

Energieforschungsprogramm

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

31/01/2017

Projekttitle: Abwasserenergie

Projektnummer: 838716

e!Mission.at - 1. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	1. Ausschreibung e!Mission.at
Projektstart	01/04/2013
Projektende	30/09/2016
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	42 Monate
Projektnehmerin (Institution)	Österreichische Energieagentur (AEA)
Ansprechpartner	DI Franz Zach
Postadresse	1150 Wien, Mariahilfer Straße 136
Telefon	+43 (0)1 586 1524-106
Fax	+43 (0)1 586 1524-340
E-Mail	Franz.zach@energyagency.at
Website	www.energyagency.at

Abwasserenergie

Einbindung der abwassertechnischen Infrastruktur in regionale Energieversorgungskonzepte

AutorInnen:

Österreichische Energieagentur

DI Franz Zach

Universität für Bodenkultur

DI Florian Kretschmer

Prof. Dr. Thomas Ertl

DI Lena Simperler

Prof. Dr. Gernot Stöglehner

DI Georg Neugebauer

Dr. Norbert Weissenbacher

TU Graz

Prof. Dr. Michael Narodoslawsky

DI René Kollmann

InfraWatt

DI Ernst A. Müller

AIT GmbH

DI Andreas Zottl

Ochsner Wärmepumpen GmbH –

Ochsner Energietechnik GmbH

Ing. Gottfried Adelberger

DI Thomas Ciepiela

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Inhaltliche Darstellung	9
3.1	Abwassertechnische Infrastruktur in Österreich	9
3.2	Abwasserenergiepotenziale im räumlichen Kontext	13
3.3	Einsatzmöglichkeiten von Abwasserwärme und deren effiziente Nutzung	17
3.4	Technologien zur thermischen Erschließung von Abwasser	21
3.5	Realisierte Anlagenbeispiele	29
3.6	Abwasserwärmenutzung aus Sicht der Kanal- und Kläranlagenbetreiber	34
3.7	Abwasserwärmenutzung aus rechtlicher Sicht	35
3.8	Fallstudien zur Abwasserenergiegewinnung auf Kläranlagen	37
3.9	Tools zur optimalen Einbindung der Abwasserenergienutzung in regionale Versorgungskonzepte	40
3.10	Erste Schritte zur Realisierung	45
3.11	Abwasserenergienutzung im Kanal – Entscheidungshilfen für Planer und Betreiber	48
3.12	Klärschlammverwertung	52
4	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	53
5	Literaturverzeichnis	54
6	Kontaktdaten	56

2 Einleitung

Abwasser als Energie- und Ressourcenquelle

Die gezielte Ableitung und Behandlung von Abwässern stellen Kernaufgaben der öffentlichen Daseinsvorsorge dar, die der Siedlungshygiene, dem Schutz vor Überflutungen sowie dem Gewässerschutz dienen. Kanalisationen und Kläranlagen nehmen daher eine zentrale Stelle in der kommunalen Infrastruktur ein. Neben der primären Aufgabe der Reinhaltung der Umwelt und speziell der Gewässer ist die abwassertechnische Infrastruktur aber in vielfacher Hinsicht auch energetisch höchst interessant. Die Reinigungsprozesse auf einer Kläranlage erfordern große Mengen an Strom und mitunter auch Wärme, daher zählen Kläranlagen zu den größten kommunalen Energieverbrauchern. Im Abwasser konzentrieren sich aber auch zahlreiche Energieressourcen, die daraus in großer Menge gewonnen werden können.

