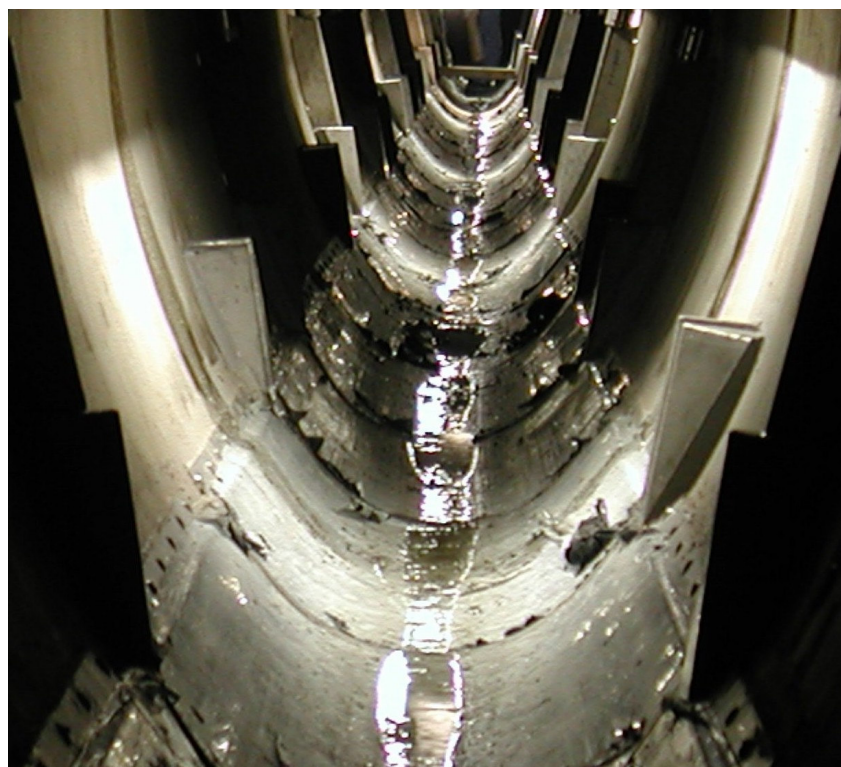


WÄRMENUTZUNG AUS ABWASSER



**Leitfaden für Inhaber, Betreiber und Planer von
Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisationen**

Inhalt

Vorworte	Seite	1
1. Abwasser - Wärmequelle zur Beheizung von ARA-externen Gebäuden	Seite	2
2. Funktionsweise der Abwasser-Wärmepumpe	Seiten	2-3
3. Ökologie	Seite	4
4. Wirtschaftlichkeit	Seite	4
5. Beispiele realisierter Anlagen	Seiten	4-5
6. Zusammenhang Wärmeentnahme aus der Kanalisation und ARA-Betrieb	Seiten	6-8
7. Grenzkriterien für die Sicherstellung des ARA-Betriebes	Seite	9
8. Hilfsmittel zur Überprüfung der Einhaltung der Grenzkriterien	Seite	10-11
9. Einfluss des Abwassers auf die Verschmutzung der Wärmetauscher	Seite	12
10. Bedingungen für den Einbau von Wärmetauschern in Kanalisationen	Seite	13
11. Wärmetauscher-Systeme	Seiten	14-15
12. Praxistips für Einbau, Betrieb, Wartung und Unterhalt von Wärmetauschern	Seite	15
13. Contracting: neue Finanzierungsform für Abwasserwärmenutzung	Seite	16
14. Absprache zwischen Betreibern von Abwasserwärmenutzungsanlagen und Betreibern von ARA und Kanalisationen	Seiten	16-17
15. Rechtliche Grundlagen, Besitzverhältnisse, Haftungsregelungen	Seite	18
16. Vorgehen für Betreiber von ARA und Kanalisationen	Seite	19

Impressum

Auftraggeber:

Bundesamt für Energie
3003 Bern

Auftragnehmer:

Energie in Infrastrukturanlagen
Lindenhofstrasse 15, 8001 Zürich, Tel. 01 226 30 98, Fax 01 226 30 99
mueller@infrastrukturanlagen.ch, www.infrastrukturanlagen.ch

Autoren:

René Buri, Beat Kobel
Ryser Ingenieure AG
Engestrasse 9, 3000 Bern 26

Wissenschaftliche Mitarbeit und Beratung:

- Dr. Oskar Wanner, Prof. Dr. Hansruedi Siegrist, EAWAG, 8600 Dübendorf
(Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz)
- Dr. Markus Koch, Dr. Walo Meier, AWEL, 8090 Zürich
(Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Abteilung Gewässerschutz)

Diese Broschüre entstand im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE) durch die Aktion „Energie in Infrastrukturanlagen“ des Programms EnergieSchweiz. Partner von „Energie in Infrastrukturanlagen“ sind der VSA (Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute) und FES (Schweizerischer Städteverband - Fachorganisation für Entsorgung und Strassenunterhalt).

Umschlagsfoto: Kanal mit eingebautem Wärmetauscher in Binningen (BL)

Vertrieb: - Energie in Infrastrukturanlagen (www.infrastrukturanlagen.ch)
- BFE, ENET (www.energieforschung.ch)

Bern/Zürich, November 2004

Vorworte

Abwärme aus Abwasser - ein unterschätztes Potenzial

Für uns Abwasserfachleute - Betreiber von Kanalisationen, Klärmeister, Planer von Anlagen und Wissenschaftler der EAWAG - war Abwasser schon immer eine Energieressource. Seit vielen Jahren nutzen wir Klärgas als Brennstoff zur Erzeugung von Wärme und Elektrizität. Jahrzehnte lang verwerteten wir Klärschlamm als Dünger (Energierohstoff) in der Landwirtschaft; heute liefern wir ihn in Energieanlagen, die Fernwärme und Strom auskoppeln. Die Energie im Abwasser liegt aber nicht nur als organische Substanz und chemische Verbindungen vor, sondern auch in Form von thermischer Energie. Grund: Beim Gebrauch des Wassers in Haushalten, Gewerbe und Industrie erfolgt eine Erwärmung. Anstatt dass wir diese Wärme mit dem Abwasser an die Umwelt abgeben, können wir sie nutzen. Mit Hilfe von Wärmepumpen lassen sich damit Gebäude heizen und Warmwasser erzeugen.

Die Technik der Abwasserwärmenutzung ist ausgereift und erprobt. Bei richtiger Planung und Ausführung der Anlagen entsteht weder für die Siedlungsentwässerung noch für die Abwasserreinigung ein Nachteil. Wenn wir das Abwasser durch die Wärmeentnahme dabei leicht abkühlen, machen wir nichts anderes, als es ein Stück weit in seinen natürlichen Ursprungszustand zurückzuführen - ähnlich wie wenn wir das Abwasser in Kläranlagen reinigen. Wärmenutzung aus Abwasser ist also sozusagen eine erweiterte Form der Abwasserreinigung.

Es gibt in fast jeder Gemeinde Kanäle, die sich für die Energienutzung aus Abwasser eignen - vielleicht auch bei Ihnen. Darüber, wie die Wärmenutzung aus Abwasser funktioniert und wie vorzugehen ist, informiert dieser Leitfaden.

Ueli Bundi

Direktor der EAWAG
(Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung,
Abwasserreinigung und Gewässerschutz)

Ein wichtiger Beitrag an unsere Klimaziele

EnergieSchweiz ist das partnerschaftliche Programm von Bund, Kantonen, Gemeinden, Wirtschafts-, Konsumenten- und Umweltorganisationen zur Förderung der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energien. Das Programm soll die schweizerischen Energie- und Klimaziele erreichen und eine nachhaltige Energieversorgung einleiten. Die Ziele von EnergieSchweiz sind eine Reduktion des CO₂-Ausstosses bis 2010 um 10% im Vergleich zum Stichjahr 1990, die Begrenzung der Zunahme des Elektrizitätsverbrauches bis 2010 auf maximal +5% gegenüber dem Jahr 2000 sowie eine Steigerung der Beiträge der erneuerbaren Energien um 3 Prozentpunkte des Wärmebedarfs und um 1 Prozentpunkt des Elektrizitätsbedarfs.

Das Wärmepotenzial im Abwasser ist gross: Wenn wir die gesamte schweizerische Abwassermenge um ein halbes Grad abkühlen würden, könnten wir mit der gewonnenen Energie über 100'000 Wohnungen beheizen, ohne den Betrieb unserer Abwasserreinigungsanlagen negativ zu beeinträchtigen. Abwasser-Wärmepumpen können somit einen wichtigen Beitrag an die Ziele der schweizerischen Energie- und Klimapolitik leisten.

Abwasser ist als Wärmequelle für Wärmepumpen sehr gut geeignet. Die Temperaturen des Abwassers ermöglichen einen effizienten Betrieb von Wärmepumpen und das Abwasser ist in den Siedlungsgebieten vorhanden, wo die Wärme benötigt wird. Dem Abwasser wird dabei lediglich ein Teil der Wärme, welche ihm vorher bei der Nutzung zugeführt wurde, wieder entnommen. Alles in allem also eine Win-Win-Situation!

Der Leitfaden Wärmenutzung aus Abwasser soll Sie unterstützen, diese auch zu nutzen.

Michael Kaufmann

Programmleiter EnergieSchweiz
Vizedirektor Bundesamt für Energie

1. Abwasser - Wärmequelle zur Beheizung von ARA-externen Gebäuden

Die Energiemenge, die sich in Form von Abwärme aus dem Abwasser gewinnen lässt, ist riesig. Dies zeigt folgender Vergleich: Wenn wir Abwasser beim Wärmeentzug um lediglich 1 Kelvin abkühlen, um den Betrieb der Abwasserreinigungsanlage (ARA) möglichst nicht zu beeinträchtigen, können wir aus 1 m³ Abwasser rund 1,5 Kilowattstunden Wärme gewinnen. Aus dem gleichen m³ Abwasser kann in einer ARA etwa 0,05 m³ Klärgas erzeugt werden. Dies entspricht einem Energieinhalt von rund 0,3 Kilowattstunden. Mit anderen Worten: Das Potenzial an Abwärme im Abwasser ist um ein vielfaches grösser als das Potenzial an Klärgas auf den ARA.

Angesichts dieses enormen Potenzials stellt sich die Frage, wie sich die Abwärme im Abwasser effizient zurückgewinnen und nutzen lässt. Die Wärme kann entweder dem gereinigten Abwasser im Ablauf der ARA oder dem Rohabwasser aus der Kanalisation vor der ARA entnommen werden, um damit umliegende Gebäude zu heizen. Bei der Wärmenahme vor der ARA muss der Einfluss der Abkühlung auf den ARA-Betrieb berücksichtigt werden (s. Seiten 6-11).

Unter Berücksichtigung der zwei grundlegenden Bedingungen, dass in einem Kanalisationsabschnitt ein genügendes Wärmeangebot für den Einsatz einer Wärmepumpe vorhanden und der Einbau von Wärmetauschern möglich ist, kommt die Nutzung von Abwasserwärme in der Regel für mittlere Trockenwetterabflussmengen ab 15 l/s, d.h. für Gemeinden ab 3'000-5'000 Einwohnern und in Kanälen mit einem Innendurchmesser von mindestens 800 mm in Frage. Geeignete Wärme-Abnehmer sind grössere Gebäude oder Quartiere in der Nähe der Wärmequelle. Für einzelne Einfamilienhäuser und die Bereitstellung von Prozesswärme (meist hohe Vorlauftemperaturen nötig) sind Abwasser-Wärmepumpen hingegen nicht geeignet.

2. Funktionsweise der Abwasser-Wärmepumpe

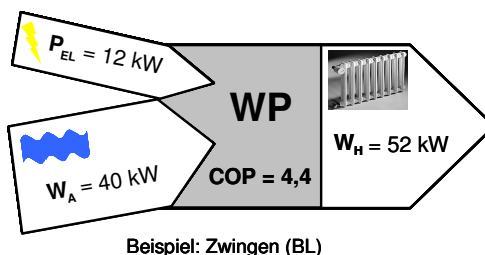
Eine Wärmepumpe (WP) entzieht der Umwelt Wärmeenergie, die sie von einem niedrigen auf ein höheres, für Heizzwecke nutzbares Temperaturniveau bringt. Die Umweltwärme kann aus Wasser, Umgebungsluft, dem Erdboden oder eben wie bei der Abwasser-WP aus Abwasser gewonnen werden. Die Wärme im Abwasser stammt ursprünglich aus Abwärme von Industrie und Privathaushalten, die ins Abwasser abgegeben wird.

Die Funktionsweise der Abwasser-WP ist in Abb. 1 schematisch dargestellt. Der Wärmetauscher (WT) ist mit einem zusätzlichen Wärmeübertragungskreislauf ausgerüstet, so dass der Verdampfer der WP nicht direkt mit dem Abwasser in Verbindung kommt. Liegen die Wärmeabnehmer weit von der Wärmequelle bzw. der Kanalisation entfernt, kann die Wärme auf dem ursprünglichen Temperaturniveau (10-20 °C) in unisolierten Leitungen zur Heizzentrale mit der WP transportiert werden (kalte Fernwärme). Mit der kalten Fernwärme können relativ kostengünstig Distanzen bis über 1 km überwunden werden. Eine Abwasser-WP kann auch mehrere Gebäude zentral beheizen. In diesem Fall wird die Wärme in isolierten Leitungen auf höherem Temperaturniveau (40-60 °C) zu den einzelnen Abnehmern transportiert (warme Fernwärme).

Meist wird für die Abdeckung von Wärmebedarfsspitzen an kalten Wintertagen zusätzlich zur WP ein Heizkessel eingesetzt (bivalente WP-Anlage). Damit kann die Betriebssicherheit erhöht und eine Abwasser-WP wirtschaftlicher betrieben werden, da sie lange Betriebszeiten erreicht und kleiner dimensioniert werden kann. In erdgasversorgten Gebieten ist die Kombination von Abwasser-WP mit Blockheizkraftwerk (BHKW) möglich. Dabei wird der Strom für den Antrieb der WP vom BHKW geliefert.

