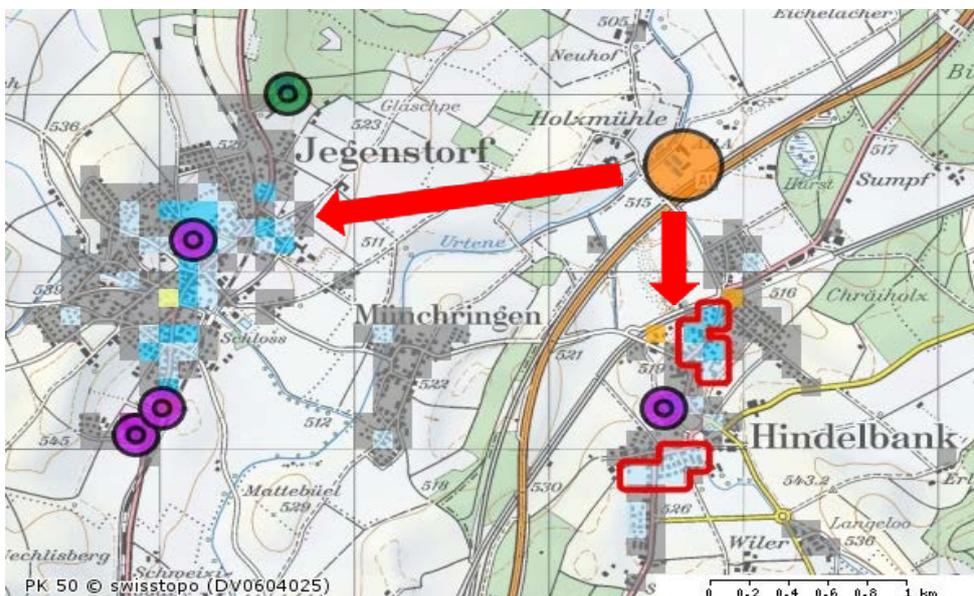


Abb. 10: Abwasserwärmenutzung mit kalter und warmer Fernwärme mit Distanzen über 2 km

6.2 Ausblicke

Mit der Energiestrategie 2050 des Bundes kann auch die Abwasserwärmenutzung vermehrt in den Fokus der Allgemeinheit gerückt werden. Weiter darf auch auf die Weiterentwicklung neuer Verfahren und Technologien im Bereich der Abwasserwärmenutzung gehofft werden. Somit lassen sich kleinere Kanaldurchmesser erschliessen, was auch zu einer Marktvergrösserung beitragen dürfte. Zudem kann sich diese Markterweiterung auch positiv auf den Unternehmenswettbewerb auswirken. Denn steigt die Nachfrage an solchen Produkten, steigt auch die Angebotsvielfalt und somit senken sich die Preise für solche Systeme pro erzeugte kWh.

Die Kommunikation über möglichst viele Kanäle trägt ein weiteres zum „bekannt werden“ der Abwasserwärmenutzung bei. Es gilt auch hier, eventuelle Vorurteile gegenüber der Abwasserwärmenutzung zu widerlegen.

6.3 Unterstützung und Förderung durch InfraWatt

Der Verein InfraWatt ist in der Schweiz das Kompetenzzentrum Abwasserenergie. InfraWatt kann dank dem Mandat von EnergieSchweiz bereits heute Gemeinden, Abwasserverbänden oder interessierten Bauherren kostenlose, neutrale Beratungen anbieten. Dabei wird zunächst die Ausgangslage im Hinblick auf Energieangebot, Energieabnehmern und den Distanzen abgeschätzt, ob sich weitere Untersuchungen lohnen. InfraWatt kann die Bauherren auch über ein effizientes Vorgehen und über die diversen Fördermöglichkeiten, insbesondere von den Kantonen oder KliK, weiter informieren. Mit diversen Kantonen wird die Abwasserwärmenutzung sogar systematisch angegangen und über GIS-Karten die interessantesten Standorte für die Abwasserwärmenutzung aus den Kanälen oder rund um die Kläranlage ermittelt. Den Gemeinden mit günstiger Ausgangslage wird eine Beratung durchgeführt, Projekte ausgelöst und die Gemeinden beim weiteren Vorgehen (Erstellung Machbarkeitsstudien, Anfrage wegen Fördergeldern, Wahl der Realisierung im Contracting oder in eigener Regie, etc.) beraten.

Auskunft und Anlaufstelle für Info und Beratung:
info@infrawatt.ch

6.4 Weiterführende Literatur

- Austrian Energy Agency; Autoren: F. Zach, K. Ochsner, T. Ertl, E.A. Müller et al., (2012), Energie aus Abwasser, Abwasserwärme- und kältenutzung mittels hocheffiziente Grosswärmepumpen.
- AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft; Autoren: M. Koch, B. Kobel et. al, (2010), Heizen und Kühlen mit Abwasser - Leitfaden für die Planung, Bewilligung und Realisierung von Anlagen zur Abwasserenergienutzung.
- Amt für Umwelt des Kantons Solothurn; Autoren: F. Schmid, E.A. Müller et al., (2008), Energierückgewinnung aus Abwasser – Leitfaden für Gemeinden und Energiestädte im Kanton Solothurn.
- Bundesamt für Energie; Autoren: S. van Velsen, M. Benz, (2013), Wärmerückgewinnung aus Schmutzwasser.
- Bundesamt für Energie; Autoren: S. Gutzwiller, R. Rigassi, H.p. Eicher, (2008): Abwasserwärmenutzung - Potential, Wirtschaftlichkeit und Förderung.
- EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen, VSA, FES; Autoren: R. Buri, B. Kobel, (2004): Wärmenutzung aus Abwasser – Leitfaden für Inhaber, Betreiber und Planer von Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisationen.
- Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Deutscher Städtetag, BWP, ASEW, Energie in Infrastrukturanlagen; Autoren: E. A. Müller, F. Schmid, B. Kobel, W. Stodtmeister, (2005), Heizen und Kühlen mit Abwasser.
- Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V, Autoren: B. Kobel, E.A. Müller, P. Brune et al., (2011): Merkblatt DWA-M 114: Energie aus Abwasser – Wärme- und Lageenergie.
- Eawag; Autor: O. Wanner, (2009), Wärmerückgewinnung aus Abwasser.
- EcosanClub; Autoren: E. Müllegger, G. Langergraber, M. Lechner, (2015), Sustainable Sanitation Practice.
- EnergieSchweiz für Infrastrukturanlagen; Autoren: E.A. Müller, F. Schmid (2005), Heizen und Kühlen mit Abwasser – Ratgeber für Bauherrschaften und Gemeinden.
- Energy Agency Austria; Autoren: F. Kretschmer, G. Neugebauer et al., (2014), Resource Recovery from Wastewater in Austria - Wastewater Treatment Plants as Regional Energy Cells.
- InfraWatt; Autoren: E.A. Müller, M. Dietler (2015), Abwasser, eine Energiequelle zum Heizen und Kühlen, in Aqua & Gas 7/8 2015.
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur - und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; Autoren: K. Müller, E.A. Müller, B. Kobel et al., (2013), Potenziale und technische Optimierung der Abwasserwärmenutzung.
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur - und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; Autoren: E.A. Müller, B. Kobel, J. Pinnekamp, K. Böker et al.,(1999), Handbuch Energie in Kläranlagen.
- Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur - und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen; Autoren: L. Rometsch, B. Kobel, E.A. Müller et al., (2005), Wärmege-
winnung aus Abwasserkanälen.
- VSA und EnergieSchweiz; Autoren: E.A. Müller, B. Kobel, R. Moser, G. Levy et al., (2008/10), Handbuch Energie in ARA - Leitfaden zur Energieoptimierung auf Abwasserreinigungsanlagen.

Anhang: Machbarkeitsstudie "The Circle" Flughafen Zürich

Machbarkeitsstudie Abwasserwärmenutzung „The Circle“, Flughafen Zürich AG



Auftraggeber:
Flughafen Zürich AG

mit Unterstützung vom Bundesamt für Energie

Machbarkeitsstudie Abwasserwärmenutzung

Technischer Bericht
Objekt Nr. 10001.10
Winterthur, 6. Januar 2015

HUNZIKER **BETATECH**

EINFACH.
MEHR.
IDEEN.

Impressum:

Projektname: Machbarkeitsstudie Abwasserwärmenutzung

Teilprojekt:

Erstelldatum: 6. Januar 2015

Letzte Änderung:

Autor: Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
Postfach 83
8411 Winterthur
Tel. 052 234 50 50
E-Mail: info@hunziker-betatech.ch
Andreas Büeler, Oliver Mathys
Koref.: Ruedi Moser

Datei: C:\Users\eam\AppData\Local\Microsoft\Windows\Temporary Internet Files\Content.Outlook\4NI0SRRA\The-Circle-b_eam2_om2.docx

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	3
2	Einführung	3
2.1	Ausgangslage	3
2.2	Ziele	4
3	Grundlagen	4
4	Abgrenzung	4
5	Aufbereitete Betriebsdaten	5
5.1	Zulaufschema	5
5.2	Zulaufmengen	6
5.3	Abwassertemperaturen und Ammoniumkonzentrationen	7
6	Wärme- und Kältepotential Rohabwasser (Teilstrom Kloten)	8
6.1	Berechnungsgrundlagen Abwasser	8
6.2	Trockenwetter-Zulaufmengen	8
6.3	Maximal erlaubte Temperaturabsenkung	9
6.4	Ermittlung der Wärmeleistung	13
6.5	Ermittlung der Kälteleistung	13
6.6	Einschränkungen	14
7	Systeme zur Abwasserwärme- / -kältenutzung	16
7.1	Übersicht Energienutzung aus dem Rohabwasser	16
7.2	Energienutzung aus Rohabwasser am Beispiel Wintower, Winterthur	17
7.3	Systemevaluation zur Energienutzung im Abwasserkanal	20
7.4	Leistungsberechnung	24
8	Kosten $\pm 30\%$	27
8.1	Kostenabgrenzung	27
8.2	Kostenschätzung für Kanal DN 800	28
8.3	Kostenschätzung für Kanal DN 1200	29
9	Einschränkungen	30
9.1	Rechtliche Rahmenbedingungen	30
9.2	Nutzungsvereinbarung	30
10	Förderbeiträge	31
11	Empfehlung	31

1 Zusammenfassung

Dieser Bericht beschreibt die Möglichkeit der Nutzung von Abwasser für Heiz- und Kühlzwecke für das neue Prestige-Objekt „The Circle“ am Flughafen Zürich.

Mittels Daten von der Abwasserreinigungsanlage (ARA) Kloten/Opfikon konnte das mögliche Potential für Heizen und Kühlen ermittelt werden. Im Mittel steht im neu zu erstellenden Abwasserkanal eine primäre Heizleistung von 1.8 MW, beziehungsweise 1.4 MW Kühlleistung zur Verfügung.

Durch Wärmetauscher, welche idealerweise während des Einbaus der neuen Kanäle installiert werden, kann ein Teil dieser Energie aus dem Kanal genutzt werden.

Das Potential, welches unmittelbar nach dem Wärmetauscher zur erforderlichen Wärmepumpe geliefert werden kann, beläuft sich auf etwa 1.6 MW Heizleistung. Die Kälteleistung ist je nach Abwassertemperatur abhängig und kann variieren, sie beläuft sich zwischen 1 MW bis 1.3 MW.

Zudem wird die Thematik Kanaldurchmesser behandelt, da der geplante Durchmesser von DN 800 für die Abwasserwärmenutzung suboptimal ist. Idealerweise sollte der neue Abwasserkanal als DN 1200 dimensioniert werden.

Um eine Übersicht über die notwendigen Investitionen zu geben, wird in Kapitel 8 eine Kostenschätzung $\pm 30\%$ aufgeführt.

Die beiden Kapitel 9 und 10 erläutern mögliche Einschränkungen für die Nutzung des Abwassers und eine Kurzübersicht über mögliche Förderbeiträge.

2 Einführung

2.1 Ausgangslage

Die Planung des Projekts „The Circle“ war bei Beginn der Machbarkeitsstudie (Nov. 2014) bereits weit fortgeschritten; erste Ausführungsarbeiten waren auf Februar 2015 geplant. Die Wärmeversorgung im Circle-Projekt sollten gemäss dem Ziel der Projektleitung der Flughafen Zürich AG bezüglich Nutzung erneuerbarer Energien und auch Energieeffizienz noch optimiert werden. Zwar war eine Grundwassernutzung für die Kühlung vorgesehen, eine Nutzung der Wärme- bzw. Kühlleistung im Abwasser war jedoch Neuland. Die räumliche Lage von „The Circle“ wäre ideal für eine Nutzung von Wärme aus Abwasser. Der Neubau einer Abwasserleitung mit ca. 670 m Länge bietet optimale Voraussetzungen, um einen Rinnenwärmetauscher oder Fertigelemente mit Wärmetauschern einzubauen.