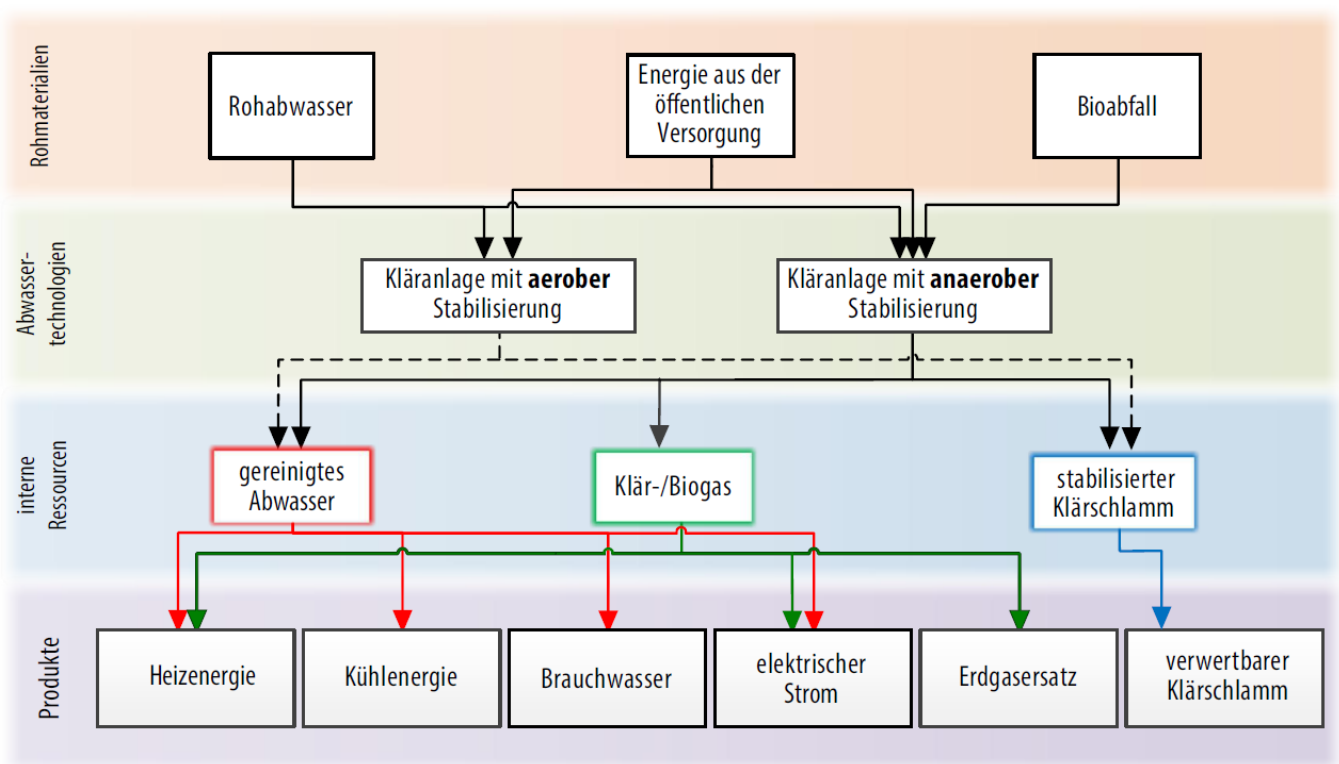


Abbildung 1: Energie- und Ressourcenverbrauch und -bereitstellung auf Kläranlagen (Kretschmer et al. 2015, adaptiert)

Die Zusammenhänge zwischen Verbrauch und Bereitstellung von Energie und Ressourcen auf einer Kläranlage sind in Abbildung 1 dargestellt. Rohabwasser, Energie aus der öffentlichen Versorgung (Strom, Gas etc.) und gegebenenfalls auch biogene Abfälle als Ko-Substrat werden als „Rohmaterialien“ in das System eingebracht. Hinsichtlich der Behandlungsmethoden („Abwassertechnologien“) wird zwischen Kläranlagen mit aerober und solchen mit anaerober Schlammstabilisierung unterschieden. „Interne Ressourcen“ wie gereinigtes Abwasser, Klärgas oder stabilisierter Klärschlamm werden zu „finalen Produkten“ aufbereitet. So können Heiz- und Kühlenergie, gereinigtes Abwasser als

Brauchwasser, elektrischer Strom, aufbereitetes Klärgas sowie verwertbarer Klärschlamm als Ressourcen zur Nutzung auf der Kläranlage oder im Anlagenumfeld bereitgestellt werden.