Die **Leistungszahl (COP)** einer WP ist das Verhältnis von Nutz- oder Heizleistung W_H (thermische Leistung) einer WP im Bezug auf die benötigte elektrische Antriebsleistung P_{EL} (W_H ergibt sich aus der Summe von P_{EL} und der Wärmeübertragungsleistung W_A des Wärmetauschers).

Wertet man die Energiedaten im Jahresverlauf aus, ergibt sich die Energieeffizienz einer WP durch ihre **Jahresarbeitszahl (JAZ)**, d.h. die erzeugte Nutzwärmeenergie (kWh) im Verhältnis zur benötigten Antriebsenergie (kWh) inkl. Hilfsenergien.



Die Wärmequelle Abwasser erreicht auch im Winter relativ hohe Temperaturen von 10-15 °C, was im Vergleich zu den üblichen Wärmequellen Luft, Erdreich oder Grundwasser höher ist und einen effizienteren WP-Betrieb ermöglicht. Abwasser-WP erreichen bei Neubauten gemessene JAZ von bis zu 5 und bei bestehenden Gebäuden Werte von bis zu 4.

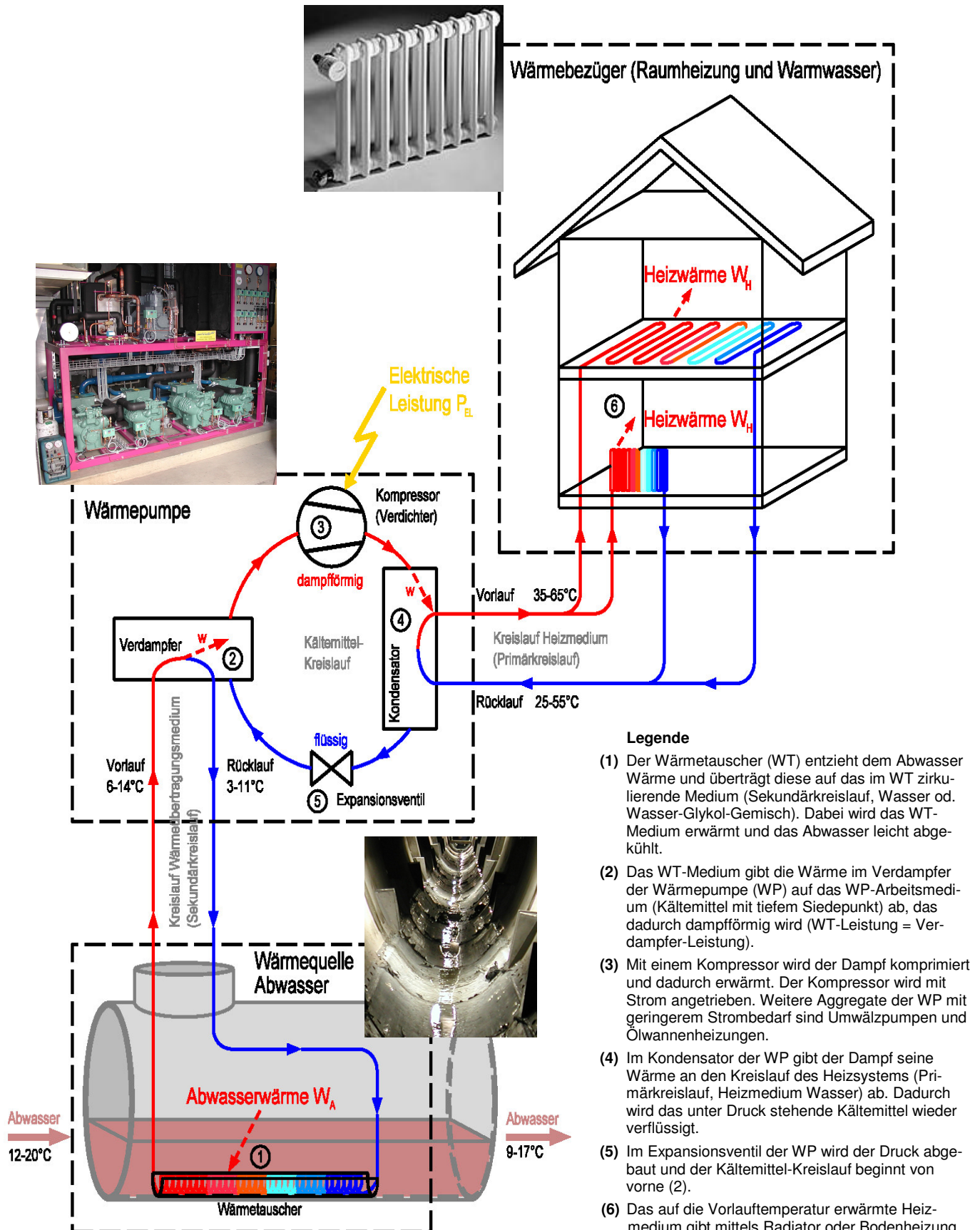


Abb. 1: Schematische Darstellung einer Abwasser-Wärmepumpe mit Wärmeentzug aus der Kanalisation mit den wichtigsten Elementen und den drei geschlossenen Kreisläufen des Wärmeübertragungsmediums (Sekundärkreislauf), des Wärmepumpen-Arbeitsmediums (Kältemittel-Kreislauf) und des Heizmediums (Primärkreislauf).

Legende

- (1) Der Wärmetauscher (WT) entzieht dem Abwasser Wärme und überträgt diese auf das im WT zirkulierende Medium (Sekundärkreislauf, Wasser od. Wasser-Glykol-Gemisch). Dabei wird das WT-Medium erwärmt und das Abwasser leicht abgekühlt.
- (2) Das WT-Medium gibt die Wärme im Verdampfer der Wärmepumpe (WP) auf das WP-Arbeitsmedium (Kältemittel mit tiefem Siedepunkt) ab, das dadurch dampfförmig wird (WT-Leistung = Verdampfer-Leistung).
- (3) Mit einem Kompressor wird der Dampf komprimiert und dadurch erwärmt. Der Kompressor wird mit Strom angetrieben. Weitere Aggregate der WP mit geringerem Strombedarf sind Umwälzpumpen und Ölwanneheizungen.
- (4) Im Kondensator der WP gibt der Dampf seine Wärme an den Kreislauf des Heizsystems (Primärkreislauf, Heizmedium Wasser) ab. Dadurch wird das unter Druck stehende Kältemittel wieder verflüssigt.
- (5) Im Expansionsventil der WP wird der Druck abgebaut und der Kältemittel-Kreislauf beginnt von vorne (2).
- (6) Das auf die Vorlauftemperatur erwärmte Heizmedium gibt mittels Radiator oder Bodenheizung die Wärme an die Raumluft ab. Dabei wird es auf die Rücklauftemperatur abgekühlt und zurück zum Kondensator der WP transportiert, um dort wieder Wärme aufzunehmen (4). Im Kreislauf des Heizmediums kann zur Wärmepufferung ein Zwischenspeicher eingesetzt werden. Mit einem separaten Kreislauf ist auch die Warmwasseraufbereitung möglich (Boiler). Im Sommer kann die WP umgekehrt als Kältemaschine eingesetzt und die Räume gekühlt werden.

3. Ökologie

Wärmepumpen nutzen Umgebungswärme. Sie sind deshalb gestützt auf eine Ökobilanz im Vergleich zu fossilen Heizungen sehr umweltfreundlich. Auch die CO₂-Emissionen von WP sind im Vergleich zu herkömmlichen Heizsystemen wesentlich geringer (Abb. 2). Die in der Schweiz insgesamt in Betrieb stehenden WP ergeben eine Reduktion der CO₂-Emissionen von 1,8 %. Das Reduktions-Ziel 2010 ist nach Kyoto-Protokoll 8 %, nach Schweizer CO₂-Gesetz sogar 10%. Dazu können WP einen wichtigen Beitrag leisten. Gleichzeitig werden durch die Verbreitung von WP auch die Stickoxid (NO_x)-Emissionen reduziert. Auch Abwasser-WP können also einen wichtigen Beitrag zur Verminderung des Treibhauseffektes und von örtlicher Smogbildung leisten.

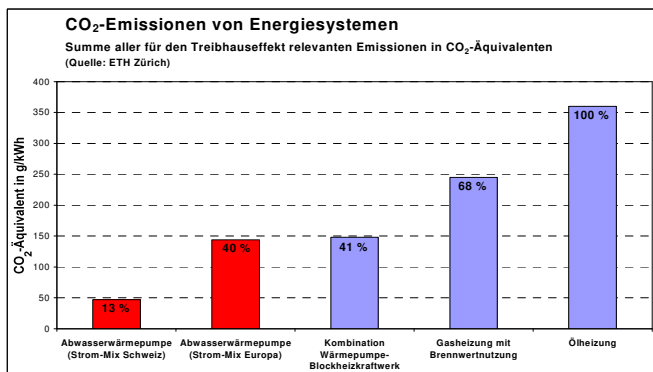


Abb. 2: Reduktion der CO₂-Emissionen von Wärmepumpen im Vergleich zu konventionellen Heizsystemen

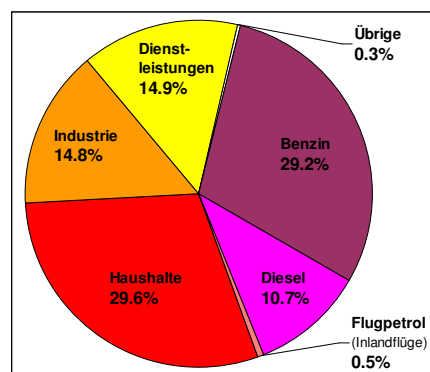


Abb. 3: CO₂-Emissionen aus Brenn- und Treibstoffen in der Schweiz 2002 (Gesamtmenge: 40,8 Mio t)

4. Wirtschaftlichkeit

Für die Wirtschaftlichkeit einer Abwasser-WP ist grundsätzlich von zentraler Bedeutung, dass grosse Gebäude mit tiefen oder normalen Vorlauftemperaturen angeschlossen werden können und die Distanz vom Ort der Wärmeentnahme bis zum Abnehmer möglichst klein ist („warme“ Fernwärme bis 200 m, „kalte“ Fernwärme bis über 1 km). Wird der Einbau einer Abwasser-WP im Zusammenhang mit einer anstehenden Kanalsanierung geplant und realisiert, ergeben sich Kostensynergien. Die Wirtschaftlichkeit einer Abwasser-WP ist also stark abhängig von der Ausgangslage. Bei grösseren Abnehmern, geeigneter Leitungsführung und Vorlauftemperatur werden Abwasser-WP gegenüber konventionellen Erdöl- oder Erdgasheizungen wirtschaftlich interessant. Eine Abwasser-WP arbeitet grundsätzlich umso energieeffizienter, und damit auch umweltfreundlicher und kostengünstiger, je tiefer die Vorlauftemperaturen des Heizsystems und je höher die Temperaturen der Wärmequelle Abwasser sind.

5. Beispiele realisierter Anlagen

Praxisbeispiel Wärmeentnahme aus gereinigtem Abwasser nach der ARA: Muri (AG)

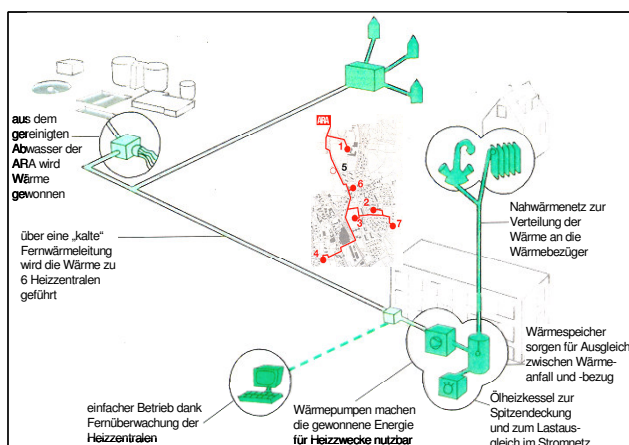


Abb. 4: Schema Fernwärmeverbund Abwasserwärme Muri

Seit 1994 versorgt die Energie Freiamt AG in der Gemeinde Muri (7'000 Einwohner) mittels verzweigtem Wärmeverbund von 3,2 km Länge über 7 dezentrale Heizzentralen 200 Wohnungen mit Wärme aus Abwasser. Die Wärme wird dem gereinigten Abwasser auf der ARA mit einem kompakten Platten-WT entnommen und auf dem ursprünglichen Temperaturniveau als „kalte“ Fernwärme zu den Heizzentralen transportiert. Jede Zentrale verfügt über eine Wärmepumpe für die Erzeugung der Grundlastwärme und einen Ölheizkessel für die Spitzendeckung (bivalente Auslegung). Damit werden die umliegenden Gebäude über das ganze Jahr mit Heizwärme versorgt. Die Gesamtinvestitionen beliefen sich auf 3,9 Mio Fr. Der Wärmepreis beträgt 8,5 Rp./kWh.

Der WT wird zweimal pro Jahr gründlich gereinigt. Bisher traten keine Probleme wegen Verschmutzungen auf. Die ARA-Betreiber haben weder zusätzlichen Aufwand, noch wird der ARA-Betrieb negativ beeinflusst.

Kennzahlen Muri

Wärmeproduktion WP:	1'700 MWh
therm. Leistung WP:	1'050 kW
Anzahl Wohnungen:	200

Praxisbeispiele Wärmeentnahme aus Rohabwasser in der Kanalisation (vor der ARA)

Binningen (BL)



Abb. 5: Vor- und Rücklaufleitungen des WT in Binningen

Seit Ende 2001 versorgt die Wärmeversorgung Binningen AG (WBA) in der Gemeinde Binningen (14'000 Einwohner) 68 Gebäude mit verschiedener Nutzung (Schulhäuser, private und kommunale Bauten) in einem Wärmeverbund mit Wärme aus dem Abwasser der nahe gelegenen Kanalisation. Die Abwasserwärme wird mit einer zuverlässig arbeitenden zentralen WP in Heizwärme für Raumheizung und Warmwasser umgewandelt. Bisher konnte keine Verschmutzung des Rinnen-WT (s. Umschlagsfoto) mit Leistungsverminderung festgestellt werden. Es war noch keine Reinigung des WT erforderlich. Für den Kanalisations-Betreiber ergibt sich durch den WT kein zusätzlicher Aufwand. Die Funktion der Kanalisation wird nicht beeinträchtigt.