Die Kläranlage Kloten/Opfikon (AKO) reinigt das Abwasser der Flughafengemeinden Kloten und Opfikon und des Flughafens Zürich. Der Abwasserzufluss für die Jahre 2012 und 2013 betrug insgesamt $14'110'175\text{m}^3$, das sind pro Jahr rund sieben Millionen Kubikmeter. In dieser Menge von Abwasser steht einiges an Wärmepotential zur Verfügung. Dieses Potential kann entweder im Kanal vor der Reinigung abgegriffen werden oder im gereinigten Abwasser nach der Kläranlage.

In einer früheren Studie von Hunziker Betatech [4] im Auftrag der Stadt Opfikon wurde das Wärmepotential des Abwassers nach der Kläranlage bereits erläutert. In dieser

Machbarkeitsstudie soll das Potential des Rohabwassers vor der Kläranlage aufgezeigt werden. Dabei ist das Wärmepotential des Teil-Abwasserstroms von Kloten von Interesse, da diese Abwasserleitung direkt an „The Circle“ vorbeiführen wird. Keinesfalls wird der gesamte Wärmebedarf von „The Circle“ damit gedeckt werden können, eine Bandleistung zur Heizung und Kühlung wird auf diese Weise jedoch vorhanden sein.

2.2 Ziele

Die Machbarkeit und die Wirtschaftlichkeit der Nutzung von Abwärme aus Abwasser für „The Circle“ werden geprüft und der ökologische Mehrwert aufgezeigt. Dazu wird auf das Wärmepotential des Abwasserteilstroms Kloten fokussiert (Teilstrom C gemäss Abbildung 1).

- Beurteilung der realistischen und optimalen Wärme- und Kälteleistung aufgrund der Abwassermengen ARA Kloten/Opfikon
- Systemevaluation für das Wärmetauscher-System im Kanal
- Vorschlag zur Einbindung der notwendigen Installationen in „The Circle“ sowie der Verbindung der Abwasserleitung und „The Circle“
- Vollkostenrechnung für Wärme-/Kältepreis mit einer Kostengenauigkeit gem. SIA \pm 30%
- Darstellung Chancen und Risiken für die Abwasserwärmenutzung im Projekt „The Circle“

3 Grundlagen

- [1] Besprechung bei Flughafen Zürich AG, 25.09.2014
- [2] Betriebsdaten ARA Kloten/Opfikon, 2012 und 2013
- [3] Projektpläne und Unterlagen von „The Circle“ im Bereich der zu erstellenden Abwasserleitung
- [4] Machbarkeitsstudie Abwasserwärmenutzung der Gemeinden Opfikon und Kloten, Hunziker Betatech AG, 04.09.2014
- [5] Handbuch Energie in ARA, VSA und EnergieSchweiz, 2008/2010
- [6] Heizen und Kühlen mit Abwasser, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, 2010
- [7] Ausbau Abwasserreinigungsanlage (ARA) ARA Kloten/Opfikon - Stellungnahme zur Anfrage vom 21.06.2012, AWEL Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, 06.09.2012

4 Abgrenzung

In dieser Machbarkeitsstudie steht die Wärme- bzw. Kältenutzung vom Rohabwasser des Abwasserteilstroms aus Kloten (Teilstrom C gemäss Abbildung 1) im Fokus. Das Potential von anderen Teilströmen von Rohabwasser wird nur am Rand behandelt. Die Wärmerückgewinnung aus gereinigtem Abwasser wird nicht behandelt.

Im Rahmen dieser Studie werden keine Baugrunduntersuchungen vor Ort betreffend Abwasserleitungen unternommen. Es handelt sich nicht um ein Vor- bzw. Bauprojekt für die Abwasserwärmenutzung. Auf eine Messkampagne wird verzichtet, die Datenbasis bilden die bestehenden Messungen der Kläranlage Kloten/Opfikon.

5 Aufbereitete Betriebsdaten

5.1 Zulaufschema

Die Kläranlage Kloten/Opfikon reinigt das Abwasser der Flughafengemeinden Kloten und Opfikon und des Flughafens Zürich. Für „The Circle“ würde das Potential des Abwassers von Kloten (Teilstrom C) genutzt, da diese Leitung in unmittelbarer Nähe an „The Circle“ vorbeiführt. Erst nach dem Bereich der Wärmenutzung für „The Circle“ wird das Flughafenabwasser (Teilstrom D) dem Abwasser von Kloten (Teilstrom C) zugeführt; dies ergibt in der Summe den Teilstrom A. Das Abwasser vom Zulauf Kloten und Flughafen (Teilstrom A) und vom Zulauf Opfikon (Teilstrom B) wird eingangs der Kläranlage (Abwasserreinigung Kloten Opfikon = AOK) vermischt.

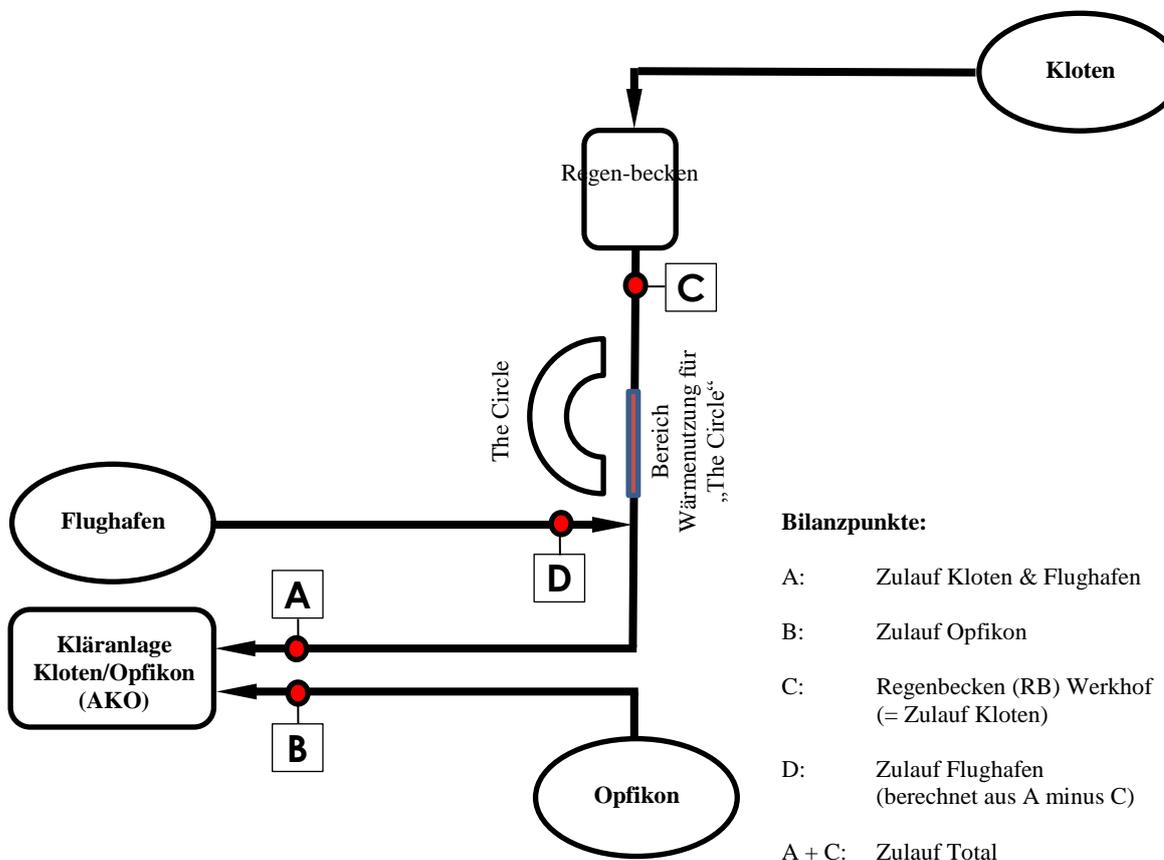


Abbildung 1: Zulaufschema zu Kläranlage Abwasserreinigung Kloten Opfikon (AOK)

5.2 Zulaufmengen

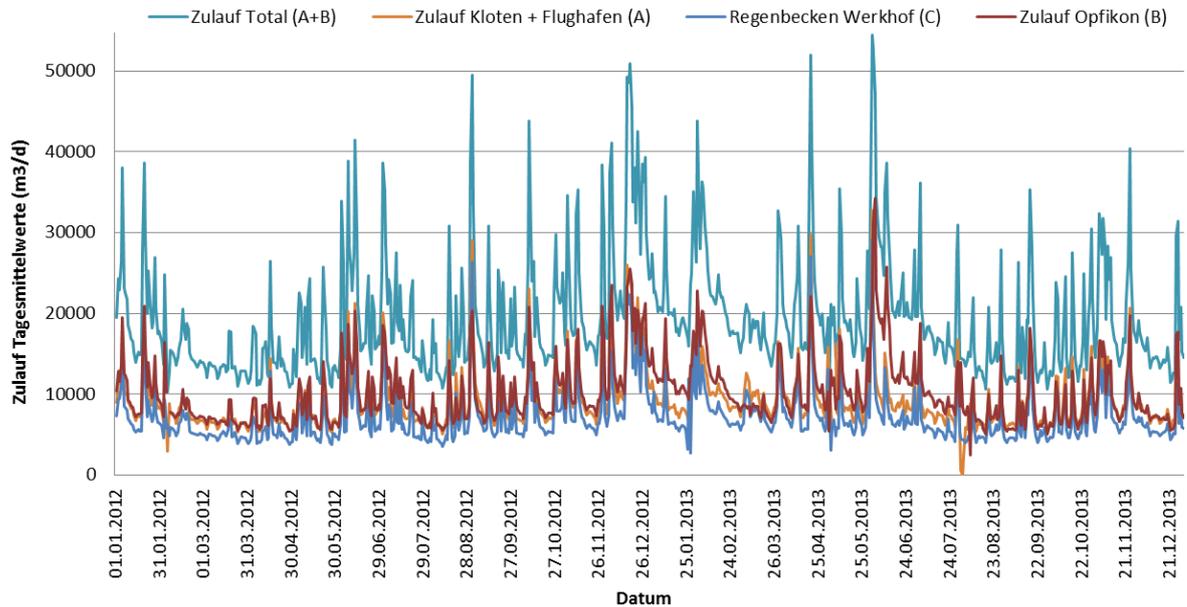


Abbildung 2: Zusammenstellung der Zulaufmengen AKO - 2012 und 2013

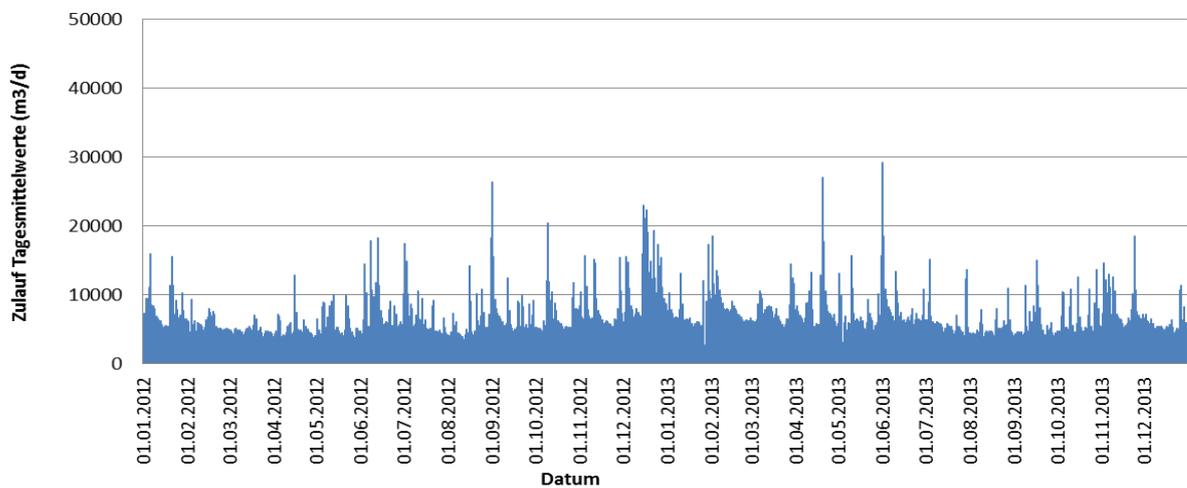


Abbildung 3: Zulaufmengen von Kloten, Regenbecken Werkhof (C) - 2012 und 2013

Bilanzpunkt	Messort	Tagesmittel Zulauf AKO 2012-2013					
		Mittelwert		Maximum		Minimum	
		[m ³ /d]	[l/s]	[m ³ /d]	[l/s]	[m ³ /d]	[l/s]
A	Zulauf Kloten & Flughafen	9243	107	32765	379	2427	28
B	Zulauf Opfikon	10143	117	34227	396	2521	29
C	Zulauf RB Werkhof (Kloten)	7331	85	29201	338	2792	32
A+B	Zulauf Total	19329	224	54410	630	9598	111