Auf vielen Kläranlagen ist die Nutzung der **chemischen Energie**, die im Abwasser in Form von Kohlenstoffverbindungen enthalten ist, schon lange gängige Praxis. Bei der anaeroben Schlammstabilisierung (Faulung) entsteht Klärgas, das am Kläranlagenstandort als Energiequelle zur Verfügung steht oder nach entsprechender Aufbereitung als Erdgasersatz dient und zum Fahrzeugantrieb oder für die Einspeisung in ein Erdgasnetz verwendet werden kann. Durch die Verbrennung des Klärgases kann Hochtemperaturwärme und bei Einsatz von Kraft-Wärme-Kopplung auch höherwertiger elektrischer Strom bereitgestellt werden. Die zur Verfügung stehende Gasmenge kann durch das Einbringen von Kofermentaten wie z.B. biogene Abfälle oder Altspeiseöle noch weiter erhöht werden. Beide Energieformen werden in der Regel auch anlagenintern zur Beheizung von Faulung und Betriebsgebäuden bzw. zur Stromversorgung der Anlagenteile genutzt.

Neben der chemischen Energie ist im Abwasser aber auch **thermische Energie** enthalten, die vorrangig aus warmen Abwässern der Haushalte sowie Gewerbe- und Industriebetriebe stammt. Vor allem die im Abwasser enthaltene Wärme stellt eine nennenswerte Energiequelle dar, die in Österreich derzeit aber erst in wenigen Fällen genutzt wird. Die Technologie ist erprobt, wie zahlreiche realisierte Anlagen in der Schweiz und Deutschland zeigen. Diese Art der energetischen Abwassernutzung ist nicht auf den Kläranlagenstandort eingeschränkt, die Wärmeentnahme kann auch im vorgelagerten Kanalnetz oder direkt in Gebäuden erfolgen (vgl. Abbildung 2).

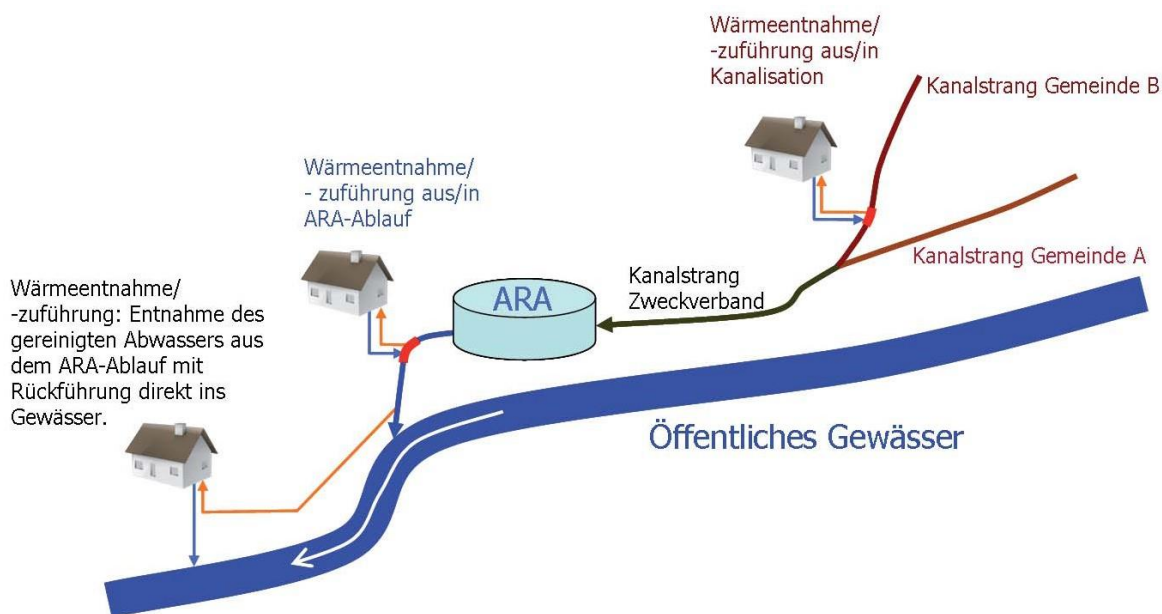


Abbildung 2: Schematische Darstellung von Wärmeentnahmen und -einträgen (Koch et al. 2010)

Neben dem Abwasser selbst stehen auf Kläranlagen auch alternative Energieformen zur Verfügung, die heute schon zumindest teilweise an bestimmten Standorten genutzt werden:

(1) Im Kläranlagenablauf kann die potenzielle Energie der Lage und die kinetische Energie der Bewegung im Abwasser genutzt werden. Mit Turbinen, Wasserkraftschnecken oder Wasserrädern lässt sich elektrische Energie gewinnen.