Kennzahlen Binningen

Wärmeproduktion WP:	2'400 MWh/a
therm. Leistung WP:	380 kW
Anzahl Wohnungen:	300
Länge WT:	140 m
spezifische Leistung WT:	1,8 kW/m

Schaffhausen (SH)



Abb. 6: Einstieg zum Kanal-WT bei der IWC in Schaffhausen

In der „Energistadt“ Schaffhausen realisierte die Firma IWC (weltbekannte Uhrenhersteller) bei der Sanierung der Heizzentrale und dem Neubau eines Produktionsgebäudes die Lösung Heizen und Kühlen mit Abwasser. Im Vergleich zur Wärmeerzeugung mit Heizkesseln mit Einsatz einer Kältemaschine führt diese Lösung zu geringeren Jahreskosten. Herzstück der Abwasserenergieanlage ist eine Wärme-Kälte-Maschine, die alternierend oder gleichzeitig Wärme und Kälte produziert. Als Wärmequellen dienen neben Abwasser auch Grundwasser und Abwärme aus Fertigungsprozessen und Druckluftherzeugung. Auf der Kälteseite werden Prozessabwärme und im Sommer Raumwärme ans Abwasser abgeführt. Die Kühldecken können auch ohne Wärmepumpe direkt mit Abwasserkälte versorgt werden.

Kennzahlen Schaffhausen

Wärmeproduktion WP:	500 MWh/a
Kälteproduktion WP:	400 MWh/a
Wärmeleistung WP (Wi):	370 kW
Kälteleistung WP (So):	325 kW
Anteil Abwasserwärme:	25 %

Zwingen (BL)

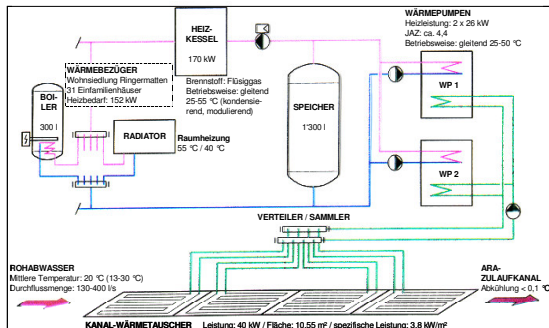


Abb. 7: Schema Abwasserwärmenutzung in Zwingen

Mittels zentraler WP werden 31 Einfamilienhäuser seit Anfang 1999 mit Wärme aus dem nahen Abwasserkanal beheizt (nur Raumheizung). Ein abgasarmer Flüssiggas-Brenner dient zur Abdeckung von Bedarfsspitzen. Planung, Bau und professionelle Betreuung der Anlage erfolgen im Contracting durch die Elektra Birseck Münchenstein (EBM). Bisherige Messungen ergaben eine durchschnittliche JAZ von 4,4. Die erwartete JAZ von 5 wurde wegen der Verschmutzung des WT nicht erreicht (stärker belastetes Abwasser wegen der angeschlossenen Papierfabrik). Die Abkühlung des Abwassers im betreffenden Kanal beträgt weniger als 0,1 K. Die ursprüngliche Funktion der Kanalisation wird nicht beeinträchtigt. Die Reinigung des WT liegt im Rahmen des Anlagenunterhalts in der Verantwortung des Contractors und wird in Absprache mit dem Kanalisationsbetreiber durchgeführt.

Kennzahlen Zwingen

Wärmeproduktion WP:	230 MWh/a
therm. Leistung WP:	52 kW
Anzahl Wohnungen:	31
Länge WT:	10 m
spezifische Leistung WT:	4,0 kW/m

Basel (BS)

In der Sportanlage Bachgraben der Stadt Basel wurde 1982 eine WP-Anlage für die Beheizung der Garderobengebäude und die Aufbereitung des Duschwassers in Betrieb genommen. Die WP nutzt die Wärme aus dem Abwasser der nahe gelegenen Kanalisation. Nach 20 Jahren störungsfreiem Betrieb wurde die Heizanlage erneuert. Die Tatsache, dass wieder eine WP installiert wurde, ist ein klares Indiz für die Zufriedenheit der Bauherrschaft und des verantwortlichen Wartungspersonals. Beim WP-Ersatz wurde auch der 30 m lange Rinnen-WT einer Funktionskontrolle unterzogen. Diese ergab keine Probleme wie Schäden oder Verschmutzungen, so dass der gleiche WT noch über Jahre wartungsfrei genutzt werden kann. Der WT in Basel Bachgraben muss nicht periodisch gereinigt werden. Seit der Inbetriebnahme bringt er die benötigte Leistung auch ohne Reinigung. Der Kanalisations-Betreiber hat also damit keinen vermehrten Aufwand und die Kanalisation erfüllt ihre ursprüngliche Funktion ohne Einschränkungen.

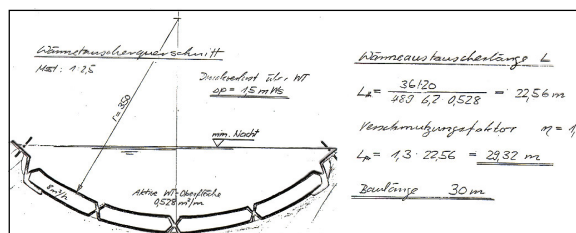


Abb. 8: Dimensionierungsskizze des WT in Basel Bachgraben

6. Zusammenhang Wärmeentnahme aus der Kanalisation und ARA-Betrieb

Wie entwickelt sich die Temperatur des Abwassers nach der Abkühlung durch einen Wärmetauscher auf dem Weg bis zur ARA und hat die Abkühlung schliesslich einen Einfluss auf den ARA-Betrieb? Diese zentralen Fragen wurden von der EAWAG im Rahmen eines BFE-Projektes von März 2002 bis Februar 2004 detailliert untersucht [1]. Auf den Seiten 6 bis 8 sind die wichtigsten Resultate und Schlussfolgerungen dieser Untersuchungen zusammengefasst. Aufgrund dieser Resultate wurden Grenzkriterien erarbeitet (Seite 9) und es werden einfache Methoden zur Überprüfung dieser Kriterien (Seiten 10-11) aufgezeigt.

Wärmeentnahme mittels Wärmetauscher in der Kanalisation

Die Temperaturabnahme ΔT des Abwasserstroms (Einheit: K *) ist abhängig von der entnommenen Abwasser-Wärmemenge W_A (Wärmeübertragungsleistung des Wärmetauschers; Einheit: kW), der Durchflussmenge Q des Abwassers (Einheit: l/s), der Dichte ρ des Abwassers (kann bei Temperaturen von 0-20 °C als konstant 1 kg/l angenommen werden) und der spezifischen Wärmekapazität c des Abwassers (kann bei Temperaturen von 0-20 °C als konstant 4,19 kJ/kgK angenommen werden).

Es gilt: Je grösser Q , desto geringer ΔT (Formel 1).

$$\Delta T = \frac{W_A}{c \cdot \rho \cdot Q}$$

Formel 1

*) Kelvin - relative Skala entspricht °C, d.h. $\Delta T = 1 \text{ K} = 1 \text{ °C}$ (absolute Skala: 0 °C = 273,15 K)

Beispiel 1: Bei $Q = 25 \text{ l/s}$ und $W_A = 100 \text{ kW}$ wird das Abwasser um 1 K abgekühlt.

Beispiel 2: Bei $Q = 150 \text{ l/s}$ und $W_A = 300 \text{ kW}$ wird das Abwasser um 0,5 K abgekühlt.

Die obigen Beispiele zeigen, dass bei grösseren Durchflussmengen dem Abwasser durchaus grosse Wärmemengen entzogen werden können, ohne dass die Abwassertemperatur um mehr als 1 K sinkt.

Veränderung der Abwassertemperatur im Kanalisationsrohr

Beim Abfluss im Kanalisationsrohr findet über verschiedene Wege ein Wärmeaustausch zwischen Abwasser und Umgebung statt. Aus detaillierten Modellrechnungen des Abwassertemperaturverlaufs entlang eines Kanalisationsrohrs mit Einbezug der wichtigsten Prozesse (Abb. 9), mit mittleren Parameterwerten für eine typische Trockenwettersituation im Winter, können zusammengefasst drei relevante Schlussfolgerungen gezogen werden [2]:

1. Relevante Einflussgrössen auf die Abwassertemperatur sind die Temperatur nach dem Wärmetauscher (Ausgangstemperatur nach Wärmeentnahme), die Durchflussmenge sowie Temperatur und Feuchtigkeit der Kanalisationsluft.
2. Die natürlichen Wärmeverluste im Kanalisationsrohr liegen im Winter normalerweise in der Grössenordnung von 1 K.
3. Falls die Abwassertemperatur durch die Wärmeentnahme unter 8 °C sinkt, steigt sie über grössere Distanzen im Kanalisationsrohr wieder an, da das Erdreich im Winter wärmer ist (8-12 °C).

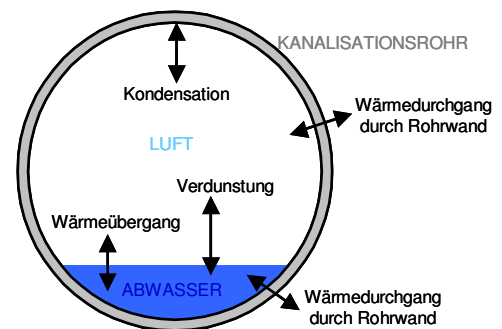


Abb. 9: Wärme-Austauschprozesse im Kanalisationsrohr

Veränderung der Abwassertemperatur beim Zusammenfluss von Teilströmen

Die resultierende Abwassertemperatur T_{res} nach dem Zusammenfluss verschiedener Teilkanalnetze ist nur abhängig von den jeweiligen Durchflussmengen Q_i und Temperaturen T_i (Formel 2).

$$T_{res} = \frac{\text{Summe}(Q_i \cdot T_i)}{\text{Summe}(Q_i)}$$

Formel 2

Beispiel: Einem Kanalisationsstrang mit $Q = 100 \text{ l/s}$ und $T = 13 \text{ °C}$ wird eine Wärmemenge W_A von 300 kW entnommen. Dadurch kühlt sich der Teilstrang um 0,7 K auf 12,3 °C ab (Formel 1). Vor der ARA fliesst der Teilstrang mit dem Hauptsammelkanal mit $Q = 300 \text{ l/s}$ und $T = 14 \text{ °C}$ zusammen. Nach Formel 2 ergibt sich ohne Wärmeentnahme im Teilstrang eine resultierende Abwassertemperatur im ARA-Zulauf von 13,8 °C. Bei Wärmeentnahme im Teilstrang ergibt sich eine resultierende Abwassertemperatur im ARA-Zulauf von 13,6 °C. Das heisst, der ARA-Zulauf wird durch die Wärmeentnahme im Teilstrang um nur 0,2 K abgekühlt.

Wie das obige Beispiel zeigt, kann durch den Zusammenfluss verschiedener Teilströme vor einer ARA die Temperaturabnahme in einem vorherliegenden Kanalisationsabschnitt, dem Wärme entzogen wurde, wieder kompensiert werden. Je grösser die zufließenden Teilströme sind, desto mehr wird die Abkühlung eines Teilstranges kompensiert.

[1] Wanner O., Delavy P., Eugster J., Panagiotidis V., Siegrist H. (EAWAG): Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen, BFE-Projekt Nr. 44177, Schlussbericht, www.waermepumpe.ch (Forschung/Entwicklung - Berichte - Wärmequellen - Abwasser), Dübendorf 2004

[2] Wanner O., Panagiotidis V., Siegrist H. (EAWAG): Wärmeentnahme aus der Kanalisation - Einfluss auf die Abwassertemperatur, KA 5/2004, S. 489-495, Hennef (D) 2004.

Auswirkung der Wärmeentnahme auf den ARA-Betrieb

Die für die Reinigungsleistung relevanten und von Temperatureinflüssen am stärksten betroffenen Prozesse in einer ARA sind die Nitrifikation (mikrobiologische aerobe Oxidation von Ammonium NH_4 zu Nitrat NO_3) und die Denitrifikation (mikrobiologische anoxische Reduktion von Nitrat NO_3 zum Zwischenprodukt Nitrit NO_2 und schliesslich zu Luftstickstoff N_2). Grundsätzlich nimmt der Wirkungsgrad der Stickstoffelimination bei einer Abkühlung des Abwassers aufgrund der Verminderung der Wachstumsgeschwindigkeit der Mikroorganismen (Nitrifikanten/Denitrifikanten) ab. Mit theoretischen Modellen und Messungen auf der ARA Werdhölzli in Zürich wurde untersucht, wie sich eine Temperaturabnahme im ARA-Zulauf auf diese Prozesse auswirkt. Als Resultat wurde das sogenannte Nomogramm (Abb. 10) entwickelt.