Tabelle 1: Zusammenstellung der Zulaufmengen AKO - 2012 und 2013

5.3 Abwassertemperaturen und Ammoniumkonzentrationen

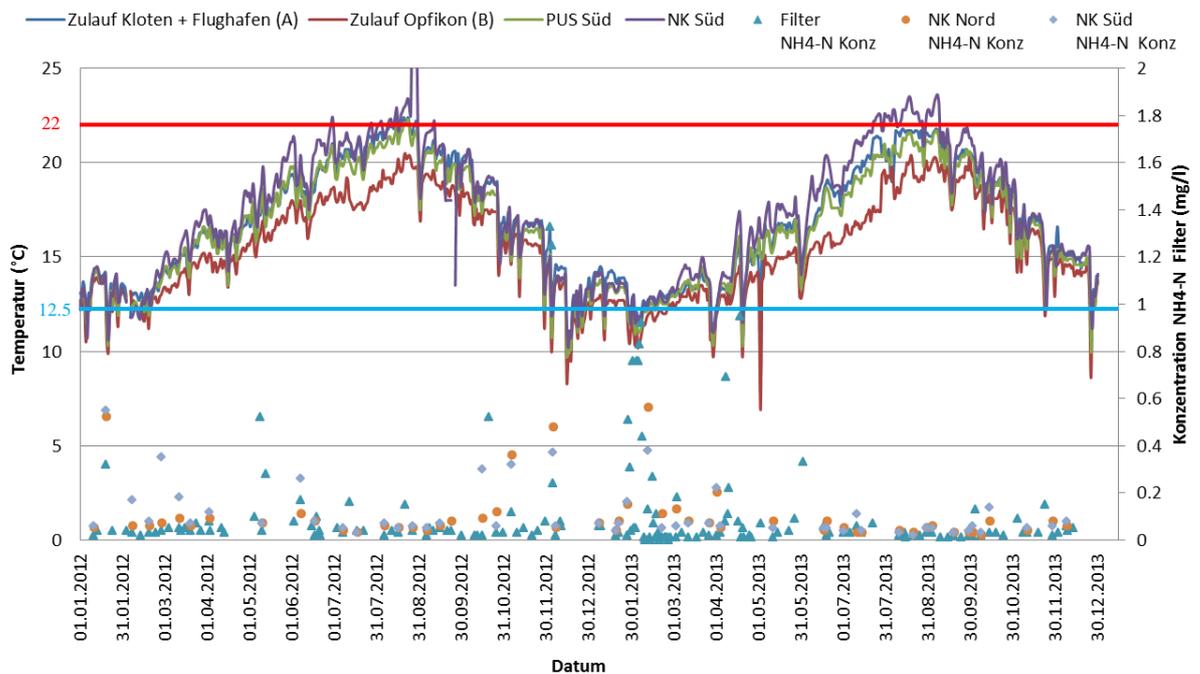


Abbildung 4: Mittlere Abwassertemperaturen und NH₄-N Konzentration AKO - 2012 und 2013

6 Wärme- und Kältepotential Rohabwasser (Teilstrom Kloten)

6.1 Berechnungsgrundlagen Abwasser

Die potentielle Entzugsleistung aus dem Abwasser¹ wird aus dem Tagesmittel des Trockenwetterabflusses und der Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf gemäss folgender Formel berechnet:

$$P = c * \rho * Q * \Delta T$$

P	Potentielle Entzugsleistung [kW]
c	Spez. Wärmekapazität Wasser [4.182 kJ/kg * K]
ρ	Dichte Wasser [1 kg/l]
Q	Tagesmittel des Trockenwetterabflusses [l/s]
ΔT	Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf [K]

Dieses Entzugspotential wird in der Wärmepumpe genutzt und steht, aufgrund der zugeführten elektrischen Energie, mit Faktor 1.3 als Nutzenergie zur Verfügung.

6.2 Trockenwetter-Zulaufmengen

Zur Berechnung der Entzugsleistung aus dem Abwasser ist das Tagesmittel des Trockenwetterabflusses relevant. Als Trockenwetterabfluss wurden die gemessenen Tagesmittelwerte der Trockenwetterzuläufe der Jahre 2012 und 2013 jeweils ab dem dritten Trockenwetter-Tag berücksichtigt. Sämtliche Tage, an denen eine Regenmenge grösser Null gemessen wurde, sowie je zwei Folgetage, wurden nicht berücksichtigt.

Die berücksichtigten Trockenwetter-Tagesmittelwerte sind in Abbildung 5 dargestellt. Von all diesen Werten wird der Mittelwert gebildet. Diese Mittelwerte sind, zusammen mit Maxima und Minima in Tabelle 2 aufgelistet.

¹ Für Wasser und Abwasser ist die gleiche Formel zur Ermittlung der Wärmeleistung anwendbar.

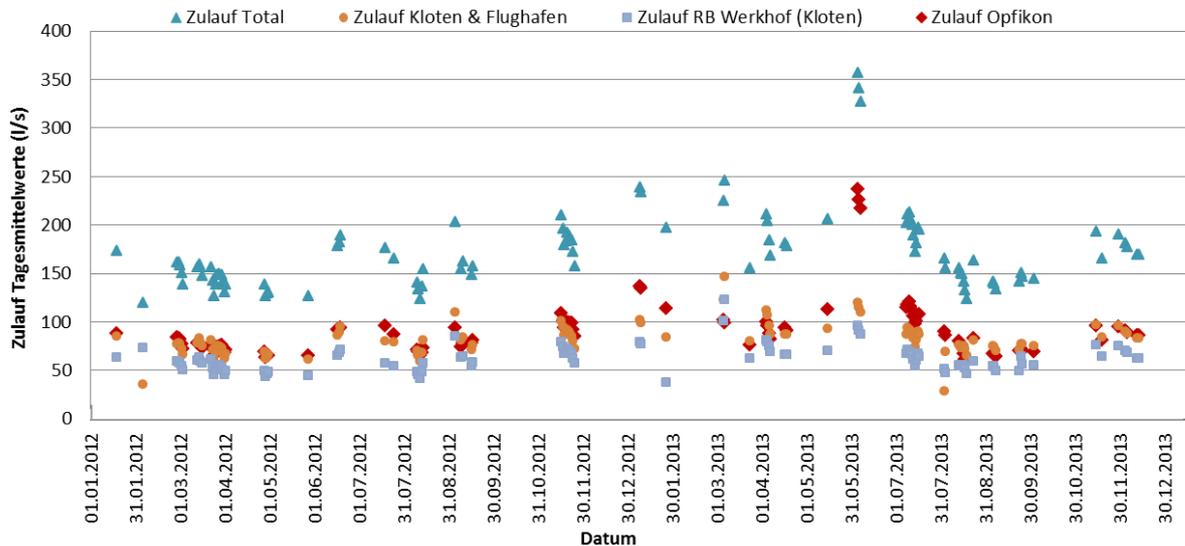


Abbildung 5: Zusammenstellung der Trockenwetter-Zulaufmengen AKO - 2012 und 2013

Bilanzpunkt	Messort	Tagesmittel Trockenwetterzulauf AKO 2012-2013					
		Mittelwert		Maximum		Minimum	
		[m ³ /d]	[l/s]	[m ³ /d]	[l/s]	[m ³ /d]	[l/s]
A	Zulauf Kloten & Flughafen	7059	82	12626	146	2427	28
B	Zulauf Opfikon	7769	90	20479	237	5050	58
C	Zulauf RB Werkhof (Kloten)	5368	62	10580	122	3261	38
D=(A-C)	Zulauf nur Flughafen	1691	20	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
A+B	Zulauf Total	14864	172	30832	357	10308	119

Tabelle 2: Zusammenstellung der Trockenwetterzulaufmengen AKO - 2012 und 2013

6.3 Maximal erlaubte Temperaturabsenkung

6.3.1 Zulässige Temperaturabkühlung im ARA-Zulauf

Die Entzugsleistung wird bestimmt durch die Ammoniumkonzentration im Ablauf der ARA und den Einleitbedingungen. Normalerweise müssen über 90 % der Tagessammelproben unter dem Grenzwert der Ablaufkonzentration von 2mg NH₄-N/l liegen. Für die Kläranlage Kloten/Opfikon wird der strengere Grenzwert der Ablaufkonzentration von 1mg (NH₄-N + NH₃⁺-N)/l gelten [7]. Mit diesem Wert wird im Folgenden gerechnet.

Mit sinkender Zulaufemperatur ist eine steigende Ammoniumkonzentration im Ablauf der ARA zu erwarten. Zur Ermittlung der zulässigen Temperaturabkühlung im ARA-Zulauf wird gemäss dem Leiffaden „Energie in ARA“ vorgegangen [5]:

- Mit den Tagessammelproben der Ammoniumkonzentration, die im Auslauf der ARA gemessen wurden, wurden Summenhäufigkeitsdiagramme aufgestellt. Die Ammoniumkonzentration wurde an folgenden drei Orten gemessen: NK Nord, NK Süd und Filter. Mit den Daten jeder Messort wurde ein separates Diagramm erstellt. Diese Messwerte ergeben jeweils die ganz linke Kurve in den folgenden drei Abbildungen (gemessen, Delta T = 0K). Anhand dieser Kurven kann herausgelesen werden, dass die Ablaufkonzentrationen des Ammoniums auf der AKO sehr tief sind und sämtlichen Werte meist sehr deutlich unter der kritischen Konzentration von 1mg NH₄-N/l liegen. Der gemessene Mittelwert ist um 0.1mg NH₄-N/l.
- Für die gewünschten / zu erwartenden Temperaturabsenkungen (ΔT) wurden neue Summenhäufigkeitskurven berechnet nach folgender Formel:

$$C_{\text{NH}_4,\text{neu}} = C_{\text{NH}_4,\text{gemessen}} * e^{0.33 * \Delta T}$$

$C_{\text{NH}_4,\text{neu}}$	Zu erwartende Ammoniumkonzentration [mg NH ₄ -N/l]
$C_{\text{NH}_4,\text{gemessen}}$	Gemessene Ammoniumkonzentration [mg NH ₄ -N/l]
ΔT	Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf [K]

- Diese berechneten Werte wurden in denselben Abbildungen grafisch dargestellt, mit je einer Kurve für ΔT von 1 bis 10K in 1K-Schritten. Diese Kurven zeigen, wieviel die Ablaufkonzentration des Ammoniums für 90% der Tagessammelproben ansteigt, d.h. wieviel die Nitrifikationsleistung der ARA abnimmt. Solange der berechnete 90%-Wert unter dem vorgegebenen Grenzwert liegt, kann die Wärmeentnahme genehmigt werden.

Es lagen relativ wenige Messwerte vor (53 Werte für NK-Nord, 52 für NK-Süd und 159 für Filter). Zudem waren die meisten Messwerte sehr tief. Deshalb sind die Kurven nicht so schön geglättet, wie man das bei mehr Messwerten und grösserer Messwertstreuung erwarten dürfte.