(2) Kläranlagenstandorte kommen prinzipiell auch für die Nutzung der Windenergie in Frage. Für den Einsatz von Großwindkraftanlagen sind entsprechende Abstandsregelungen zu baulichen Nutzungen einzuhalten. Kleinwindkraftanlagen, für die eine Einhaltung solcher Abstandsregelungen nicht erforderlich ist, können hingegen an allen Standorten errichtet werden, welche die klimatischen Voraussetzungen zur Windkraftnutzung erfüllen.

(3) Auf einer Kläranlage stehen in der Regel auch Flächen zur Sonnenenergienutzung zur Verfügung (z.B. Dachflächen von Betriebsgebäuden, Maschinenhäusern, Pumpstationen etc.). Mittels Photovoltaik oder Solarthermie kann elektrische oder thermische Energie bereitgestellt werden.

2.1 Energiebedarf und Energiebereitstellung auf Kläranlagen

Auf einer Kläranlage wird elektrische Energie für Zulaufpumpwerke und die mechanische Vorreinigung, die mechanisch-biologische Reinigung, die Schlammbehandlung und Infrastruktur benötigt. Thermische Energie wird für die Schlammfäulung und die Infrastruktur (Gebäudeheizung) aufgewendet.

Das Verhältnis von Energiebedarf und Energiebereitstellung ergibt die energetische Eigenbedarfsdeckung einer Kläranlage. Das Ergebnis einer Berechnung für die österreichweit 159 Kläranlagen mit Faulung ist in Tabelle 1 dargestellt. Die Berechnung berücksichtigt zwei Betriebsfälle: (1) Im Durchschnittsbetrieb werden sowohl für den Energiebedarf als auch für die Energiebereitstellung die angegebenen Bandbreiten jeweils gemittelt. (2) Im optimierten Betrieb wird für den elektrischen Energiebedarf der Minimalwert, für den thermischen Energiebedarf der Mittelwert und für die Energiebereitstellung der Maximalwert angesetzt. Zusätzlich wird noch das thermische Potenzial aus Abwasserenergie ausgewiesen.

Tabelle 1: Elektrische und thermische Eigenbedarfsdeckung (Kretschmer et al., 2016, adaptiert)

	Eigenbedarfsdeckung - gerundet [%]		
	elektrische Energie	thermische Energie	
		exklusive Abwasserwärme	inklusive Abwasserwärme
Durchschnittsbetrieb	40	200	630
Optimierter Betrieb	100	270	840

Im Durchschnittsbetrieb können etwa 40 % des elektrischen Energiebedarfs durch Bereitstellung auf der Kläranlage abgedeckt werden. Unter optimalen Betriebsbedingungen erscheint eine bilanztechnische Abdeckung des gesamten Bedarfs an elektrischer Energie jedenfalls möglich. Es kann auch davon ausgegangen werden, dass zumindest temporär ein gewisser Stromüberschuss anfällt. In Hinblick auf die thermische Energie ergibt sich ein vollkommen anderes Bild. Selbst unter durchschnittlichen Betriebsbedingungen steht alleine durch die Faulgasverwertung ein nennenswerter Überschuss an (Hochtemperatur-)Wärme zur Verfügung. Wird darüber hinaus auch noch (Niedertemperatur-)Wärme durch thermische Abwassernutzung gewonnen, ergibt sich ein gewaltiger Wärmeüberschuss, der auch für eine Wärmeversorgung im Kläranlagenumfeld bereitgestellt werden kann. In diesem Bericht wird daher insbesondere die thermische Abwasserenergienutzung detailliert betrachtet.