Mit dem Nomogramm können die Auswirkungen einer Wärmeentnahme vor dem Zulauf auf die biologische Stufe der ARA auf der Basis von Tagesmittelwerten abgeschätzt werden. Insbesondere können folgende Effekte der Abwasserabkühlung beurteilt werden:

1. Verminderung der Nitrifikationssicherheit (SF) bei gleich bleibendem aerobem Schlammalter (gleiche Beckenvolumen) → Erhöhung der NH_4 -Konzentration im Ablauf während einer Spitzenfracht (Diagramm 1)
2. Vergrösserung des Belebtschlammbeckens bzw. des totalen Schlammalters bei gleich bleibender Nitrifikationssicherheit und Denitrifikationsleistung → keine Leistungsverminderung der ARA (Diagramm 2)
3. Vergrösserung des Nitrifikationsvolumens auf Kosten des Denitrifikationsvolumens → gleiche Nitrifikationssicherheit = gleiche NH_4 -Ablaufwerte, aber verminderte Denitrifikationsleistung, d.h. geringere totale Stickstoffelimination (Diagramm 3)

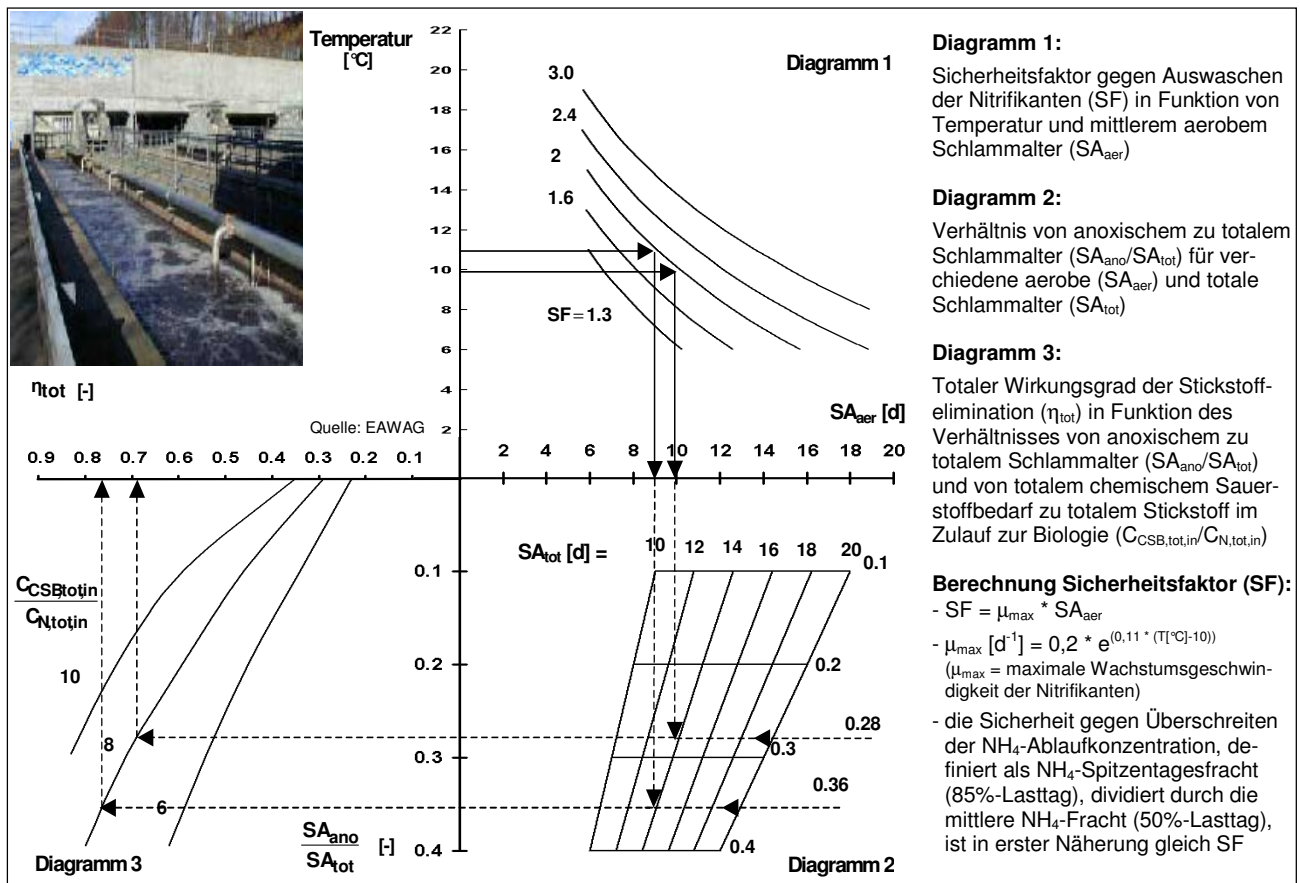


Abb. 10: Nomogramm zur Abschätzung des Einflusses einer Temperaturabsenkung des Abwassers im ARA-Zulauf auf die Nitrifikationssicherheit bzw. die Verminderung der Stickstoffelimination (Erläuterung des Anwendungsbeispiels siehe unten)

Anwendungsbeispiel Nomogramm (Abb. 10):

Einfluss der Temperaturabsenkung um 1 K in der Biologie (Belebungsbecken mit aerober Nitrifikations- und anoxischer Denitrifikationszone, $\text{SA}_{\text{tot}} = 14$ Tage, Verhältnis $\text{C}_{\text{CSB,tot,in}}/\text{C}_{\text{N,tot,in}} = 8$, 30'000 EW) mit einer Temperatur von 11 °C und einem aeroben Schlammalter SA_{aer} von 9 Tagen (Sicherheitsfaktor $\text{SF} = 2$). Bei gleich bleibendem SA_{aer} vermindert sich SF auf 1,8, was für die betrachtete Anlage noch nicht problematisch sein dürfte. Bei Erhöhung von SA_{aer} auf 10 Tage bleibt SF gleich (Diagramm 1). Die Erhöhung von SA_{aer} kann erreicht werden durch eine Vergrösserung des aeroben Volumens des Belebungsbeckens. Für das Beispiel bedeutet dies eine Reduktion des Denitrifikationsvolumens und damit von $\text{SA}_{\text{ano}}/\text{SA}_{\text{tot}}$ von 0,36 auf 0,28 (Diagramm 2). Dadurch wird die Denitrifikationsleistung vermindert, was den totalen Wirkungsgrad der Stickstoffelimination η_{tot} von 0,77 auf 0,69 reduziert. Wichtig ist aber, dass trotz der Temperaturabsenkung um 1 K die Sicherheit für die Einhaltung des NH_4 -Ablaufgrenzwertes gleich bleibt.

Temperaturausgleich in der ARA

Kurzfristige Tagesschwankungen der Zulauftemperaturen bei Trockenwetter von 2 bis 3 K werden in einer ARA auf eine Schwankung von nur noch ca. 0,5 K gedämpft. Zudem wird dem Abwasser in der ARA durch die ablaufenden biologischen Prozesse Wärme zugeführt, was zu durchschnittlich 0,5 K wärmeren Ablauftemperaturen im Vergleich zu den Zulauftemperaturen führt (Abb. 11a). Auch bei einem der stärksten Temperatureinbrüche bei Regenwetter im Winter 2002/2003 ist diese Dämpfung klar ersichtlich (Abb. 11b).

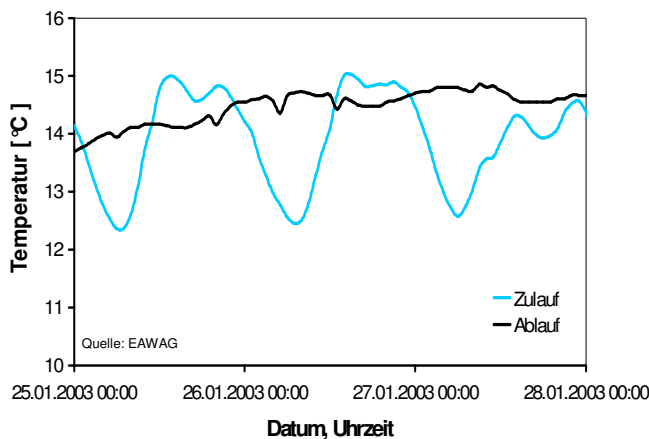


Abb. 11a: Zu- und Ablauftemperatur ARA Werdhölzli bei Trockenwetter im Winter

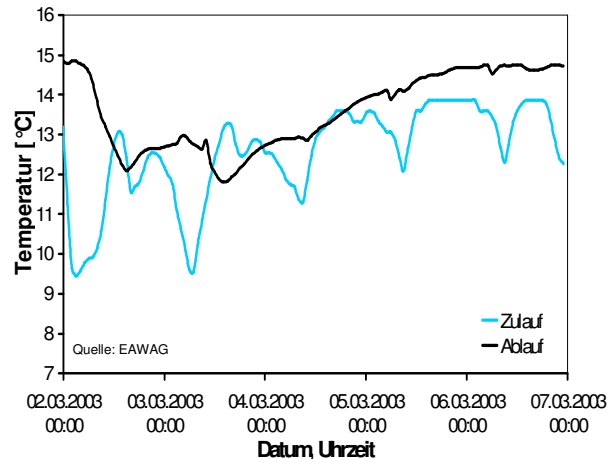


Abb. 11b: Zu- und Ablauftemperatur ARA Werdhölzli bei Regenwetter im Winter

Schlussfolgerungen zum Einfluss der Wärmeentnahme aus der Kanalisation auf den ARA-Betrieb

- Die zu beachtenden Einflussgrössen auf die Temperatur im Abwasser der Kanalisation sind die durch den Wärmetauscher entnommene Wärmemenge, die Durchflussmenge und die Gegebenheiten beim Zusammenfluss verschiedener Teilströme. Die Temperaturabnahme durch Wärmeentnahme liegt im Normalfall in der gleichen Grössenordnung wie die natürlichen Wärmeverluste in der Kanalisation.
- Die Temperatur in der biologischen Stufe einer ARA entspricht ungefähr der Temperatur im ARA-Ablauf. Der Temperaturausgleich in der ARA bedeutet also, dass kurzzeitige Temperatureinbrüche und Tag-Nacht-Schwankungen auf die Nitrifikation und die NH_4 -Konzentration im Ablauf keinen relevanten Einfluss haben. Wenn aber die Zulauftemperatur während längerer Zeit abgesenkt wird (lange Regenereignisse oder Wärmeentnahme), stellt sich auch in der Biologie eine tiefere Temperatur ein. Da eine Temperaturabnahme in der Biologie generell die Nitrifikationsleistung vermindert (wodurch die NH_4 -Konzentration im Ablauf ansteigt), muss dies bei der Wärmeentnahme aus der Kanalisation berücksichtigt werden. Wird die Temperatur in der ARA unter 10 °C und/oder um mehr als 0,5 K abgekühlt, so muss mit Hilfe des Nomogramms (Abb. 10) von Abwasserfachleuten eine detaillierte Prüfung unter Berücksichtigung der Dimensionierungstemperatur (in der Schweiz übliche Werte 8-10 °C; in Deutschland 10 °C gemäss ATV-Arbeitsblatt A131) vorgenommen werden *.
- Die Auswirkungen einer Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf (z.B. durch Wärmeentnahme) sind umso unbedenklicher, je grösser die Dimensionierungsreserve der ARA ist. Bei einer grosszügig dimensionierten mittleren ARA ist eine Temperaturabnahme von bis zu 1 K im ARA-Zulauf im Normalfall kein Problem. Da die Rahmenbedingungen aber auf jeder ARA sehr unterschiedlich sind (Abwasserzusammensetzung, Betriebsweise, Beckengrössen, mögliche Schlammalter, Einleitungsbedingungen, etc.) muss jede Anlage separat betrachtet werden.
- Die Grenzfälle für die Einhaltung der Ammonium (NH_4) - und Nitrit (NO_2) - Ablaufgrenzwerte treten im Allgemeinen in den Wintermonaten auf, wenn sich die ARA-Zulauftemperaturen im Bereich der Dimensionierungstemperatur für die ARA bewegen (vor allem in diesem Zeitraum wird aber die Wärme zu Heizzwecken gebraucht). Im Frühling, Sommer und Herbst sind die Abwassertemperaturen durchschnittlich zwischen 12 °C und 20 °C, und damit für die meisten ARA unproblematisch für eine Wärmeentnahme.

*) siehe Kapitel 7 und 8 des vorliegenden Leitfadens

7. Grenzkriterien für die Sicherstellung des ARA-Betriebes

Die Abwasserwärmenutzung ist aus ökologischen und wirtschaftlichen Gründen grundsätzlich förderungswürdig. Um dabei aber den Betrieb und die Reinigungskapazität der ARA sicherstellen zu können und dem Gewässerschutz Rechnung zu tragen, wurden die nachfolgenden Empfehlungen ausgearbeitet.

Grundsätzlich darf die Wärmeentnahme aus der Kanalisation vor einer ARA die Reinigungsleistung der betreffenden ARA nicht massgebend verringern oder gar einen Ausbau nötig machen. Ferner darf die Temperatur des Gewässers, in welches das Abwasser eingeleitet wird (Vorfluter), durch die Wärmenutzung nicht nachteilig verändert werden, so dass die Lebens- und Fortpflanzungsbedingungen für die Wasserorganismen sowie die natürliche Selbstreinigung gewährleistet bleiben.

1. Allgemeingültige Grenzkriterien für die Wärmenutzung aus ungereinigtem Abwasser in der Kanalisation vor der ARA:

- 1.1 Falls die durch eine Wärmeentnahme aus einem Kanalisations-Teilstrang resultierende **Temperatur im ARA-Zulauf im Durchschnitt der Wintermonate Dezember, Januar und Februar 10 °C nicht unterschreitet** und die resultierende **Abkühlung im ARA-Zulauf $\leq 0,5$ K** ist (entspricht dem langjährigen periodenbezogenen Schwankungsbereich), ist die Wärmeentnahme ohne detaillierte Untersuchungen zulässig.
- 1.2 Falls die durch eine Wärmeentnahme aus einem Kanalisations-Teilstrang resultierende **Temperatur im ARA-Zulauf im Durchschnitt der Wintermonate Dezember, Januar und Februar 10 °C unterschreitet** und/oder die resultierende **Abkühlung im ARA-Zulauf $> 0,5$ K** ist, muss eine **detaillierte Überprüfung des Einflusses auf den ARA-Betrieb** unter Berücksichtigung der Dimensionierungstemperatur erfolgen (Beschreibung des Vorgehens in Kapitel 8 des vorliegenden Leitfadens). Anhand der Überprüfung kann entschieden werden, ob die ARA-Reinigungsleistung durch die geplante Wärmeentnahme nicht beeinträchtigt wird * und entsprechend die Wärmeentnahme zulässig ist.
- 1.3 Bei der Überprüfung sind bestehende und allfällig geplante Wärmeentnahmen im gleichen Kanalisationsnetz vor der ARA zu berücksichtigen (Kumulierung der Abkühlungen bis zum ARA-Zulauf). Dabei gilt für die Wärmenutzer das Prinzip „first come - first serve“.