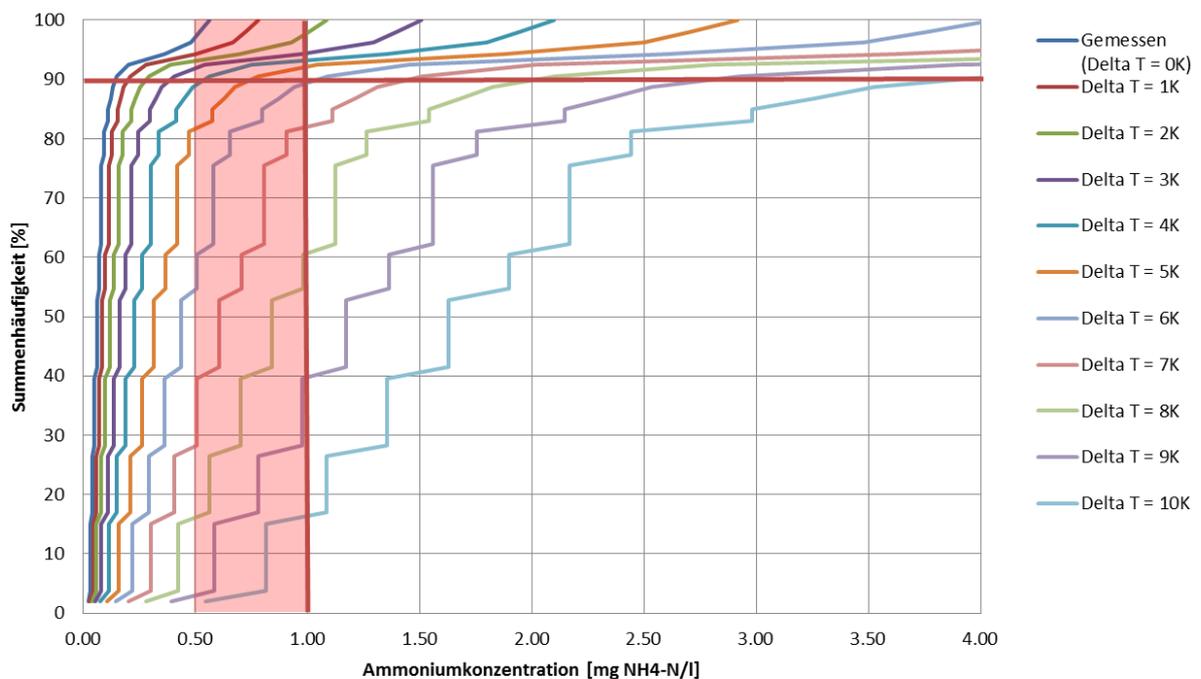


Abbildung 6: Summenhäufigkeit NH₄-N, ARA Kloten Opfikon, Messstelle NK Nord - 2012 und 2013

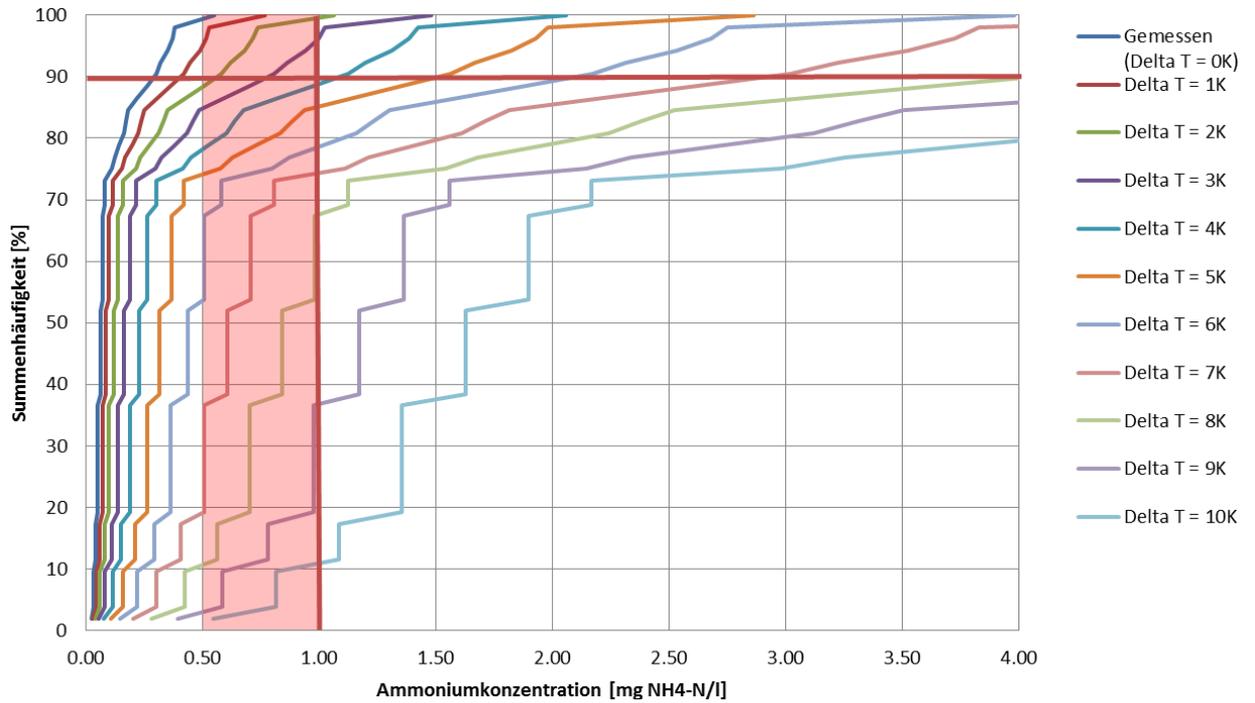


Abbildung 7: Summenhäufigkeit NH₄-N, ARA Kloten Opfikon, Messstelle NK Süd - 2012 und 2013

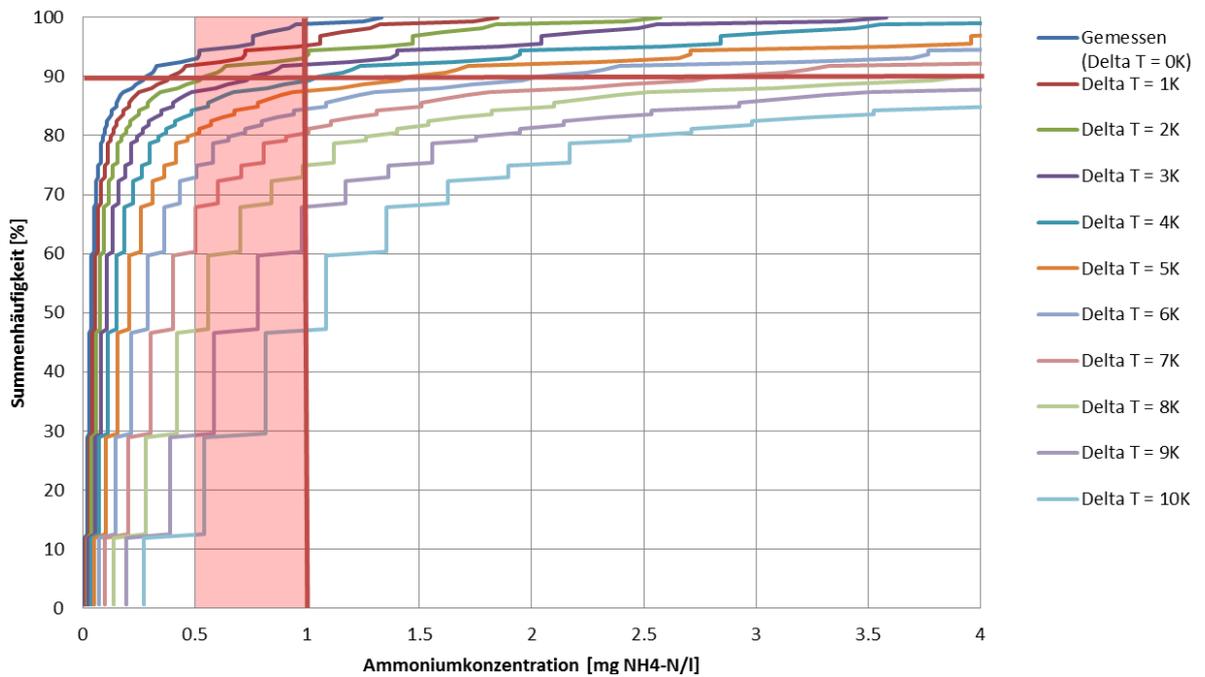


Abbildung 8: Summenhäufigkeit NH₄-N, ARA Kloten Opfikon, Messstelle Filter - 2012 und 2013

Messort	Erlaubte Temperaturabsenkungen im ARA-Zulauf [K] für Ablaufkonzentration < 1 mg NH ₄ -N/l
NK Nord	5
NK Süd	3
Filter	3

Tabelle 3: Zusammenfassung der Resultate aus Abbildung 6, Abbildung 7 sowie Abbildung 8

6.3.2 Zulässige Temperaturabkühlung in der Kanalisation

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, war die Abwassertemperatur im Zulauf über die gesamten zwei Jahre ca. 12.5°C, abgesehen von ein paar Ausreissern aufgrund von extremen Einzelereignissen. Um das Risiko von Frost und Problemen in den Wärmetauschern zu vermeiden, darf das Abwasser nicht unter ca. 5°C abgekühlt werden. Somit ist theoretisch eine Temperaturabsenkung von 7.5°C möglich. Um die theoretisch mögliche Temperaturabsenkung nicht komplett auszureizen, wird für das weitere Vorgehen eine Temperaturabsenkung von 7°C gewählt.

Da die Teilströme A und B eingangs AKO vermischt werden, ergibt sich bei dieser möglichen Temperaturabsenkung von 7°C im Teilstrom folgende Temperaturabsenkung des Mischstroms:

$$\Delta T_{\text{total}} = \Delta T_c * Q_c / Q_{\text{total}} = 7K * 62 \text{ l/s} / 172 \text{ l/s} = 2.5K$$

ΔT_{total}	Temperaturabsenkung im Zulauf total (A+B) [K]
ΔT_c	Temperaturabsenkung im Zulauf RB Werkhof (C) [l/s]
Q_{total}	Trockenwetterzulauf total (A+B) [l/s]
Q_c	Trockenwetterzulauf RB Werkhof (C) [l/s]

Das Resultat von 2.5K bedeutet, dass sich bei einer Abwassertemperatur im Zulauf von mindestens 12.5°C die Mischtemperatur eingangs AKO nicht unter 10°C absenken würde. Gemäss Leitfadens vom AWEL darf durch den Betrieb sämtlicher im ARA-Einzugsgebiet vorhandener Anlagen zur Wärmeentnahme die Abwassertemperatur im Zulauf der ARA längerfristig nicht unter die Dimensionierungstemperatur von 10°C sinken [6]. Ebenfalls wurden die Biologien (Biofilter und SBR) der AKO mit 10 °C dimensioniert. Diese Rahmenbedingungen sind mit der errechneten Mischtemperatur genau eingehalten. Zudem erwärmt sich das Abwasser über die die Distanz von 2 km bis zur ARA wieder, was hier noch nicht berücksichtigt wurde.

Da die zulässige Temperaturabkühlung in der Kanalisation der limitierende Faktor ist, werden maximal nur gut 80% der zulässigen Temperaturabkühlung im AKO-Zulauf genutzt (2.5K von möglichen 3K = 83.3% → konservativstes Szenario gemäss Tabelle 3). Es sind also keine Probleme in Bezug auf eine eingeschränkte Nitrifikation infolge zu starker Temperaturabsenkung zu erwarten.



6.4 Ermittlung der Wärmeleistung

Basierend auf den vorhergehenden Kapiteln ergeben sich folgende Entzugsleistungen am Bilanzpunkt C: Zulauf RB Werkhof (Kloten), für den mittleren Trockenwetterzulauf von 62l/s:

ΔT_C [K]	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P [kW]	0	259	519	778	1037	1296	1556	1815	2074	2334	2593

Tabelle 4: Wärmepotential des Zulaufs von Kloten bei unterschiedlichen Temperaturabsenkungen für den mittleren Trockenwetterzulauf.

Das Wärmepotential aus dem Teil-Abwasserstrom Kloten der AKO zeigt sich aufgrund des Abwasseranfalls und der maximal zu entnehmenden Temperaturdifferenz wie folgt:

	Minimum	Mittelwert	Maximum
Abfluss C [l/s]	38	62	122
ΔT_C [°K]	7	7	7
Wärmepotential [kW]	1'112	1'815	3'571
Nutzenergie ab Wärmepumpe [kW]	1'446	2'360	4'643

Tabelle 5: Wärmepotential unter verschiedenen Trockenwetterabflusszenarien des Teilstroms Kloten

6.5 Ermittlung der Kälteleistung

Nicht nur das Wärmepotential zu Heizzwecken im Winter ist interessant, sondern vermehrt auch das Kältepotential zu Kühlzwecken im Sommer. Der Prozess wird dabei einfach umgekehrt. Statt mit einer Wärmepumpe dem Abwasser Nutzwärme zu entziehen, wird mittels Kältemaschine über Wärmetauscher Raumabwärme an das Abwasser abgegeben und dieses somit aufgeheizt. In diesem Kapitel soll darum die mögliche Kälteleistung ermittelt werden.

Wie in Abbildung 4 ersichtlich, war die Abwassertemperatur über die gesamten zwei Jahre im Ablauf ca. 22°C. Das Mischabwasser im Zulauf zur ARA sollte nicht über ca. 24°C erwärmt werden, damit die Sauerstofflöslichkeit der AKO nicht zu sehr eingeschränkt wird. Somit ist theoretisch eine Temperaturerhöhung des Gesamtstroms von ca. 2°C möglich.

Da die Teilströme A und B eingangs AKO vermischt werden, ergäbe sich bei voller Ausschöpfung dieser theoretisch möglichen Temperaturerhöhung des Mischstroms folgende Temperaturerhöhung des Teilstroms C:

$$\Delta T_C = \Delta T_{\text{total}} * Q_{\text{total}} / Q_C = 2K * 172 \text{ l/s} / 62 \text{ l/s} = 5.5K$$

ΔT_C	Temperaturerhöhung im Zulauf RB Werkhof (C) [l/s]
ΔT_{total}	Temperaturerhöhung im Zulauf total (A+B) [K]
Q_{total}	Trockenwetterzulauf total (A+B) [l/s]
Q_C	Trockenwetterzulauf RB Werkhof (C) [l/s]

Der Teil-Abwasserstrom Kloten kann also aus Sicht der ARA Kloten/Opfikon problemlos um 2°C erhöht werde. Zusätzlich sind die Bedingungen seitens Gewässerschutz noch zu prüfen.