*) die Anforderungen an die Einleitbedingungen in den Vorfluter (insbesondere Ammonium (NH₄)- und Nitrit (NO₂)-Konzentration) müssen erfüllt werden können.

2. Allgemeingültige Grenzkriterien für die Wärmenutzung aus gereinigtem Abwasser nach der ARA bzw. vor dem Vorfluter:

- 2.1 Die Temperatur in Fliessgewässern darf sich durch Wärmenutzung gemäss Gewässerschutzverordnung nicht um mehr als 1,5 K verändern. Sinngemäss gilt für den Vorfluter: Die **Temperatur im Vorfluter der ARA** darf sich durch eine Wärmeentnahme aus dem ARA-Ablauf **nicht um mehr als 1,5 K ändern**.
- 2.2 Die **ARA-Ablauf-Temperatur** soll nach der Wärmeentnahme **bei der Einleitungsstelle in den Vorfluter 3 °C nicht unterschreiten** (dadurch können lokale Beeinträchtigungen der Flora und Fauna ausgeschlossen werden).
- 2.3 Schnelle Temperaturveränderungen im Gewässer sind zu vermeiden (entsprechende Auswirkungen auf den Vorfluter der ARA $\leq 1,5$ K). **
- 2.4 Bei offenen Systemen (Einleitung in ein anderes Gewässer) müssen allfällige Restwasserbestimmungen für einen Vorfluter durch die entnommene Abwassermenge beachtet werden.

**) Schnelle Temperaturveränderungen sind angesichts der Systemträgheit bei der Abwasserwärmenutzung nicht zu erwarten.

Bei korrekt dimensionierten und betriebenen ARA ergeben sich normalerweise keine Probleme betreffend Reinigungsleistung der ARA, falls die Dimensionierungstemperatur durch die Wärmeentnahme nicht unterschritten wird.

Da die Temperaturabsenkung durch Wärmeentnahme im Normalfall in der gleichen Grössenordnung liegt, wie die natürlichen Wärmeverluste in der Kanalisation, ist nicht damit zu rechnen, dass die Temperaturabnahme Auswirkungen auf die Kanalisation selbst hat.

Für die Entnahme von Wärme aus Abwasser besteht in jedem Fall **gewässerschutzrechtliche Bewilligungspflicht**. Die Bewilligung wird von der zuständigen kantonalen Behörde (Gewässerschutzfachstelle) im Normalfall erteilt, falls die oben erwähnten Bedingungen (Grenzkriterien) erfüllt sind.

8. Hilfsmittel zur Überprüfung der Einhaltung der Grenzkriterien

Mit den folgenden Berechnungshilfen können ARA- und Kanalisationsbetreiber überprüfen, ob die allgemein gültigen Grenzkriterien (Kapitel 7) bei einer Wärmenutzung vor der ARA in ihrem Gebiet eingehalten werden und somit bewilligt werden können.

Abschätzung der resultierenden Abwassertemperatur im ARA-Zulauf

Zunächst kann mit einer einfachen Berechnung unter Verwendung der Formeln 1 und 2 (Seite 6) abgeschätzt werden, wie sich die Wärmeentnahme mittels Wärmetauscher aus einem Kanalisationsabschnitt und die nachträglichen Zuflüsse von weiteren Teilströmen auf die Temperatur im ARA-Zulauf auswirken.

Zur Veranschaulichung dienen die folgenden zwei Beispiele für eine mittelgrosse ARA, bei denen die resultierende Temperatur im ARA-Zulauf für zwei unterschiedliche Wärmeentnahmen aus dem gleichen Teilstrom im Kanalisationsnetz vor der ARA berechnet wird (Abb. 12a und Abb. 12b).

Abnahme der Abwassertemperatur (T_A) in Teilstrom durch Wärmeentnahme mittels Wärmetauscher (mit WT-Leistung W_A)					
	T vor WT [°C]	Q [l/s]	W_A [kW]	ΔT [K]	T nach WT [°C]
Teilstrom	12.00	50	100	-0.48	11.52
Abnahme der Abwassertemperatur (T_A) im ARA-Zulauf durch Wärmeentnahme aus Teilstrom					
	T [°C]	Q [l/s]			
Gesamter ARA-Zulauf ohne Wärmeentnahme	11.00	200	Eingabe		
Teilstrom ohne Wärmeentnahme	12.00	50			
ARA-Zulauf ohne Teilstrom	10.67	150			
Teilstrom mit Wärmeentnahme	11.52	50	ΔT im ARA-Zulauf		
Gesamter ARA-Zulauf mit Wärmeentnahme aus Teilstrom	10.88	200	-0.12 K		

Abb. 12a: Geringe Wärmeentnahme bei ARA mit ca. 50'000 EW

Abnahme der Abwassertemperatur (T_A) in Teilstrom durch Wärmeentnahme mittels Wärmetauscher (mit WT-Leistung W_A)					
	T vor WT [°C]	Q [l/s]	W_A [kW]	ΔT [K]	T nach WT [°C]
Teilstrom	12.00	50	300	-1.43	10.57
Abnahme der Abwassertemperatur (T_A) im ARA-Zulauf durch Wärmeentnahme aus Teilstrom					
	T [°C]	Q [l/s]			
Gesamter ARA-Zulauf ohne Wärmeentnahme	11.00	200	Eingabe		
Teilstrom ohne Wärmeentnahme	12.00	50			
ARA-Zulauf ohne Teilstrom	10.67	150			
Teilstrom mit Wärmeentnahme	10.57	50	ΔT im ARA-Zulauf		
Gesamter ARA-Zulauf mit Wärmeentnahme aus Teilstrom	10.64	200	-0.36 K		

Abb. 12b: Grosse Wärmeentnahme bei ARA mit ca. 50'000 EW

Abb. 12c zeigt ein Beispiel für eine grosse ARA mit mehreren Wärmeentnahmen aus verschiedenen Teilströmen des Kanalisationsnetzes, deren Auswirkungen sich bis zum ARA-Zulauf kumulieren. Hier ist ersichtlich, dass sich auch mehrere, z.T. grosse, Wärmeentnahmen auf den ARA-Zulauf nicht unbedingt massgeblich auswirken müssen.

	Temperatur ohne Wärmeentnahme T [°C]	Abflussmenge Q [l/s]	Leistung Wärmetauscher W_A [kW]	Temperaturabnahme ΔT [K]	Temperatur mit Wärmeentnahme T [°C]
Teilstrom mit Wärmeentnahme 1	12.00	50	300	1.43	10.57
Teilstrom mit Wärmeentnahme 2	13.00	25	150	1.43	11.57
Teilstrom mit Wärmeentnahme 3	11.00	40	100	0.60	10.40
Teilstrom mit Wärmeentnahme 4	10.00	80	150	0.45	9.55
Teilströme ohne Wärmeentnahme (Differenz zu Zulauf ARA gesamt)	12.43	405			
Zulauf ARA gesamt	12.00	600	700	0.28	11.72
Eingabe				Resultate	

Abb. 12c: Mehrere Wärmeentnahmen bei ARA mit ca. 150'000 EWG

Bemerkung:

Bei den obigen Beispielen wird von einem mittleren Trockenwetter-Abwasseranfall von 350 Liter pro Einwohner und Tag ausgegangen:
- Abb. 12a, 12b (mittelgrosse ARA): 350 l/EWd * 50'000 EW = 200 l/s (mittlere ARA-Zulaufmenge bei Trockenwetter)
- Abb. 12c (grosse ARA): 350 l/EWd * 150'000 EW = 600 l/s (mittlere ARA-Zulaufmenge bei Trockenwetter)

Einhaltung des Ammonium (NH₄) - Ablaufgrenzwertes

Falls gemäss der Berechnung der Abwassertemperatur im ARA-Zulauf das allgemein gültige Grenzkriterium $T \geq 10^\circ\text{C}$ und $\Delta T \leq 0,5\text{ K}$ (siehe Kapitel 7, Grenzkriterium 1.1) nicht eingehalten wird, muss mit einer vertieften Untersuchung geprüft werden, ob die resultierende Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf die Reinigungsleistung der ARA nicht relevant vermindert, d.h. ob der NH₄-Ablaufgrenzwert eingehalten werden kann (siehe Kapitel 7, Grenzkriterium 1.2). Mittels Modellrechnungen wurde dazu an der EAWAG als Ergänzung zum Nomogramm (Abb. 10) ein einfaches Diagramm entwickelt, in dem der direkte Zusammenhang zwischen Sicherheitsfaktor SF und NH₄-Konzentration C_{NH₄} im ARA-Ablauf (24h-Sammelproben) für den 50%- und den 85%-NH₄-Lasttag grafisch dargestellt ist (Abb. 13).

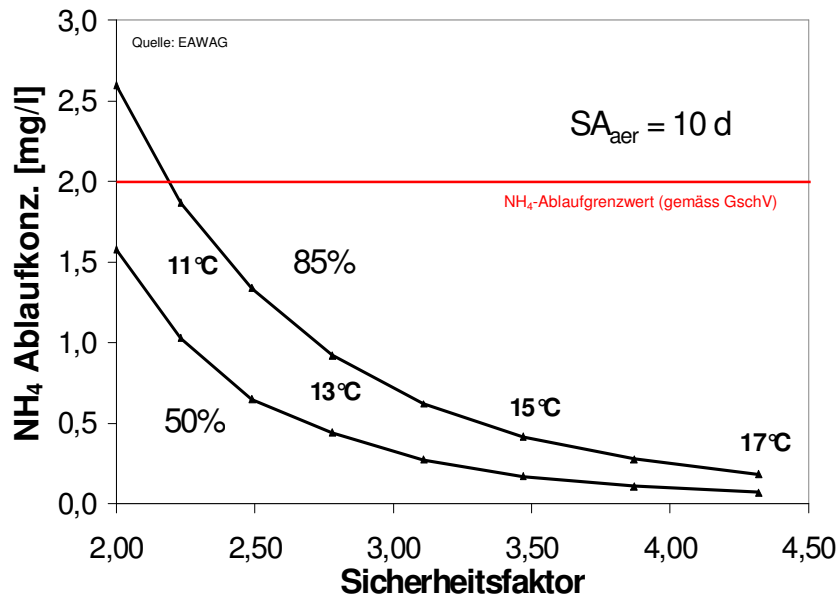


Abb. 13: NH₄-Konzentration im Ablauf der Nachklärung in Abhängigkeit vom Sicherheitsfaktor SF (50%- und 85%-Lasttag)

Aus dem aeroben Schlammalter SA_{aer} im Winter und den tiefsten Ablauftemperaturen im ARA-Betrieb kann der aktuelle Sicherheitsfaktor SF der Nitrifikation berechnet werden (siehe auch Nomogramm, Abb. 10). Der Einfluss einer Temperaturabsenkung auf die NH₄-Ablaufkonzentration kann nun mit Hilfe von Abb. 13 abgeschätzt werden (Berechnung des neuen SF bei geringerer Temperatur). Im Falle einer deutlichen Überschreitung des Grenzwertes auch für den 50%-Lasttag kann umgekehrt eine maximal zulässige Temperaturabsenkung und daraus die maximal mögliche Wärmeentnahmemenge abgeleitet werden (Berechnung gemäss Beispielen in Abb. 12a, 12b, 12c).

Bei einem aeroben Schlammalter SA_{aer} von 10 Tagen (üblicher Wert) und einer Temperatur von 10°C (in der Schweiz übliche Dimensionierungstemperatur) ergibt sich ein Sicherheitsfaktor SF von 2,0 (gemäss Formel im Nomogramm, Abb. 10), d.h. eine zweifache Sicherheit gegen das Auswaschen der Mikroorganismen (Nitrifikanten). Trotzdem wird dabei gemäss Abb. 13 der in der Gewässerschutzverordnung (GschV) vorgeschriebene NH₄-Ablaufgrenzwert von 2,0 mg/l für ARA mit Nitrifikation leicht überschritten (der Grenzwert kann für einzelne ARA oder Gemeinden tiefer festgelegt werden). Der Grenzwert darf gemäss GschV an höchstens 10-20% der Tage eines Jahres (je nach ARA-Grösse) überschritten werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass der 85%-Lasttag und eine tiefe Temperatur von 10°C nur sehr selten zusammenfallen, und dass eine Grenzwertüberschreitung demnach in weniger als 5% der Tage eines Jahres vorkommt. Basierend auf einer Summenhäufigkeitskurve von NH₄-Ablaufmesswerten kann mit Hilfe der Abb. 13 die Summenhäufigkeitskurve abgeschätzt werden, die nach einer Temperaturabsenkung zu erwarten ist. Hier wird erneut deutlich, dass die Auswirkungen einer Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf umso unbedenklicher sind, je grösser die Dimensionierungsreserve einer ARA ist.

Beispiel:

Erhöht man die Wärmetauscherleistung im vorangehenden Beispiel gemäss Abb. 12b auf eine sehr grosse Leistung von $W_A = 500\text{ kW}$, ergibt sich durch die Wärmeentnahme vor der ARA eine Temperaturabsenkung im ARA-Zulauf von $0,6\text{ K}$ ($> 0,5\text{ K}$), d.h. das Abwasser wird von 11°C auf $10,4^\circ\text{C}$ abgekühlt. Die betreffende ARA wird mit einem aeroben Schlammalter von 11 Tagen betrieben. Durch die Abkühlung vermindert sich also SF von $[0,2 \cdot e^{(0,11 \cdot (11-10))}] \cdot 11 = 2,5$ auf $[0,2 \cdot e^{(0,11 \cdot (10,4-10))}] \cdot 11 = 2,3$. Auch mit der Abkühlung kann der NH₄-Ablaufgrenzwert sicher in mehr als 95% der Tage eines Jahres eingehalten werden. Damit ist die Wärmeentnahme aus Sicht der ARA-Betriebssicherheit zulässig.