Als Kältepotential zeigt sich aufgrund des Abwasseranfalls und der maximal abzugebenden Temperaturdifferenz wie folgt:

	Minimum	Mittelwert	Maximum
Abfluss C [l/s]	38	62	122
ΔT_C [°K]	5.5	5.5	5.5
Kältepotential [kW]	874	1426	2806
Nutzenergie ab Kältemaschine [kW]	1136	1854	3648

Tabelle 6: Kältepotential unter verschiedenen Trockenwetterabflussszenarien des Teilstroms Kloten

6.6 Einschränkungen

Der Abwasseranfall variiert über den Tagesverlauf. So können Situationen entstehen, in denen für kurze Zeit wenig Wasser für die Wärmerückgewinnung vorhanden ist. Eine typische Tagesganglinie für die ARA Kloten/Opfikon ist in Abbildung 9 dargestellt. Deshalb ist es unerlässlich, ein bivalentes System einzusetzen, das heisst die Wärmepumpe ist kombiniert mit einem konventionellen Gas- oder Erdölkessel.

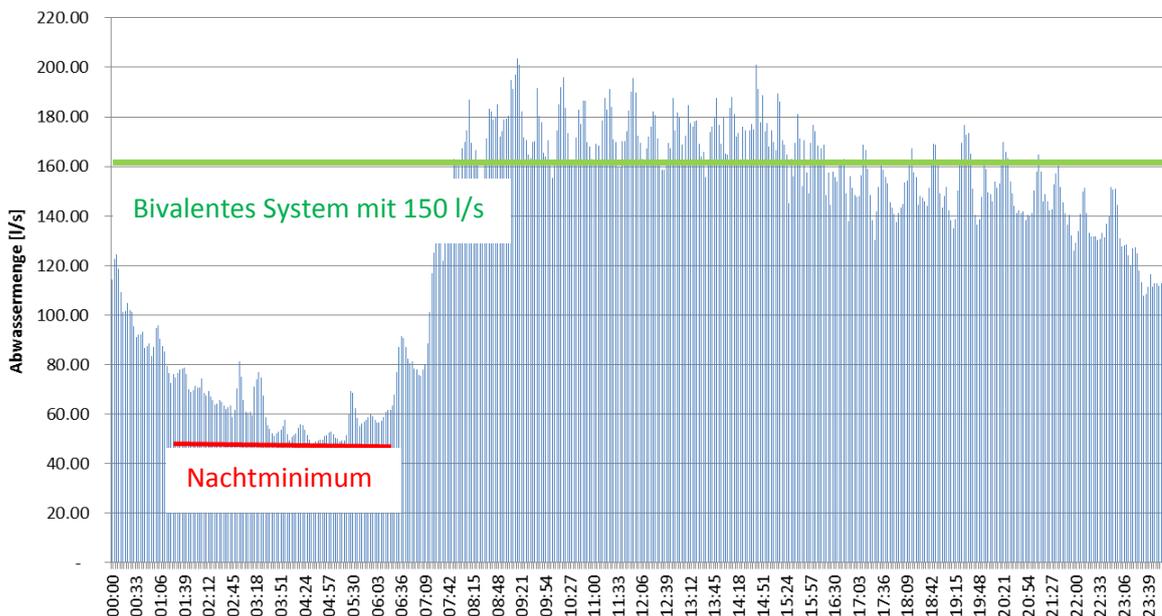


Abbildung 9: Typische Tagesganglinie des Zulaufs total bei Trockenwetter, Winter, AKO [4]

Vergleich monovalente oder bivalente Wärmeerzeugung:

Bei einer monovalenten Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpe ist die Wärmepumpe für die vollständige Wärmeversorgung zuständig. Diese muss nicht nur auf den maximalen Wärmebedarf an den kältesten Tagen ausgelegt werden, sondern auch auf Extremfälle

mit wenig Abwasser und geringer Abwassertemperatur. Solche Anlagen müssen deshalb rund 5-10-mal grösser sein als bivalente Anlagen, was die Kosten in die Höhe treibt.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, zur Sicherheit (Redundanz) und um obige Effekte abzuschwächen, wird empfohlen, Abwasserwärmenutzungsanlagen bivalent auszuführen, d.h. eine Wärmepumpe kombiniert mit einem konventionellen Gas- oder Erdölkessel. Die Wärmepumpe deckt etwa 30% des maximalen Wärmeleistungsbedarfs ab. Im Jahresmittel ergibt sich eine Gesamtabdeckung von ca. 70% der Wärmeleistung durch die Wärmepumpe (Abbildung 10).

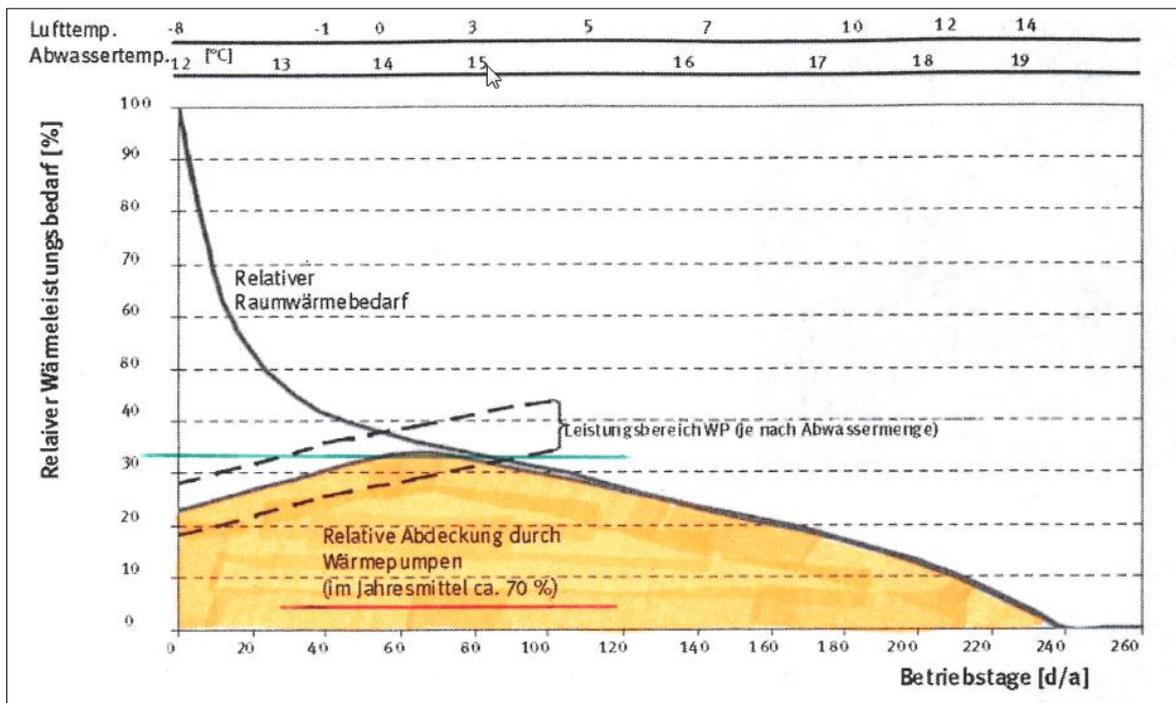


Abbildung 10: Wärmebedarf in Abhängigkeit der Aussen- und Abwassertemperatur und relative Abdeckung durch Wärmepumpen, Quelle: DWA Regelwerk M114, Kap. 6.2.3

7 Systeme zur Abwasserwärme- / -kältenutzung

7.1 Übersicht Energienutzung aus dem Rohabwasser

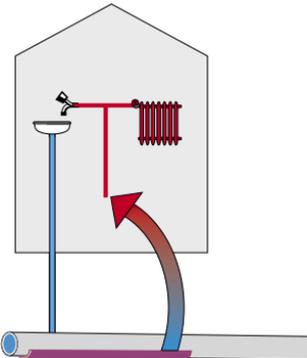
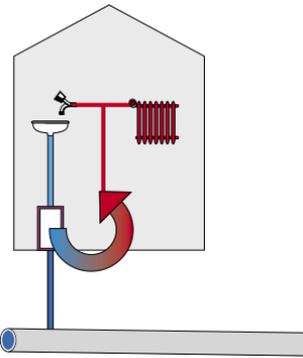
	Energienutzung im Abwasserkanal	Energienutzung im Gebäude
Prinzipskizze [5]		
Wärmetauscher	<ul style="list-style-type: none"> • Kanalwärmetauscher mit oben- oder untenliegenden Rohrleitungen • Kanalwärmetauscher integriert in Betonelementrohre oder Betonform • Druckrohrwärmetauscher • Abwasserrohrwärmetauscher • Doppelrohr-WT mit Kanalabwasser abgepumpt ohne Vorsiebung 	<ul style="list-style-type: none"> • Doppelrohrwärmetauscher • Rohrbündelwärmetauscher • Wärmetauscher mit Reinigungsautomatik und Rückhaltevolumen für zyklisch anfallende Abwassermengen
Merkmale	<ul style="list-style-type: none"> • Montage auf Kanalsohle 	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmetauscher im Gebäude
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Modularer Aufbau • Geringer Druckverlust • Robuste Bauweise • Kein Abwasser im Gebäude • WT-Elemente verstopfen nicht • Üblicherweise keine Reinigung nötig • Kein zusätzl. Flächenbedarf für WT • Langjährig erprobt und bewährt 	<ul style="list-style-type: none"> • Unabhängig von Kanalgeometrie • Auch für kleine Kanaldurchmesser geeignet • Einfache Zugänglichkeit für Installation und Wartung/Reinigung • Geringe Baumassnahmen • Minimaler Eingriff in die bestehende Kanalisation
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • Muss an Kanalgeometrie angepasst werden • Schwierige Zugänglichkeit, vor allem bei kleinen Querschnitten • Biofilm mindert Kapazität 	<ul style="list-style-type: none"> • Abwasser muss gefördert werden • Abwasser wird ins Gebäude geleitet • Abwasser-Vorreinigung nötig (Sieb) • Zusätzlicher Flächenbedarf für WT

Tabelle 7: Übersicht der Systeme zur Energienutzung aus dem Abwasser vor der Kläranlage

7.2 Energienutzung aus Rohabwasser am Beispiel Wintower, Winterthur

Neben den beiden Nutzungsmöglichkeiten in Tabelle 7 wurde in Winterthur 2011 - 2012 im Wintower ein Verfahren realisiert, bei dem das Rohabwasser in einem separaten Schacht entnommen wird (Prinzipschema siehe Abbildung 11):

Wintower Immobilien AG : Konzept Wärme aus Abwasser

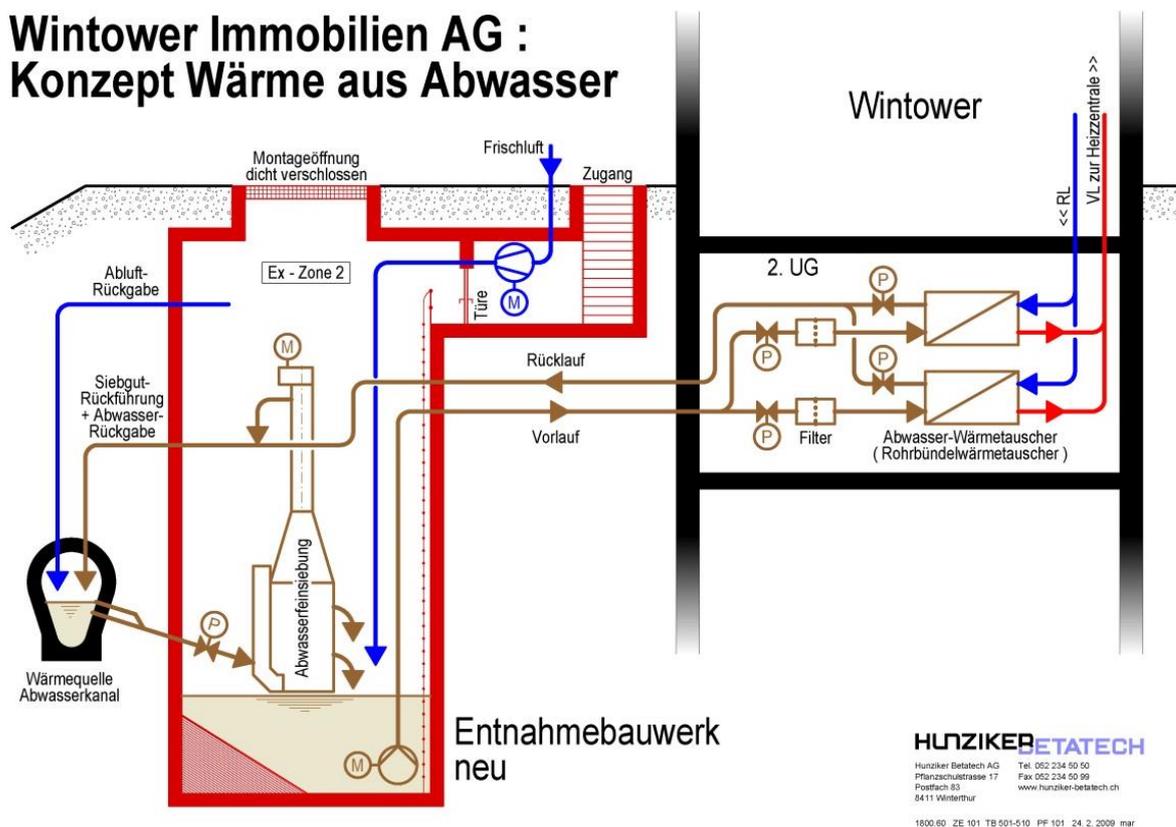


Abbildung 11: Prinzipschema Wintower 2012

Dieses Verfahren wurde deshalb gebaut, weil der Einbau von Rinnenwärmetauschern in der kurvenförmig angelegten und äusserst alten Kanalisation technisch nicht machbar war. Um den Minergie-Standard im Wintower zu erreichen, wurde deshalb dieses aufwändigere Verfahren gewählt. Die Investitionskosten betragen Fr. 4 Mio. bei einer Heizleistung von 525 kW und eine Kälteleistung von 605 kW.