9. Einfluss des Abwassers auf die Verschmutzung der Wärmetauscher

Von der EAWAG wurde im Rahmen des BFE-Projektes [1] auch die Biofilmbildung auf Wärmetauschern in einem Labor-Prüfstand eingehend untersucht (WT wurden mit vorgeklärtem kommunalem Abwasser überströmt). Die Resultate und Schlussfolgerungen dieser Untersuchungen werden hier zusammengefasst.

Biofilmbildung

Die Wärmeübertragungsleistung eines Wärmetauschers wird durch Biofilmbildung auf der Wärmetauscheroberfläche vermindert [1]. Dieser Zusammenhang kann durch den sogenannten „Fouling-Factor“ f [$\text{W/m}^2\text{K}$] quantifiziert werden. Dessen Kehrwert $1/f$ [$\text{m}^2\text{K/W}$] stellt einen zusätzlichen Widerstand für den Wärmedurchgang dar (der Wärmedurchgangskoeffizient k [$\text{W/m}^2\text{K}$] und damit die Leistung eines Wärmetauschers wird entsprechend vermindert) und ist ein Mass für die Biofilmbildung auf dem Wärmetauscher (Abb. 14).

Beispiel (s. Abb. 14): Bei einem mittleren Fouling-Factor ($1/f = 0,003 \text{ m}^2\text{K/W}$) vermindert sich die Wärmeübertragungsleistung um rund 50%.

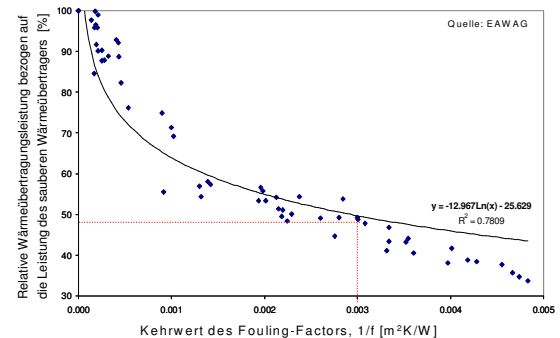


Abb. 14: Gemessene relative Wärmeübertragungsleistung in Funktion des Kehrwerts des Fouling-Factors

Schlussfolgerung: Die Biofilmbildung hat einen starken Einfluss auf die Wärmeleistung eines Wärmetauschers. Da die Bildung eines Biofilms in einer Kanalisation nicht verhindert werden kann und immer auftritt (abhängig v. a. von Abwasserzusammensetzung und hydraulischen Bedingungen), wurden mögliche Massnahmen zur Verminderung der Biofilmbildung untersucht.

Bearbeitung und Beschichtung der Wärmetauscheroberfläche

Auf dem Prüfstand wurden leicht austauschbare Testplättchen aus Stahlblech (gängiges Material heutiger Wärmetauscher) gleicher Grösse, aber mit unterschiedlicher Oberflächenbehandlung (diamantpoliert, elektropoliert, kaltgewalzt, geschliffen, etc.) und unterschiedlichen Beschichtungsarten getestet [1]. Dazu wurde der Biofilm einige Tage lang wachsen gelassen. Nach einer kurzzeitigen Erhöhung der Durchflussgeschwindigkeit (Abschwemmung des Biofilms) wurde der verbleibende Biofilm analysiert (Abb. 15).

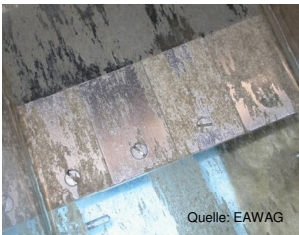


Abb. 15: montierte Testplättchen nach Abschwemmung des Biofilms

Resultate: Auf kaltgewalztem Stahlblech blieb am wenigsten Biofilm haften. Bei den verschiedenen Beschichtungen wurde die Bildung sehr unterschiedlicher Biofilmmarten beobachtet. Im Vergleich zum unbeschichteten kaltgewalzten Blech schnitten einige Beschichtungen (z.B. Kunststoffe) teilweise leicht, aber nicht signifikant besser ab.

Schlussfolgerung: Beschichtungen können die Verschmutzung eines Wärmetauschers reduzieren. Weil aber die Leistungseinbuße des Wärmetauschers durch die Beschichtungen sowie der Abrieb der Beschichtungen durch feste Stoffe im Abwasser noch nicht untersucht wurde, können heute noch keine idealen Beschichtungsarten vorgeschlagen werden.

Variation der Fliessgeschwindigkeit und periodische Spülung

Der Effekt einer Spülung des Wärmetauschers wurde anhand aneinandergereihter Serien von Versuchen mit zwischenzeitlicher Handreinigung des Wärmetauschers (Beginn einer neuen Serie) untersucht. Dabei wurde die Wärmetauscherleistung nach einigen Tagen jeweils vor und nach der Spülung gemessen und mit der Leistung des unverschmutzten Wärmetauschers verglichen (Abb. 16).

Resultate: Im Schnitt ist die Wärmetauscherleistung nach der Spülung um 23 % höher als vorher. Eine Regeneration der Wärmetauscherleistung war eindeutig in allen Fällen zu beobachten, nahm jedoch mit der Zeit ab. Störungen des Strömungsfeldes auf der Wärmetauscheroberfläche (Einbauten, Stege) führen zu lokal erhöhter Turbulenz und können dadurch den Effekt einer Spülung auf die Biofilmabschwemmung noch verstärken [1].

Schlussfolgerung: Die Abschwemmung des Biofilms durch eine kurzzeitige Erhöhung der Durchflussmenge (Spülung) ist eine effektive Massnahme zur Regeneration der Leistung eines verschmutzten Wärmetauschers. Die Wärmetauscherleistung wird aufgrund der Biofilmbildung im Schnitt auf 60% reduziert und durch periodische Spülung wieder auf 80% gesteigert.

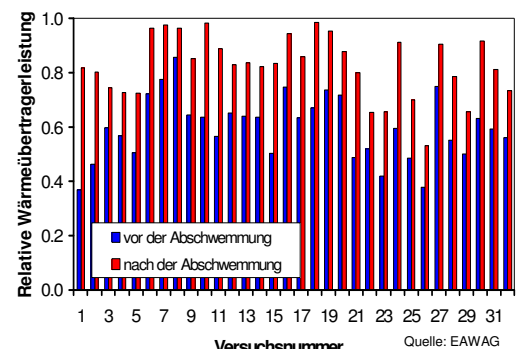


Abb. 16: Relative Wärmetauscherleistung vor und nach Abschwemmung (Spülung) des Biofilms

[1] Wanner O., Delavy P., Eugster J., Panagiotidis V., Siegrist H. (EAWAG): Wärmerückgewinnung aus Abwassersystemen, BFE-Projekt Nr. 44177, Schlussbericht, www.waermepumpe.ch (Forschung/Entwicklung - Berichte - Wärmequellen - Abwasser), Dübendorf 2004

10. Bedingungen für den Einbau von Wärmetauschern in Kanalisationen

Der Einbau von Wärmetauschern in bestehende Kanalisationen ist grundsätzlich machbar, es müssen dabei aber gewisse Bedingungen eingehalten werden. Muss der betreffende Kanalisationsabschnitt ohnehin saniert werden, ergeben sich Synergien.

Wärmetauscher können an die geometrischen Verhältnisse eines bestimmten Kanalabschnittes angepasst werden. Verschiedene mögliche Systeme von Wärmetauschern für alle in der Praxis vorkommenden Kanalquerschnittsprofile (Rechteck-, Kreis-, Ovalprofil) werden in Kapitel 11 (Seiten 14-15) beschrieben. Bei einem Kanalisations-Neubau kann das Wärmetauscherelement direkt in vorgefertigte Kanalelemente eingebaut werden. Dabei wird die Planung und Dimensionierung des Wärmetauschers bereits bei mit der Kanalisationsplanung koordiniert.

Falls der Einbau des Wärmetauschers in eine bestehende Kanalisation nicht einfach realisierbar ist, kann ein Bypass mit integriertem Wärmetauscher parallel zur bestehenden Kanalisation erstellt werden. Dabei sind bei der Erstellung auch keine Provisorien nötig.

Damit ein Wärmetauscher in einen bestehenden Kanalisationsabschnitt eingebaut werden kann, müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein (die Bedingungen gelten sinngemäss auch für neu erstellte Kanalisationsabschnitte mit integrierten Wärmetauschern):

- Die erforderliche Kapazität des betreffenden Kanalisationsabschnitts darf durch den Wärmetauscher und die zugehörigen Einbauten nicht massgeblich vermindert werden. Die maximale Durchflussmenge gemäss Auslegung der Kanalisation sowie allfälliger Reserven nach Generellem Entwässerungsplan GEP muss trotz Wärmetauscher und Einbauten abfliessen können.
- Die allgemeine Funktionsfähigkeit des Abwasserkanals darf durch Einbau, Betrieb und Unterhalt der Wärmenutzungsanlage nicht massgebend beeinträchtigt werden.
- Der gesamte Kanalisationsbereich muss auch mit eingebautem Wärmetauscher unter Einhaltung der gesetzlichen Sicherheitsvorschriften weiterhin zugänglich sein. Wartung und Unterhalt des gesamten Wärmetauschers müssen an jeder Stelle möglich sein. Nötigenfalls sind geeignete Montageöffnungen einzuplanen und zu erstellen.
- Der Wärmetauscher wird entweder unter Berücksichtigung der Leistungsverminderung durch Biofilmbildung (s. Kapitel 9) grösser dimensioniert, oder muss im anderen Fall je nach Verschmutzung (abhängig von der jeweiligen Abwasserzusammensetzung und den hydraulischen Verhältnissen) periodisch gereinigt werden (je nachdem durch eine geeignete Spüleinrichtung oder durch eine spezialisierte Reinigungsfirma, s. Kapitel 12).
- Routinemässige Spül- und Reinigungsarbeiten in der Kanalisation dürfen durch den Wärmetauscher und seine Einbauten nicht verhindert werden, oder es muss ein spezieller Reinigungsvorgang für den betreffenden Kanalisationsabschnitt definiert und vereinbart werden. Auch Instandstellungs- und Erneuerungsarbeiten in der Kanalisation müssen weiterhin möglich sein. Dabei müssen alle bestehenden Sicherheits- und Schutzvorschriften eingehalten werden.
- Die bisherige Praxis-Erfahrung zeigt, dass die obigen Bedingungen in der Regel von bestehenden Kanalisationen mit einem minimalen Innendurchmesser von 800 mm erfüllt werden können. In diesen Kanalisationen können einerseits die Wärmetauscher sicher eingebaut und gewartet werden, andererseits verfügen sie in der Regel über ein ausreichendes Wärmeangebot im Abwasser.
- Der Kanalabschnitt mit dem Wärmetauscher sollte möglichst gerade sein und keine Kurven aufweisen (möglichst einfache Fabrikations- und Montagebedingungen für den Wärmetauscher). Damit sind gerade Kanalabschnitte von 20 bis 150 m Länge nötig, je nach Grösse der Anlage.
- Während der Einbauzeit eines Wärmetauschers muss die Möglichkeit bestehen, das anfallende Abwasser abzuleiten. Deshalb müssen geeignete Provisorien möglich sein (s. Kapitel 12).

Die obenerwähnten Bedingungen müssen in einer Vereinbarung oder einem Vertrag zwischen dem Betreiber der Abwasserwärmenutzungsanlage und dem Betreiber der Kanalisation geregelt werden (s. Kapitel 14).

11. Wärmetauscher-Systeme

Ein zentrales Element einer Abwasserwärmenutzungsanlage ist der Wärmetauscher (WT) in der Kanalisation. Er ist das Verbindungsglied zwischen der Wärmequelle Abwasser und der Wärmepumpe, die die Abwasserwärme schliesslich in nutzbare Heizwärme umwandelt (s. Kapitel 2).

Die Wärmeübertragungsleistung W_A [kW] des WT ist abhängig von der wärmeaustauschwirksamen WT-Oberfläche A_{WT} [m²], der mittleren Temperaturdifferenz ΔT [K] zwischen WT-Medium (Sekundärkreislauf) und Abwasser sowie dem Wärmedurchgangskoeffizienten k [kW/m²K] des WT (Formel 3).

$$W_A = k \cdot A_{WT} \cdot \Delta T$$

Formel 3

Der Wärmedurchgangskoeffizient k ist ein Mass für die Wärmeleitfähigkeit eines WT und ist vom WT-Typ und den Strömungsverhältnissen der am Wärmeaustausch beteiligten Medien (Abwasser und WT-Medium) abhängig. Die systemspezifischen, mittleren Werte für k sind von den WT-Herstellern anzugeben. Sie basieren auf Literaturwerten oder Erfahrungswerten. Die theoretischen k -Werte von WT mit Edelstahl-Oberflächen betragen je nach System ca. 0,6-0,9 kW/m²K. Gute Werte erreichen Systeme, in denen das WT-Medium im Gegenstrom zum Abwasser zirkuliert.

Bei der Auslegung von WT ergibt sich bei vorgegebener WT-Leistung W_A die benötigte WT-Oberfläche aufgrund der möglichen Temperaturdifferenz. Durch Biofilmbildung auf der WT-Oberfläche kann der k -Wert und damit die WT-Leistung stark reduziert werden (s. Kapitel 9), was bei der Auslegung von WT berücksichtigt werden muss. Bei mittleren praktikablen ΔT von 3 bis 4 K und unter Berücksichtigung der Verschmutzung ergeben sich spezifische WT-Leistungen von 2 bis 4 kW pro m² WT-Oberfläche (je nach Verschmutzung und vorgesehener Reinigung).