7.2.1 Bauwerk und Platzbedarf

Um ein Projekt analog Wintower auch beim "The Circle" Flughafen Zürich umzusetzen sind bauliche Anpassungen notwendig.

Das Entnahmebauwerk muss mindestens 2 Meter unter das Niveau des Abwasserkanals erstellt werden. Das Schachtbauwerk wird daher ca. 8 bis 10 Meter tief sein. Zudem sollte eine befahrbare Montageöffnung vorgesehen werden. Da das ganze Schachtbauwerk als Ex-Zone 2 gilt, muss dieses dementsprechend belüftet werden.

Zudem muss die Heizzentrale, in welcher die Apparaturen aufgestellt werden, genügend belastbar sein. Das zu erwartenden Gewicht beläuft sich auf geschätzte 74 Tonnen (ohne Berücksichtigung der technischen Wärmespeicher).

Eine solche Anlage im Gebäude ist ein High-End Produkt und beinhaltet Installationen welche auch in einer Abwasserreinigungsanlage zur Anwendung kommen: Abwasser-siebung, selbstreinigende Wärmetauscher, Pumpen, Schieber und Armaturen. Die ganze Steuerung ist komplex und die Sicherheitsanforderungen für den Arbeits- und Gesundheitsschutz hoch. Das hat dementsprechend hohe Anfangsinvestitionen zur Folge.

Der Betrieb einer solchen Anlage setzt ein hohes technisches Knowhow voraus. Da der Flughafen Zürich über hochkomplexe Maschinen und technische Strukturen verfügt, sind diese Voraussetzungen als gegeben zu betrachten.

Das System bietet folgende Vorteile:

- Standort des Entnahmebauwerks nicht an einen Standort gebunden.
- Einfache Zugänglichkeit für Installationen und Wartung/Reinigung
- Minimaler Eingriff in die neue Kanalisation.

In Abbildung 12 sind zwei Wärmetauscher abgebildet. Zudem wird in Abbildung 13 symbolisch der Platzbedarf für die Nutzung dieses Systems aufgezeigt.

Aus unserer Sicht ist eine Fläche von ca. 380 m² notwendig, da Platz für Service- und Revisionsarbeiten vorhanden sein muss. Dieser Platzbedarf kommt hauptsächlich von folgenden Komponenten:

- Wärmetauscher
- Wärmepumpe



Abbildung 12: Zwei selbstreinigenden Wärmetauschern mit je 25 l/s Durchsatz von Picatech Huber AG

GRUNDRISS 1:50

Gebäudefläche: 16.5 m x 23 m = 379.5 m²

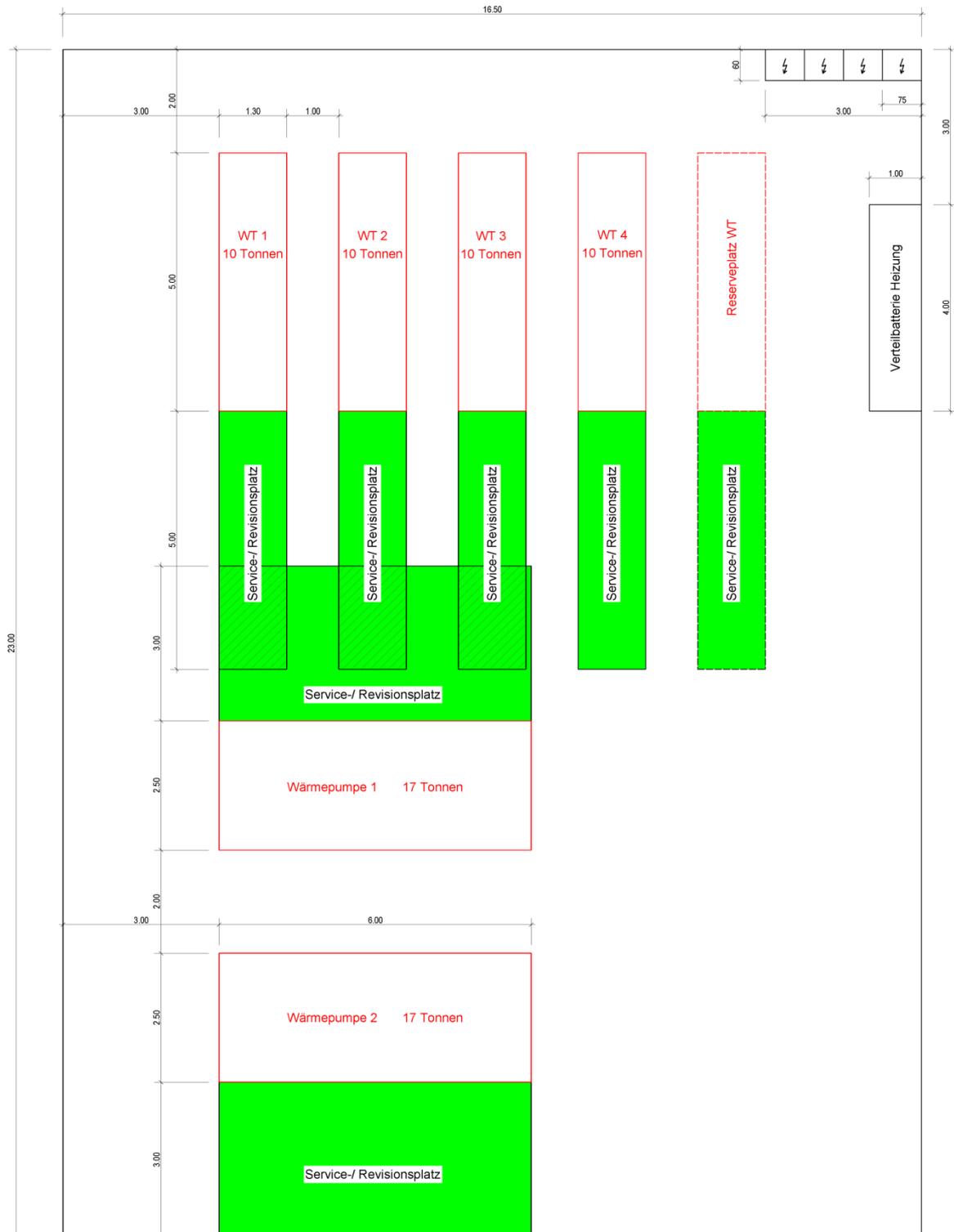


Abbildung 13: Mögliche Aufstellung der Apparate

7.2.2 Fazit

Für das Projekt „The Circle“ empfehlen wir aber obiges Vorhaben nicht, obwohl die Entnahme an einem beliebigen Ort stattfinden könnte. Nach unserer Erfahrung und Einschätzung sprechen folgende Argumente dagegen:

- Aufwändigere und teurere Konditionierung des Rohabwassers, da die Wärme direkt daraus entnommen wird.
- Anfälligkeit betreffend Hygiene und Lüftung im Untergeschoss von „The Circle“, wo die drei bis sechs Wärmetauscher installiert werden.
- Sehr grosser Platzbedarf für die Anlage.
- Relativ hohe Investitionskosten

7.3 Systemevaluation zur Energienutzung im Abwasserkanal

Beim Abwasserkanalrohr bei „The Circle“ handelt es sich um ein Rohr mit rundem Querschnitt und einem Nenndurchmesser von 800 mm und einem Gefälle von 4.05 ‰. Material des Rohres ist glasfaserverstärkter ungesättigter Polyester (GUP). Gesamtlänge über alles der neuen Abwasserleitung, welche am „The Circle“ vorbeiführt, ist rund 650 m. Das Abwasserkanalrohr ist von diversen Schächten unterbrochen, womit sich Abschnitte mit unterschiedlichen Längen zwischen 27 und 89 m ergeben. Es ist noch nicht bestimmt, welche Teillänge vom Abwasserkanalrohr zur Bestückung mit Wärmetauschern genutzt werden soll.

Für eine erfolgreiche Umsetzung des Projektes zur Abwasserwärmenutzung sind folgende weitere Faktoren relevant:

- Geringe Distanz zwischen Ort der Wärmerückgewinnung und Wärmeverbraucher.
- Genügend hydraulische Kapazität im Kanalabschnitt bei geringfügiger Einengung.
- Abwasser-Fliessgeschwindigkeit sollte möglichst hoch sein, damit die Scherkräfte den Biofilm / Ablagerungen auf tiefem Niveau halten (lokales Sohlgefälle).

Aufgrund der vorliegenden Daten wurden von der Kasag Langnau AG verschiedene Kanalwärmetauschersysteme evaluiert. Im Besonderen wurden Kanalwärmetauscher Typ „SEWER“ und Typ „GRAVITYTUBE“ betrachtet (Abbildung 14). Weitere Bauformen wie Kanalwärmetauscher integriert in Betonelementrohre konnten gleich ausgeschlossen werden. Diese kommen für dieses Projekt nicht in Frage, da das Abwasserkanalrohr bereits bestimmt ist.

Der Kanalwärmetauscher Typ „GRAVITYTUBE“ ist als komplettes Abwasserrohr mit integriertem Wärmetauschersystem aufgebaut. Dabei wird das Abwasser im Hauptrohr als Energiequelle genutzt. Über einen speziellen Doppelmantel kann sowohl Wärme entzogen wie auch abgeführt werden. Die anfallende Abwassermenge und das natürliche Gefälle bestimmen den Abwasserstand im Hauptrohr. Dieser Typ wird für die Energienutzung in neuen oder für den Ersatz von bestehenden Abwasserkanälen verwendet. Da die Abwasserrohre bereits gekauft wurden, kommt auch dieser Typ nicht in Frage und wird nicht weiter verfolgt.

Unter den gegebenen Randbedingungen werden Kanalwärmetauscher Typ „SEWER“ vorgeschlagen. Die Wärmetauscherelemente werden in neuen oder nachträglich in bestehenden Abwasserkanälen installiert. Mittels der überströmten Wärmetauscherfläche

wird Wärme entzogen oder für die Kühlung abgeführt. Dieser Typ wird für die Energienutzung in Kanälen mit unterschiedlicher Querschnitts-Geometrie verwendet. Die modulare Bauweise ermöglicht individuelle Lösungen für verschiedene Anwendungen. Für kurze Installationszeit werden vormontierte Wärmetauscher-elemente eingesetzt. Mit etwas Zusatzaufwand können über Rohrleitungsunterbrüche oder auch Knicke verlegt werden. Abbildung 15 zeigt Beispiele von „SEWER“-Installationen. Installationsaufwand und -kosten sind klar geringer, wenn die Wärmetauscher bereits direkt beim Einbau der neuen Abwasserleitung installiert werden können.

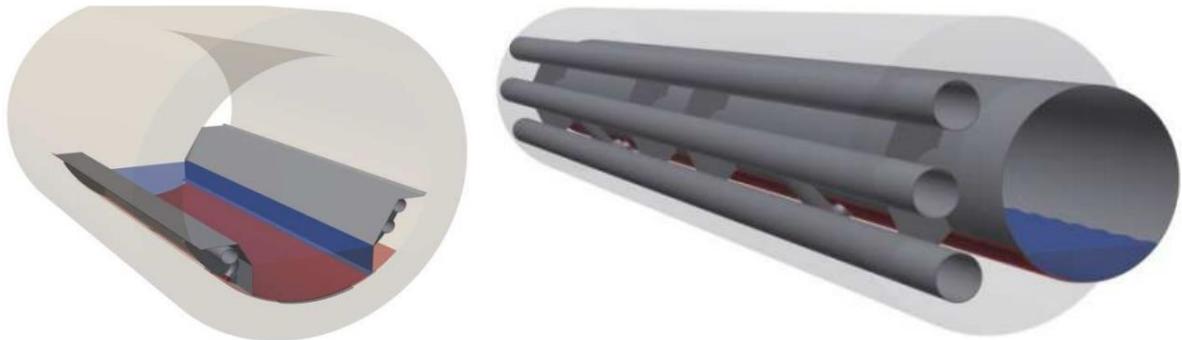


Abbildung 14: Kanalwärmetauscher Typ „SEWER“ (links) und Typ „GRAVITYTUBE“ (rechts) [Kasag]



Abbildung 15: Beispiel-Installationen von Kanalwärmetauscher Typ „SEWER“ [Kasag]

Die Verrohrung der Wärmetauscher-elemente soll nach dem Tichelmann-Prinzip erfolgen. Das heisst, die Vor- und Rücklaufleitungen sind in der Summe für jedes Wärmetauscher-element in etwa gleich lang. Damit ist infolge ungefähr gleichen Druckverlusts eine gleichmässige Flussverteilung zu den einzelnen Wärmetauscher-elementen gewährleistet.

Als Material für die Kanalwärmetauscher wird Edelstahl (1.4404, 1.4571) vorgeschlagen, für die Vor- und Rücklaufleitungen ebenfalls Edelstahl (1.4404, 1.4571) oder PE. Das „SEWER“-System wird mit Segmentlängen von 1 bis 3 m ausgeführt. Einzelne Segmente werden zu Wärmetauschereinheiten (Sektoren) zusammengeschlossen.

Bei Installationen in Kunststoffrohren werden die Wärmetauscherelemente mit Spannbügeln befestigt (siehe Abbildung 16). Bei Installationen in Betonrohren könnte man sie mittels Ankerschrauben befestigen.

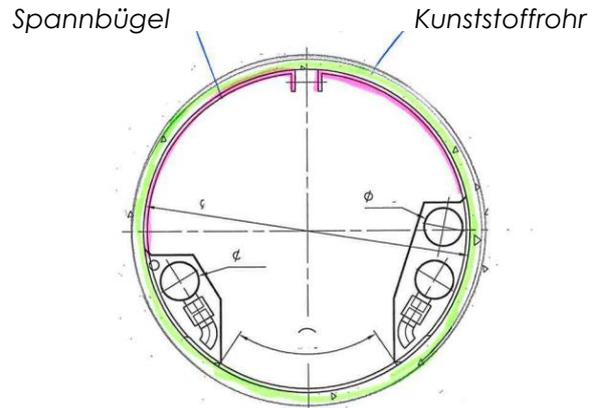
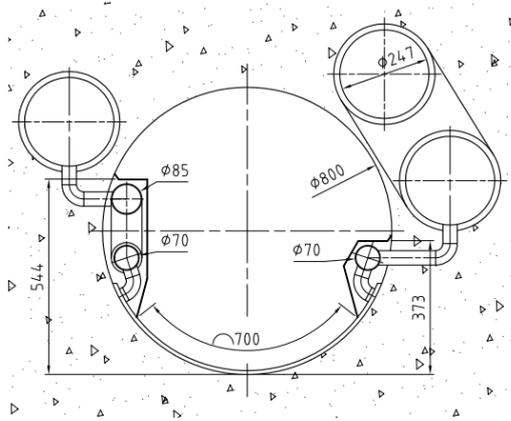


Abbildung 16: Prinzipskizze Kanalquerschnitt; Befestigung mit Spannbügeln in Kunststoffrohr [Kasag]

Aufgrund der bisherigen Erfahrungen vom Lieferanten Kasag ist das Abwasserkanalrohr mit DN 800 eher klein gewählt. Für die Abwasserwärmenutzung und den Einbau des „SEWER“-Systems wäre ein grösserer Durchmesser von Vorteil. Die Platzverhältnisse zur Montage sind sehr beschränkt. Die Vor- und Rückleitungen (drei Leitungen bei Verrohrung nach Tichelmann) führen zu weiterer Querschnittsverengung. Für einzelne Wärmetauschereinheiten ist dies noch machbar. Möchte man aber alle Wärmetauschereinheiten über die gesamte Leitungslänge zusammen an eine Heizzentrale anschliessen, müssen die Vor- und Rückleitungen als Sammelleitungen entsprechend deutlich grösser dimensioniert werden. In diesem Leistungsbereich können Vor- und Rücklaufhauptleitungen nicht in einem DN800 Rohr geführt werden. Dazu wären die Platzverhältnisse in den gegebenen Rohren DN800 zu beschränkt. Zur Lösung dieses Problems ergeben sich folgende Alternativen:

- **Dezentrale Heizzentralen**
Die einzelnen Sektionen könnten an dezentrale Gebäude-Heizzentralen angeschlossen werden. Dadurch können die drei Sammelleitungen (nach Tichelmann) innerhalb des Abwasserkanals verlegt werden gemäss Prinzipskizze in Abbildung 16. Es werden aber separate Durchbrüche der Vor- und Rückleitungen pro Wärmetauschereinheit benötigt. Die Rohrleitungsdurchmesser wären klein und die Wege kurz, es wären aber für jede Sektion eine Heizzentrale inklusive eigener Verrohrung notwendig.
- **Hauptzu- und -rücklaufleitungen ausserhalb des Abwasserrohrs DN 800**
Die drei Hauptzu- und -rücklaufleitungen (nach Tichelmann) müssen ausserhalb des Abwasserkanalrohrs verlegt und zur Heizzentrale geführt werden. Dafür werden separate Durchbrüche der Vor- und Rückleitungen pro Wärmetauschereinheit benötigt. Prinzipskizze siehe Abbildung 17 links.
- **Einsatz eines grösseren Abwasserrohrs, Vorschlag DN1200**
Dadurch können drei Sammelleitungen (nach Tichelmann) innerhalb des Abwasserkanals verlegt werden und mit nur einem Durchbruchsort zur Heizzentrale geführt werden. Prinzipskizze siehe Abbildung 17 rechts. Diese Variante ist klar die eleganteste, weil sie die einfachste Rohrleitungsführung hat, wenig Durchbrüche im Kanalrohr benötigt, einfach zu installieren ist sowie die Zugänglichkeit gewährt bleibt.

Installation für Kanalrohr DN800
(7 Teilanlagen à 90 m, auf eine
Hauptleitung zusammengefasst;
Gesamtanlagenlänge 630 m)



Installation in Kanalrohr DN1200
(für eine Gesamtanlagenlänge von 540m)

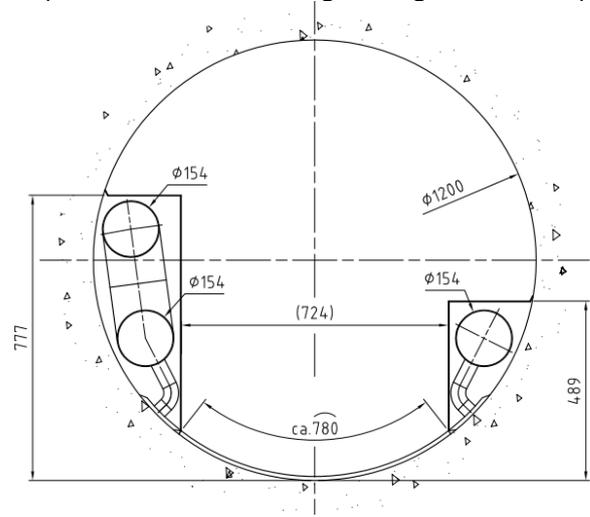


Abbildung 17: Prinzipskizze Querschnitt DN 800 (links) und vorgeschlagener DN 1200 (rechts) [Kasag]

Weitere Optimierungsvorschläge zur Installation des Wärmetauschersystems:

- Rohrleitungsführung: Nach Möglichkeit weniger Knicke und somit geradere Rohrleitungsführung
- Schachtbauwerke: Berücksichtigung der Installationsbedingungen beim Design der Schächte

Nachfolgend ist eine Auswahl an Referenzen von Wärmetauchieranlagen aufgeführt. Diese Wärmetauchersysteme wurden von der Kasag Langnau AG ausgelegt, geliefert und installiert.

- Zürich Wipkingen, nur Wärmetauscher
- Binningen
- Zwingen
- Schaffhausen (HEIZEN und KÜHLEN)
- Limmat Schulhaus
- Concordia Luzern (HEIZEN und KÜHLEN)
- Lyss
- Bonstetten
- Wässerwiesen
- Hirschengraben Luzern (HEIZEN und KÜHLEN)

7.4 Leistungsberechnung

Die Firma Kasag Langnau AG hat für das Projekt „The Circle“ die effektive Wärmeleistung vom Wärmetauschertyp „SEWER“ berechnet und die Kühlleistung abgeschätzt. Basis dafür waren die ermittelten Daten wie Abwasserfluss, Temperaturen und erlaubten Temperaturdifferenzen sowie die Rahmenbedingungen und Systemevaluation im Kapitel 0.

Als Abwasserfluss wurde mit dem Tagesmittelwert Trockenwetterzulauf von 62 l/s gerechnet. Die Entzugsleitungen variieren bei grösserer/kleinerer Abwassermenge entsprechend. Die angenommenen Dimensionen der Haupt-Zu- und Wegleitungen entsprechen der Darstellung in Abbildung 17.

Basisdaten/Annahmen für Berechnungen:

- Verrohrung nach Tichelmann, Anschluss zu Heizzentrale mittig
Für die Leistungs- resp. Druckverlustberechnung (Rohrleitungsdimensionen) wurde angenommen, dass die Heizzentrale in der Mitte der Gesamtlänge der Wärmetauscheranlage steht. Sonst würden die Rohrleitungen im Kanal (unter der Bedingung Druckverlust im Bereich 1 bar) noch grösser werden.
- Zwischenkreislaufmedium: Wasser/Antifrogen N 20%
- Leistungsberechnung erfolgte ohne Reserven aber unter Berücksichtigung Biofilm

7.4.1 Leistungsberechnung für gesamte Rohrleitungslänge zu einer Heizzentrale

Kanaldurchmesser		800 mm		1200 mm	
Parameter	Einh.	Pro Element	Total	Pro Element	Total
Anzahl Elemente	-		210		180
Wärmetauscherlänge	m	3	630 ²	3	540
Bogenmass f. WT-Fläche	mm	700	700	780	780
Abwasserfluss	l/s	62	62	62	62
Volumenstr. Zw.kreislauf	l/s	0.42	87.5	0.47	84.72
Druckverlust Rohrleitungssystem	bar		1.04		0.85
Druckverlust Wärmetauscher inkl. Rohrleitungen	bar		1.44		1.27
T Abwasser EIN	°C		12.5		12.5
T Abwasser AUS	°C		6.01		6.31
T Zwischenkreislauf EIN	°C		1		1
T Zwischenkreislauf AUS	°C		5.79		5.72
Leistung Heizen	kW	8.049	1690.3	8.959	1612.7

Abbildung 18: Leistungsberechnung Heizen als Gesamtanlage, Vergleich DN800, DN1200 [Kasag]

² Für DN800 werden Wärmetauschereinheiten von je rund 90 m Länge gebildet. Pro Wärmetauschereinheit sind an einer Stelle Kanaldurchbrüche zu den Haupt-Zu- und Ableitungen erforderlich.

7.4.2 Leistungsberechnung für halbe Rohrleitungslänge zu je einer Heizzentrale

Für eine allfällige Etappierung wurde auch der Fall gerechnet, dass man nur ca. die Hälfte der gesamten Rohrleitungslänge nutzt und zu einer Heizzentrale führt. Somit könnten in zwei Etappen jeweils rund die Hälfte der gesamten Rohrleitungslänge zu je einer eigenen Heizzentrale genutzt werden.

Kanaldurchmesser		800 mm		1200 mm	
Parameter	Einh.	Pro Element	Total	Pro Element	Total
Anzahl Elemente	-		105		90
Wärmetauscherlänge	m	3	315 ³	3	270
Bogenmass f. WT-Fläche	mm	700	700	780	780
Abwasserfluss	l/s	62	62	62	62
Volumenstr. Zw.kreislauf	l/s	0.42	43.75	0.47	42.22
Druckverlust Rohrleitungssystem	bar		0.66		0.54
Druckverlust Wärmetauscher inkl. Rohrleitungen	bar		1.06		0.95
T Abwasser EIN	°C		12.5		12.5
T Abwasser AUS	°C		9.26		9.41
T Zwischenkreislauf EIN	°C		1		1
T Zwischenkreislauf AUS	°C		5.79		5.73
Leistung Heizen	kW	8.049	845.1	8.948	805.4

Abbildung 19: Leistungsberechnung Heizen Hälfte der Gesamtanlage, Vergleich DN800, DN1200 [Kasag]

³ Für DN800 werden Wärmetauschereinheiten von je rund 90 m Länge gebildet. Pro Wärmetauschereinheit sind an einer Stelle Kanaldurchbrüche zu den Haupt-Zu- und Ableitungen erforderlich.