Die heute im Abwasser eingesetzten WT-Systeme bestehen aus rostfreiem Chromnickel-Stahl und verfügen über glatte Oberflächen (Verhinderung von Ablagerungen). Sie sind meist kompakt und modular aufgebaut, so dass je nach Wärmebedarf einzelne Module hinzugefügt und einfach in die Kanalisation eingebracht werden können. Vor- und Rücklaufleitungen bestehen meist aus PE und werden im Kanaldeckensbereich eingebaut. Die Einbauten dürfen die Abflusskapazität in der Kanalisation nicht relevant vermindern. Möglichst kurze Vor- und Rücklaufleitungen sind von Vorteil, um den Druckverlust im Wärmeübertragungskreislauf und damit die benötigte Pumpenleistung zu minimieren.

Über die Lebensdauer von Abwasser-WT liegen an einem konkreten Fall Langzeiterfahrungen vor: Der WT in Basel-Bachgraben (s. Seite 5) arbeitet seit 20 Jahren störungsfrei und dürfte weitere 20-30 Jahre problemlos funktionieren. Bei gutem Unterhalt (regelmässige Kontrolle und Reinigung, notwendige Reparaturen kleiner Schäden) kann deshalb für WT mit einer mittleren Lebensdauer von 30-50 Jahren gerechnet werden. Bei den zugehörigen Wärmepumpen kann gemäss neusten Erkenntnissen eine Lebensdauer von 20 Jahren angenommen werden [3].

Es gibt heute auf dem Markt geeignete WT-Systeme für alle Kanalförmigkeiten (Rechtecks-, Kreis- oder Oval-Profile), wie die Beispiele in den folgenden Abbildungen zeigen (Abb. 17 bis 21):



Abb. 17: Rinnenwärmetauscher für Kanäle mit Rechteckprofil
Vor- und Rücklaufleitungen werden ausserhalb des Kanals geführt. Anschlüsse werden für die Verbesserung der Hydraulik mit Verschaltungen ausgekleidet. **Vorteile:** Der WT ist auch bei geringen Abflussmengen komplett überströmt, kein Querschnittsverlust. (eingesetzt in Zwingen)

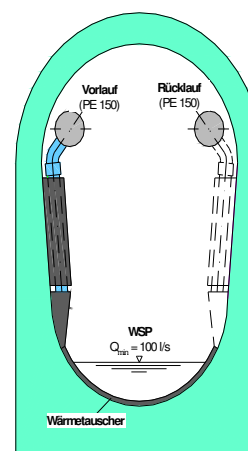


Abb. 18: Rinnenwärmetauscher für Kanäle mit Ovalprofil
Vor- und Rücklaufleitungen inkl. Anschlüsse werden im Deckenbereich des Kanals montiert (mit Abweisblechen für die Verbesserung der hydraulischen Verhältnisse). **Vorteil:** Nur geringer Querschnittsverlust. (eingesetzt in Binningen)

[3] Erb M., Hubacher P., Ehrbar M.: „Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen FAWA 1996-2003 - Schlussbericht 2004“, im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE), ENET-Publikation Nr. 240016



Abb. 19: Rinnenwärmetauscher für Kanäle mit Kreisprofil

Der WT wird als Trockenwetterrinne inkl. Vor- und Rücklaufleitungen eingegossen. Einsetzbar ab Kanaldurchmessern von 1 m. Vorteil: Hydraulisch günstig. Nachteil: Relativ grosser Querschnittsverlust. (eingesetzt in Zürich-Wipkingen)

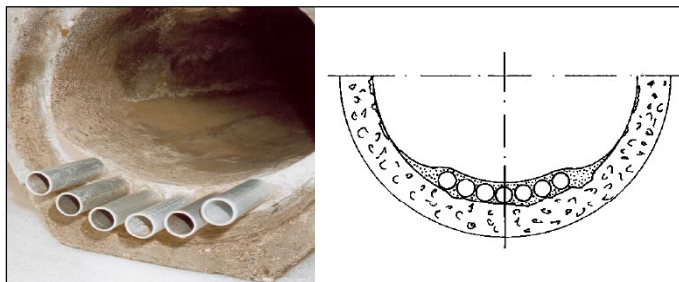


Abb. 20: Rohrwärmetauscher

Der WT besteht aus Chromstahlrohren, die mit Spezialmörtel direkt in die Kanalsohle vergossen werden. Vorteil: Nur kleiner Querschnittsverlust. Nachteil: Zusätzlicher Wärmedurchgangswiderstand durch Mörtel, das Abwasser ist nicht direkt mit dem WT in Berührung, was einen schlechteren Wärmedurchgang zur Folge hat.



Abb. 21: Rinnenwärmetauscher als vorgefertigte Kanalisationselemente

Der WT inkl. Vor- und Rücklaufleitungen mit Anschlüssen werden im Werk ins Rohr integriert.

Vorteile: Keinerlei Abflussbehinderung, dimensionierter Rohrquerschnitt, bei vollgefüllten Rohren (z.B. Abzweigung eines Teil-Abwasserstroms) ist es mit diesem System auch möglich, den Wärmetauscher über den ganzen inneren Rohrumfang auszuführen. Nachteil: Einsetzbar nur bei Kanalisations-Neubauten. (eingesetzt in Winterthur-Wülflingen)

12. Praxistips für Einbau, Betrieb, Wartung und Unterhalt von Wärmetauschern

Beim Einbau eines WT in eine bestehende Kanalisation muss vorab sichergestellt werden, dass das anfallende Abwasser auch während der Bauphase abfliessen kann. Deshalb sind geeignete **Provisorien** oder Umleitungen zu erstellen. Da die Einbauzeit für den WT nur zwischen 1-10 Tagen dauert (je nach Grösse des WT), sind möglichst einfache, an die örtlichen Gegebenheiten angepasste Lösungen anzustreben. Bei kleinen Kanälen mit geringem Abfluss können Pumpleitungen eingesetzt werden, bei breiten Kanälen mit grossen Abflussmengen kann der Kanal mit einer abgedichteten Trennwand aufgeteilt werden.

Sowohl für den Einbau als auch für Wartung und Unterhaltsarbeiten während des Betriebes muss für eine einfache und **sichere Zugänglichkeit** zum WT sowie den Vor- und Rücklaufleitungen gesorgt werden. Bei Neubauten sollten spezielle Montageöffnungen vorgesehen werden. Auch beim Einbau in bestehende Kanäle sollten gegebenenfalls spezielle Montageöffnungen erstellt werden.

Muss ein Kanalisationsabschnitt sowieso im Rahmen eines GEP erneuert oder saniert werden, kann ein WT-Einbau im Rahmen dieser **Kanalsanierung** besonders kostengünstig erfolgen (Kostenteiler zwischen Kanalisationsbetreiber und Wärmenutzer).

Auf Seite 12 wurde der Effekt der **Spülung** oder **Reinigung** eines WT auf dessen Leistung beschrieben. Eine kontinuierliche Spülvorrichtung vor dem Kanalisationsabschnitt mit dem WT kann die Verschmutzung des WT bzw. die WT-Leistung verbessern. Dafür gibt es auf dem Markt geeignete Systeme sowohl für kleine als auch für grössere Kanäle. Dabei wird die Technik der Schwallspülung mit Abwasser (ohne Fremdenergiebedarf) angewendet (Abb. 22 und 23). Es kann auch automatisiert mit Trink- oder Brauchwasser gespült werden oder eine periodische Reinigung durch eine spezialisierte Kanalreinigungsfirma durchgeführt werden. Alternativ zur periodischen Reinigung kann die Verschmutzung des WT in Kauf genommen und auf eine Reinigung verzichtet werden. Dabei muss der WT mit entsprechenden Sicherheiten grösser ausgelegt werden. Schlussendlich hilft ein Kostenvergleich, die optimale Lösung zu finden.



Abb. 22: automatische Schwallspülung für grosse Kanäle



Abb. 23: automatische Schwallspülung für kleine Kanäle

13. Contracting: neue Finanzierungsform für Abwasserwärmenutzung

Häufig wurden Abwasserwärmenutzungsanlagen in der Schweiz im sogenannten Contracting realisiert. Dabei werden Planung, Finanzierung, Erstellung, Betrieb und Unterhalt sowie Administration (Heizkostenabrechnung etc.) komplett vom Contractor (häufig ein Energieversorgungsunternehmen) übernommen.

Contracting bedeutet Heizen ohne Kostenrisiko: Der Wärmepreis wird in einem langfristigem Vertrag vereinbart, wodurch die Kosten für Raumheizung und Warmwasser kalkulierbarer und transparenter werden. Der Kunde bezahlt für die effektiv bezogene Wärme. Alle Aufwendungen für Investition, Betrieb und Unterhalt sind im Wärmepreis enthalten.

Contracting bedeutet auch technisch langfristige Sicherheit bei der Wärmeversorgung: Die komplette Wärmeversorgungsanlage wird von Fachleuten professionell geplant, gebaut, betrieben, unterhalten und finanziert. Zudem wird die Wärme mit den drei unabhängigen Energieträgern Abwasser, Elektrizität und fossile Brennstoffe (Gas oder Öl bei bivalenter Auslegung) erzeugt. Somit besteht keine einseitige Abhängigkeit in Bezug auf Energie-Reserven und Energiepreise.

Ein fortschrittliches Energiekonzept - wie die Wärmenutzung aus Abwasser - kann auch die Attraktivität und damit den Wert einer Liegenschaft erhöhen. Gemäss Untersuchungen legen Bauherren denn auch immer mehr Wert auf ökologische Aspekte.

ARA- und Kanalisationsbetreiber können in Contracting-Verträge miteinbezogen werden, indem sie z. B. Wartung und Unterhalt der betreffenden Anlagen in der Kanalisation oder auf der ARA nach genauen Vorgaben und gegen Entschädigung des Contractors übernehmen und in die bestehenden routinemässigen Wartungsabläufe integrieren. Der Einbezug des ARA- und Kanalisationsbetreiber sollte in jedem Fall geregelt werden (s. Kapitel 14).

14. Absprache zwischen Betreibern von Abwasserwärmenutzungsanlagen und Betreibern von ARA und Kanalisationen

Eine frühzeitige gegenseitige Absprache des Betreibers der Abwasserwärmenutzungsanlage mit den zuständigen Ämtern für ARA und Kanalisation ist bei allen Projektphasen (Planung, Bau, Betrieb, Unterhalt, Wartung und Erneuerung) von zentraler Bedeutung für den Erfolg eines Abwasserwärmenutzungs-Projektes und das gute Einverständnis zwischen Betreibern von Abwasserwärmenutzungsanlagen und ARA bzw. Kanalisationen.

Zwischen einem ARA- bzw. Kanalisationsbetreiber und einem Abwasserwärmenutzer (öffentlicher oder privater Bauherr bzw. Contractor) sollten die folgenden Punkte vertraglich geregelt werden (Mustervereinbarung s. Kasten auf Seite 17):

- Die erforderliche Abflusskapazität (gemäss Grundlagen wie GEP, GKP, Ausbauprojekte) des betreffenden Kanalisationsabschnitts muss auch bei eingebautem Wärmetauscher gewährleistet sein.
- Festlegung der maximalen Wärmetauscherleistung, d. h. der maximal zu entziehenden Wärmemenge aus dem Abwasser des betreffenden Kanalisationsabschnitts. Der begrenzende Faktor dabei ist die maximal zulässige Abkühlung des Abwassers im ARA-Zulauf (vgl. Kapitel 7, 8).
- Die Allgemeine Funktionsfähigkeit der Kanalisation darf durch Einbau, Betrieb und Unterhalt der Wärmenutzungsanlage, insbesondere den Wärmetauscher, nicht massgebend beeinträchtigt werden.
- Definierung der Zuständigkeiten und Abläufe für Einbau, Kontrolle, Wartung und gegebenenfalls periodische Reinigung.
- Pflichtenheft für Wartungsarbeiten (Festlegung von Wartungsöffnungen, zu reinigenden Objekten, Hilfsmitteln, etc.).
- Sicherheits- und Schutzmassnahmen
- Besitzverhältnisse, Entschädigungen, Gebühren und Schadens- bzw. Haftungsregelungen
- Qualitätssicherung (periodische Überprüfung der Leistungserbringung der Gesamtanlage, insbesondere des Wärmetauschers)
- Ausserbetriebnahme der Wärmenutzungsanlage (Rückbau)

VEREINBARUNG ÜBER DIE ABWASSERWÄRMENUTZUNG AUS DER KANALISATION

zwischen	Gemeindebetriebe Musterdorf Adresse (Eigentümer und Betreiber Kanalnetz) in der Folge GBM genannt	und	Wärmeversorgung aus Abwasser AG Adresse (Abwasserwärmenutzer) in der Folge WVA genannt
----------	--	-----	---

1 Zweck der Vereinbarung

- Die vorliegende Vereinbarung regelt die Bedingungen und Anforderungen, die sich aus Bau, Betrieb, Wartung und Unterhalt der Abwasserwärmenutzungsanlage im Kanalisationsnetz der Gemeinde Musterdorf ergeben.

2 Grundsätze

- Die Nutzung der Wärme im Abwasser zur umweltfreundlichen Beheizung von Gebäuden wird grundsätzlich unterstützt.
- Der für den Einbau der Abwärmenutzungsanlage vorgesehene Abwasserkanal ist und bleibt im Eigentum der GBM.
- Der WVA wird der Kanalisationsabschnitt vom Schacht Nr. 184 bis Schacht Nr. 188 (Eiprofil) zum Einbau und Betrieb der Abwasserwärmenutzung (Wärmetauscher-Elemente und Verrohrung) zur Verfügung gestellt. Das Kanalteilstück wird ohne Zeitbeschränkung zur Nutzung zur Verfügung gestellt.
- Der Einbau und Betrieb der Wärmetauscher-Elemente (WT-Elemente) in der Kanalisation wird genehmigt. Alle notwendigen Aufwendungen, die den GBM im Betrieb und Unterhalt der Abwasserleitung durch die WT-Elemente entstehen (Verlegen bei Reparaturen oder Ersatz der Leitung etc.) gehen zu Lasten der WVA.
- Bei Ausserbetriebnahme der Kanalisation oder Änderung der Funktionsweise der Kanalisation können keine Entschädigungsansprüche von der WVA gegenüber den GBM geltend gemacht werden, auch wenn heute mit einem mindestens 40-jährigen Betrieb dieses Kanalisationsabschnittes mit entsprechendem Abwasseranfall gerechnet wird.
- Die WT-Elemente bleiben im Eigentum und der Verantwortung der WVA. Die WVA kommt für alle Kosten aus Bau, Betrieb, Wartung, Unterhalt und späterer Demontage der Einbauten auf. Bei definitiver Ausserbetriebnahme aus wirtschaftlichen oder technischen Gründen sind alle Einbauten in der Kanalisation innert zünftlicher Frist zu demontieren.