7.4.3 Leistungsberechnung für gesamte Rohrleitungslänge zu sieben Heizzentralen

Als weiterer Fall wurde Heiz- und Kühlleistung berechnet, wenn Wärmetauschereinheiten von rund 90 m Länge gebildet werden. Aufgeteilt (ohne Berücksichtigung der Abwasserrohrleitungsführung) auf die ca. 642m würde dies sieben Anlagen mit je 90m Wärmetauscherlänge ergeben. Diese sieben Einheiten können für sieben Heizzentralen für Heizen und Kühlen Verwendung finden. Die Details dieser Berechnung, aufgegliedert für die sieben Wärmetauschereinheiten, finden sich in Tabelle 8.

Abwasserfliessrichtung		→							Total
Parameter	Einh.	Laufnummer (Wärmetauschereinheit)							
		1	2	3	4	5	6	7	
Kanaldurchmesser	mm	800	800	800	800	800	800	800	
Bogenmass f. WT-Fläche	mm	700	700	700	700	700	700	700	
Abwasserfluss	l/s	62	62	62	62	62	62	62	
Volumenstr. Zw.kreislauf	m ³ /h	45	45	45	45	45	45	45	
Wärmetauscherlänge	m	90	90	90	90	90	90	90	630
Dimension Zuleitung	mm	DN80	DN80	DN80	DN80	DN80	DN80	DN80	
Distanz Zuleitung	m	?	?	?	?	?	?	?	
Leistung Heizen (Effektiv)	kW	241.5	221.9	204.1	187.7	172.6	158.7	145.9	1332.4
T Abwasser EIN	°C	12.5	11.57	10.72	9.94	9.22	8.56	7.95	
T Abwasser AUS	°C	11.57	10.72	9.94	9.22	8.56	7.95	7.39	
T Zwischenkreislauf EIN	°C	1	1	1	1	1	1	1	
T Zwischenkreislauf AUS	°C	5.79	5.41	5.05	4.73	4.43	4.15	3.9	

Tabelle 8: Leistungsberechnung Projekt „The Circle“ für Wärmetauschertyp „SEWER“ [Kasag]

Maximale Kühlleistung: Für den Fall „Kühlen“ wäre mehr Leistung möglich als die erlaubten 5.5K. Bei voller Ausnutzung von total 7 Einheiten ergäben sich eine Temperaturerhöhung von 8K und eine Leistung von über 2MW. Der Bereich, wo die Temperaturerhöhung des Abwassers über der zulässigen ist, ist in der Tabelle rot markiert. Um das Abwasser nicht übermässig aufzuheizen, und somit innerhalb der erlaubten 5.5K zu bleiben, dürften nur maximal 4 Wärmetauschereinheiten à 90 m, also Laufnummern 1 bis 4 betrieben werden. Damit erhöht sich die Temperatur um gut 5K. Die effektive Gesamtkühlleistung wäre die Summe der entsprechenden vier aufgelisteten Teilleistungen, also 1338.8 kW. Als maximale Kühlleistung ab Wärmetauscher ergibt sich rund 1.3 MW (dies ist erst eine Grössenordnungsabschätzung).

8 Kosten $\pm 30\%$

8.1 Kostenabgrenzung

In den folgenden zwei Kostenschätzungen sind folgenden Positionen nicht berücksichtigt oder sind bauseits, die Schnittstelle ist die Wärmeübergabe ab der Wärmepumpe:

- Bivalentes System (Gas, Öl)
- Gebäude für Wärmepumpe
- HLK
- Raummiete
- Aushubarbeiten für Leitungen um Kanal
- Spannbügel für Aufhängung im Kanal
- Zusätzlicher Aushub für die aussenliegenden Verrohrung nach Tichelmann
- Stromanschluss (Bauseits)
- Übergeordnetes Leitsystem
- Sturmöffnung Ammoniak-Wärmepumpe
- Einbau des Kanal-Wärmetauschers während Einbau Abwasserkanal

8.2 Kostenschätzung für Kanal DN 800

Wärme-, Kälteerzeugung		
Rinnenwärmetauscher SEWER (7 Einheiten à 90 Meter)	Fr.	1'200'000.00
Zusätzliche Verrohrung aussen am Kanal	Fr.	300'000.00
EMSRL	Fr.	300'000.00
Wärmepumpe YORK Heizen/Kühlen (Ammoniak) inkl. Rückkühler	Fr.	900'000.00
Apparate und Armaturen	Fr.	40'000.00
Montage Apparate, Armaturen und Wärmetauscher	Fr.	40'000.00
<hr/>		
Bausumme	Fr.	2'780'000.00
Unvorhergesehenes 25%	Fr.	695'000.00
Planung 15%	Fr.	417'000.00
8% MwSt.	Fr.	311'360.00
Total inkl. MwSt. (gerundet)	Fr.	4'203'000.00
<hr/>		
Investition	Fr.	4'203'000.00
Zins	%	3.00%
Amortisationszeit	a	20
Annuitätsfaktor	%	6.72%
Rückstellungen / a (Wartung, Ersatz, usw.) 3%	Fr.	126'090.00
Kanalreinigung (Zusatzkosten für WT)	Fr./a	3'000.00
Personalkosten	Fr./a	20'000.00
Betriebskosten Förderpumpen und periphere Geräte (40 kW) ⁴	Fr./a	19'752.00
Betriebskosten Wärme-, Kälteerzeugung Wärmepumpe (170 kW) ⁵	Fr./a	83'946.00
<hr/>		
Jahreskosten	Fr./a	535'300.00
<hr/>		
Erzeugte Wärme kWh/a (2'100 Heizlaststunden h/a) bei 1'600 kW	KWh/a	3'360'000
Erzeugte Kälte kWh/a (900 Kühlstunden h/a) bei 1'600 kW	KWh/a	1'440'000
Gestehungskosten pro kWh Wärme/Kälte	Fr./kWh	0.11

Hinweis zur Dimension der Wärmepumpe:

- Leistungsaufnahme: 170 kW
- Abmessungen LxBxH: 6.0x2.5x3.5 m

⁴ Stromkosten Industrielle Betriebe Kloten 16.46 Rp/kWh, Stand November 2014

⁵ Stromkosten Industrielle Betriebe Kloten 16.46 Rp/kWh, Stand November 2014

8.3 Kostenschätzung für Kanal DN 1200

Wärme-, Kälteerzeugung		
Rinnenwärmetauscher SEWER (1 Einheit à 540 Meter)	Fr.	1'000'000.00
EMSRL	Fr.	300'000.00
Wärmepumpe YORK Heizen/Kühlen (Ammoniak) inkl. Rückkühler	Fr.	900'000.00
Apparate und Armaturen	Fr.	40'000.00
Montage Apparate, Armaturen und Wärmetauscher (lange Montagezeit)	Fr.	100'000.00
<hr/>		
Bauliche Massnahmen		
Verbindung Kanal zu Heizzentrale	Fr.	30'000.00
<hr/>		
Bausumme		
Unvorhergesehenes 25%	Fr.	2'345'000.00
Planung 15%	Fr.	586'250.00
8% MwSt.	Fr.	351'750.00
Total inkl. MwSt. (gerundet)	Fr.	<u>2'622'640.00</u>
<hr/>		
Investition	Fr.	3'546'000.00
Zins	%	3.00%
Amortisationszeit	a	20
Annuitätsfaktor	%	6.72%
Rückstellungen / a (Wartung, Ersatz, usw.) 3%	Fr.	106'380.00
Kanalreinigung (Zusatzkosten für WT)	Fr./a	3'000.00
Personalkosten	Fr./a	20'000.00
Betriebskosten Förderpumpen und Periphere Geräte (40 kW) ⁶	Fr./a	19'752.00
Betriebskosten Wärme-, Kälteerzeugung Wärmepumpe (170 kW) ⁷	Fr./a	83'946.00
<hr/>		
Jahreskosten	Fr./a	<u>471'400.00</u>
<hr/>		
Erzeugte Wärme kWh/a (2'100 Heizlaststunden h/a) bei 1'600 kW	KWh/a	3'360'000
Erzeugte Kälte kWh/a (900 Kühlstunden h/a) bei 1'600 kW	KWh/a	1'440'000
Gestehungskosten pro kWh Wärme/Kälte	Fr./kWh	0.10

⁶ Stromkosten Industrielle Betriebe Kloten 16.46 Rp/kWh, Stand November 2014

⁷ Stromkosten Industrielle Betriebe Kloten 16.46 Rp/kWh, Stand November 2014

9 Einschränkungen

9.1 Rechtliche Rahmenbedingungen

Das Abwasser und damit die Wärme im Abwasser in der öffentlichen Kanalisation gehören der Gemeinde bzw. dem Abwasserverband. Anlagen zur Energiegewinnung aus Abwasser erfordern folgende Bewilligungen [5]:

- ordentliche Baubewilligung
- gewässerschutzrechtliche Genehmigung
- Nutzungsvereinbarung mit dem Betreiber der Kanalisation und der Kläranlage (diese kann verknüpft werden mit einer Konzession)

Durch den Betrieb sämtlicher im ARA-Einzugsgebiet vorhandener Anlagen zur Wärmenentnahme darf die Abwassertemperatur im Zulauf der ARA nicht unter 10°C sinken [6]

Nach Durchmischung darf die Wassertemperatur 25 °C nicht übersteigen. Gemäss Gewässerschutzgesetz darf nur Abwasser mit max. 60°C in die Kanalisation eingeleitet werden.

Bei Entfernung von Ablagerungen auf den Wärmetauschern dürfen keine toxischen Stoffe ins Abwasser gelangen (z.B. Kupfer, führt zu Hemmung der Biologie).

9.2 Nutzungsvereinbarung

Die Nutzung der Wärme oder Kälte im Abwasser ist grundsätzlich erwünscht, da damit das Klima geschont, die Versorgungssicherheit mit Energie erhöht, die Umwelt entlastet und auch wesentliche Kosteneinsparungen bei Privaten und der Öffentlichkeit erzielt werden. Die Betreiber solcher Anlagen leisten deshalb einen wichtigen Beitrag zur Volkswirtschaft. Es herrscht deshalb beim Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA), Kantonen und Bund (EnergieSchweiz) Konsens, dass heute für die Wärme- oder Kältenutzung keine Gebühren oder höchstens von symbolischem Charakter bezahlt werden sollen, da Gebühren die Wirtschaftlichkeit der Abwasserwärmenutzung und damit die Verbreitung gefährden [5].

Ein energetischer Gewinn für „The Circle“ darf nicht zu einem Mehrverbrauch oder einer Minderproduktion an Energie auf der Kläranlage führen. Erstes passiert z.B. infolge schlechterer Sauerstoffeintragseffizienz bei wärmerem Abwasser, zweites bei reduzierter Gasproduktion infolge Problemen im Faulturm. Zudem gibt es kein Anrecht auf eine garantierte Abwassermenge. Solche Punkte müssen in einer Nutzungsvereinbarung zwischen Kanalisationsinhaber und Abwasserenergie-Nutzer geregelt werden. Üblich ist eine etappenweise Freigabe von Nutzungskontingenten und ein Recht der Kläranlage auf eine Abschaltung der Abwasserenergienutzung bei Betriebsproblemen auf der Kläranlage.



10 Förderbeiträge

Projekte, wie die Umsetzung von Abwasserwärmenutzung, haben teilweise höhere Investitionen als konventionelle Heizungen.

Möglichkeiten um die Investitionssumme teilweise zu senken bieten diverse Förderbeiträge. Diese können vom Bund, Kanton oder von Stiftungen und Vereinen gesprochen werden.

Die Nachfolgende, nicht abschliessende, Auflistung zeigt mögliche Förderinstitutionen:

- Cleantech, Bundesamt für Energie (BFE)
- Förderprogramm Energie, Kanton Zürich
- Stiftung Klik, für CO₂-Kompensation, nicht für Neubauten
- Übersicht über weitere Schweizweite Förderprogramme unter: www.energiefranken.ch

11 Empfehlung

Um das Potential (Wärme 1.6 MW, Kälte 1 bis 1.3 MW) möglichst Wirkungsvoll zu nutzen wird empfohlen zu prüfen, ob die projektierten Rohre DN 800 ersetzt werden können durch DN 1200 Rohre. Eventuelle Mehrkosten sind abgeschätzt deutlich kleiner als Mehrkosten für Zusatzaufwände zur Installation des Wärmetauschersystems, insbesondere Aussenführung der Hauptzu- und Rücklaufleitungen.

Als Heizzentralen werden bivalente Wärmepumpen- bzw. Kältemaschinenanlagen vorgeschlagen.

Die Hunziker Betatech AG empfiehlt, aufgrund der Studie die Planung für die Abwasserwärmenutzung unverzüglich aufzunehmen.

Winterthur, 6. Januar 2015
abu/om/rm

HUNZIKER **BETATECH**

Hunziker Betatech AG
Pflanzschulstrasse 17
Postfach 83
8411 Winterthur