3 Haftung

- Die Haftung für Bau, Betrieb, Wartung und Unterhalt der Abwasserwärmenutzungs-Anlage liegt bei der WVA, ebenso bei Schäden durch Dritte, wenn diese nicht Dritten nachgewiesen werden können.
- Die GBM haften nicht für Schäden am Wärmetauscher inkl. alle Einbauten, die aufgrund der Abwasserzusammensetzung, der Abwassermenge und der Kanalreinigung (Spülungen) entstehen.

4 Spezielle Anforderungen

- Die Einbauarbeiten werden von den GBM begleitet und abgenommen. Die Detailpläne der Massnahmen, die die Kanalisation betreffen, sind den GBM frühzeitig vor Baubeginn zur Genehmigung zuzustellen.
- Alle Teile in der Kanalisation sind in rostfreiem Chromstahl oder Kunststoff auszuführen.
- Ohne Zustimmung der GBM dürfen keine weiteren Einbauten erfolgen.
- Der Kanalisationsabschnitt kann voll gefüllt sein. Die Kanalisation wird zudem regelmässig mit Wasserhochdruck gespült. Die Konstruktion und die Halterungen der WT-Elemente sind dementsprechend auszulegen und zu installieren.
- Die Funktionsfähigkeit der Kanalisation muss garantiert bleiben. Die Einbauten müssen so gestaltet sein, dass keine Faserstoffe, Textilien oder sonstige grobe Teile hängen bleiben und der Abflussquerschnitt nicht zu stark reduziert wird. Ebenfalls dürfen sich beim Spülen der Kanalisation der Spülschlauch und die Hochdruckdüse nicht verklemmen.
- Der Zugang zur Kanalisation über die bestehenden Schächte muss gewährleistet sein.
- Spätere Instandsetzungsarbeiten am Kanalisationsnetz müssen ausführbar sein (die aktuellen Schäden an der Kanalisation werden vorgängig zu Lasten der GBM saniert).
- Der nachträgliche Einbau von Stützen für Hausanschlüsse muss möglich sein.
- Die GBM ist immer vorgängig zu informieren, wenn allfällige Wartungsarbeiten an der Wärmenutzungsanlage in der Kanalisation ausgeführt werden.
- Die Sicherheits- und Schutzvorschriften und entsprechende Massnahmen für die Arbeiten in Kanalisationen sind zu beachten.
- Über den Einbau der WT-Anlage wird durch die WVA eine Fotodokumentation zu Handen der GBM erstellt.
- Nach dem Einbau und der Inbetriebsetzung der Abwasserwärmenutzungsanlage wird eine gemeinsame Medienorientierung durch die GBM und die WVA durchgeführt.

5 Gerichtstand

- *Gerichtstand ist Musterdorf.*

Für den Wärmenutzer (WVA)

....., den

Ort und Datum

.....
Stempel und Unterschrift

Für den Kanaleigentümer und -betreiber (GBM)

....., den

Ort und Datum

.....
Stempel und Unterschrift

15. Rechtliche Grundlagen, Besitzverhältnisse, Haftungsregelungen

Rechtliche Grundlagen

Gesetzliche Grundlagen für die Wärme-Entnahme aus der Umwelt, insbesondere aus Wasser, bilden die schweizerische Umweltschutz- und Gewässerschutzgesetzgebung: Umweltschutzgesetz (USG), Gewässerschutzgesetz (GschG) und Gewässerschutzverordnung (GschV). Die darauf basierenden kantonalen Gewässerschutzgesetze und Gewässerschutzverordnungen bilden die rechtliche Grundlage für die Erteilung einer gewässerschutzrechtlichen Bewilligung für die Wärmeentnahme aus Abwasser.

Für die Entnahme von Wärme aus Abwasser besteht in jedem Fall gewässerschutzrechtliche Bewilligungspflicht. Die Bewilligung wird von der zuständigen kantonalen Behörde erteilt, falls die entsprechenden gesetzlichen Grundlagen sowie die Grenzkriterien für die Wärmeentnahme aus dem Abwasser (s. Kapitel 7) erfüllt sind. Die zuständige Behörde ist je nach Kanton verschieden. Meist handelt es sich dabei um die Gewässerschutzfachstelle.

Die Überprüfung der Einhaltung der Grenzkriterien, d.h. des uneingeschränkten ARA-Betriebes, kann je nach Kanton auch an die Gemeinde, in der sich die betreffende ARA befindet (oder an den entsprechenden ARA-Gemeindeverband) weiterdelegiert werden. Die betreffende ARA muss in jedem Fall informiert und von Anfang an in die Planung einer Abwasserwärmenutzungsanlage einbezogen werden.

Kosten für die Wärmenutzung

Die Wärme aus dem Abwasser ist grundsätzlich ungenutzte Abwärme und deshalb als solche unentgeltlich für jedermann frei zu nutzen. Durch die Nutzung von Abwasserwärme zur Beheizung von Gebäuden werden in der Regel fossile Brennstoffe (Erdöl, Erdgas) substituiert oder bei Elektroheizungen Strom eingespart, was zu erheblichen volkswirtschaftlichen Kosteneinsparungen führt. Abwasserwärmenutzungsanlagen werfen in der Regel keinen Gewinn ab. Um die Verbreitung dieser sinnvollen Technologie nicht zu verhindern, ist es als Kanalisations- und ARA-Betreiber nicht statthaft, eine Entschädigung vom Betreiber der Abwasserwärmenutzungsanlage zu verlangen. Da die Abwasserwärmenutzung im öffentlichen Interesse liegt, wird sie auch von vielen Gemeinden und Städten aktiv, z. T. auch finanziell gefördert.

Besitzverhältnisse

Eine in der Kanalisation erstellte Abwasserwärmenutzungsanlage ist rechtlicher Besitz des Betreibers oder Bauherren der Abwasserwärmenutzungsanlage, während die Kanalisation, in der die Anlage erstellt wurde, im Besitz des Kanalisationsbetreibers (Gemeinde, Gemeindeverband, Stadt) bleibt.

Schadens- bzw. Haftungsregelungen

Vom Betreiber einer Abwasserwärmenutzungsanlage können keine Ansprüche gegenüber dem Kanalisationsbetreiber gemacht werden, falls im Laufe der Zeit kühlere Temperaturen oder geringere Abwassermengen auftreten und somit die Heizleistung vermindert werden kann. Da das Kanalisationsnetz geprägt ist durch eine sehr hohe Langlebigkeit, sind solche Fälle eher selten oder das Risiko kalkulierbar (z. B. Schliessung von angeschlossenen Industriebetrieben mit grossen Abwassermengen).

Jegliche Haftung für Schäden an der Kanalisation, die durch Einbau, Betrieb, Wartung und Unterhalt der Abwasserwärmenutzungsanlage entstehen, muss der Betreiber der Abwasserwärmenutzungsanlage übernehmen. Für Schäden an der Abwasserwärmenutzungsanlage bedingt durch unvorhergesehene Ereignisse wie z. B. Überschwemmungen, Starkregen oder Industriebavarien wird seitens des Kanalisations- oder ARA-Betreibers keine Haftung übernommen. Gegebenenfalls können geeignete Versicherungen abgeschlossen werden.

Bei einer Ausserbetriebnahme der Wärmenutzungsanlage muss der Kanal durch den Betreiber der Abwasserwärmenutzungsanlage auf dessen Kosten soweit möglich und verhältnismässig in den ursprünglichen Zustand zurückversetzt werden (Rückbau).

16. Vorgehen für Betreiber von ARA und Kanalisationen

In der Schweiz werden ARA und Kanalisationen in der Regel durch die entsprechenden Gemeinden (Gemeindebetriebe), Städte (Stadtwerke) oder Zweckverbände betrieben und unterhalten. Da die innovative Abwasserwärmenutzung grundsätzlich von öffentlichem Interesse ist, können die Gemeinden, Städte und Zweckverbände wie folgt vorgehen und die Verbreitung der Abwasserwärmenutzung auf verschiedenen Stufen fördern.

A) Eine aktive Rolle bei der Förderung der Abwasserwärmenutzung spielen

Anstatt nur zu reagieren und eingereichte Abwasserwärmenutzungs-Projekte zu prüfen, können ARA- und Kanalbetreiber bei der Abwasserwärmenutzung selber aktiv werden:

- Abwasserwärme zur Beheizung von gemeindeeigenen Gebäuden prüfen und sinnvoll einsetzen (v. a. bei allen Neubauten und Heizungssanierungen).
- Bei anstehenden Kanalisations-Sanierungen und -Neubauten die Möglichkeiten zur Abwasserwärmenutzung bei umliegenden privaten und öffentlichen Gebäuden prüfen.
- Einbindung der Prüfung von Möglichkeiten zur Abwasserwärmenutzung in die Bearbeitung der kommunalen oder regionalen generellen Entwässerungsplanung (GEP bzw. R-GEP) und darin sinnvolle Standorte für Abwasserwärmenutzung aufzeigen. Die entsprechenden Resultate sollten dann den Bauherren übermittelt und diese zu weiteren Umsetzungsschritten motiviert werden.
- Sofern ein kommunaler Energierichtplan vorhanden ist, sollte er ergänzt und Gebiete zur Abwasserwärmenutzung ausgeschieden werden.
- Potenzial- und Machbarkeitsstudien initialisieren sowie finanziell und materiell (Eigenleistungen, Fach- und Ortskenntnisse) unterstützen.
- Ergänzung bestehender Fernwärmenetze (Temperaturen bis 70 °C) mit Abwasser-Wärmepumpen.
- Möglichkeiten von Contracting prüfen.

B) Prüfung von eingereichten Projekten

Als direkt Beteiligte können ARA- und Kanalisationsbetreiber Projekte, die sich auf ihr Einzugsgebiet beziehen, auf die entsprechenden Einflüsse hin überprüfen:

- Bewilligungspflicht für Abwasserwärmenutzungs-Projekte festlegen.
- Projekte bezüglich Einfluss auf die ARA prüfen und beurteilen (selbst oder durch spezialisierte Fachleute), und falls die Grenzkriterien (s. Kapitel 7) erfüllt sind, bewilligen.
 - Prüfung gemäss dem in Kapitel 8 beschriebenen Vorgehen:
 1. Überprüfen, um wieviel sich die Temperatur im ARA-Zulauf bei einem eingereichten Abwasserwärmenutzungs-Projekt absenkt (nötige Angaben Projekt: Wärmetauscherleistung; nötige Angaben ARA/Kanalisation: Abflussmengen und Temperaturen im Kanalisationsabschnitt mit Wärmetauscher und im ARA-Zulauf).
 2. Einfluss auf den ARA-Betrieb prüfen, falls die Temperatur im ARA-Zulauf in den Wintermonaten Dezember bis Februar unter 10 °C und/oder um mehr als 0,5 K abgekühlt wird (nötige Angaben ARA: aerobes Schlammalter SA_{aer} im Winter, durchschnittliche Ablauftemperatur im Winter und NH_4 -Zulaufkonzentration Mittel/Maximum; Berechnung des Sicherheitsfaktors SF_{Nit} der ARA und Definition der maximal zulässigen Abwasserabkühlung).
- Gegebenenfalls Anpassungen im Projekt verlangen, oder für spezielle Spitzenfälle notwendige Vorkehrungen auf der ARA treffen. Bei bivalenten Anlagen kann im Bedarfsfall auf den Spitzenlast-Heizkessel zurückgegriffen werden. Wenn also z. B. bei Einzelereignissen die Abwassertemperatur zu stark abgekühlt wird und eine weitere Abkühlung nicht tolerierbar ist, muss verlangt werden, dass während dieser Zeit die Abwasser-Wärmepumpe ausgeschaltet wird.
- Die oben beschriebene Überprüfung bei einzureichenden Projekten als Knockout-Kriterium verlangen und eine Bewilligung in jedem Fall nur erteilen, wenn die Bedingungen für einen reibungslosen ARA-Betrieb erfüllt sind.

Argumente für die Abwasserwärmenutzung:

- Abwasser ist eine einheimische, langfristig sichere und erneuerbare Energiequelle.
 - Das Wärmeangebot ist ständig und in grosser Menge verfügbar.
 - Geeignete Abnehmer sind häufig in der Nähe der Wärmequelle zu finden.
- Die Abwasserwärmenutzung ist umweltfreundlich und führt zu einer deutlichen Reduktion der CO₂-Emissionen gegenüber herkömmlichen Heizsystemen.
- Unabhängiger von der Preisentwicklung auf dem Erdöl- und Erdgasmarkt.
- Bei professioneller Planung und Realisierung keine negativen Einflüsse auf Kanalisation und ARA.
- Erprobte Technologie: Praxiserfahrungen sind seit 20 Jahren vorhanden.
- Contractor übernimmt die gesamte Finanzierung der Anlage und ermöglicht professionellen Bau, Betrieb und Unterhalt.
- Abwasser-Wärmepumpe als fortschrittliche Lösung bedeutet Imagegewinn für Bauherr, ARA-/Kanalisationsbetreiber und Gemeinde.

Weitere Informationsbroschüre zum Thema für Bauherren:

„Heizen und Kühlen mit Abwasser - Ratgeber für Bauherrschaften und Gemeinden“

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (BFE)

Auskunft und Vertrieb

Energie in Infrastrukturanlagen

Ernst A. Müller

Lindenhofstrasse 15, 8001 Zürich, Tel. 01 226 30 98, Fax 01 226 30 99

e-mail: mueller@infrastrukturanlagen.ch, www.infrastrukturanlagen.ch