2.2 So funktioniert die thermische Abwasserenergienutzung

Abwasser fällt in großen Mengen zumeist überall dort an, wo auch Energie benötigt wird. Im Abwasser steckt die Wärmeenergie von Badewasser, Kochen, Spülen aber auch von Produktionsprozessen. Die Abwassertemperatur bewegt sich im Jahresverlauf zwischen 10°C und 20°C. Im Vergleich zu anderen Wärmequellen (Außenluft, Erdreich, Grundwasser) weist Abwasser meist höhere Temperaturen auf und stellt somit eine ideale Wärmequelle für den effizienten Betrieb von Wärmepumpen dar.

Herzstück einer Abwasserenergienutzungsanlage sind ein Wärmeübertrager (Wärmetauscher), mit dem aus dem Abwasser Energie gewonnen wird, und eine Wärmepumpe, welche die thermische Energie zur Beheizung oder Kühlung von Gebäuden nutzbar macht.

Eine thermische Nutzung von Abwasser kann an verschiedenen Orten im Rahmen der abwassertechnischen Infrastruktur erfolgen, indem ungereinigtem (vor der Kläranlage) oder gereinigtem Abwasser (nach der Kläranlage) Wärme entzogen oder zugeführt wird.

2.3 Abwasserwärmenutzung vor der Kläranlage

Die Wärmeentnahme aus ungereinigtem Abwasser kann entweder „inhouse“, also im Gebäude vor der Einleitung in die öffentliche Kanalisation, oder im Kanal erfolgen. Für eine wirtschaftliche Nutzung im Gebäude kann ein Richtwert von 8.000 bis 10.000 Litern Abwassermenge pro Tag angenommen werden (AWEL 2010). Dies entspricht einem durchschnittlichen täglichen Verbrauch von Warm- und Kaltwasser von rund 60 Personen. Diese Form der Wärmenutzung ist vorwiegend im Zusammenhang mit der energetischen Gebäudesanierung zu prüfen und wurde im Rahmen der beiden Forschungsprojekte nicht weiter untersucht.

Die Abwasserenergienutzung im Kanal erfolgt mittels Kanalwärmetauscher. Dies sind spezielle, dem Kanalquerschnitt angepasste Wärmetauscher-Elemente, die direkt in das Kanalrohr verlegt werden. Eine Alternative ist der Bypass, bei dem ein Teilstrom des Abwassers in einen Schacht geleitet wird, vorgesiebt durch einen Wärmetauscher fließt und anschließend wieder in den Kanal zurückgeführt wird. Hier ist der Eingriff in den Kanal geringer, die Anlage ist besser zugänglich, jedoch besteht mehr Platzbedarf außerhalb des Kanals. Diese Wärmetauscher sind heute für kleine Anlagen noch relativ teuer.

Da es bei niedrigen Abwassertemperaturen, z.B. bei Schneeschmelze, zeitweise ein zu geringes Wärmeangebot geben kann, oder im Sommer das Einleiten von Wärme ins Abwasser zu Gebäudekühlzwecken Probleme durch verstärkte Fäulnisprozesse verursachen kann, ist bei der thermischen Nutzung des Kanals im Normalfall ein Zusatzheiz-/kühl-system (Backup-System) vorgesehen.

2.4 Abwasserwärmenutzung im Kläranlagenablauf

Nach der Kläranlage besteht meist ein hohes Abwasseraufkommen. Bedingung für eine Nutzung ist aber, dass sich im Umkreis der Kläranlage, je nach Größe der Anlage und Gelände auch bis zu einigen Kilometern, genügend Energieabnehmer befinden. Beispiele zeigen, dass ein Backup-System nicht unbedingt notwendig ist. Die Abkühlung des gereinigten Abwassers spielt in der Regel keine Rolle, vielmehr kann dies aus Sicht des Gewässerschutzes sogar wünschenswert sein. Werden mehrere Verbraucher von einer Abwasserentnahmestelle versorgt, so kann entweder eine zentrale Wärmepumpe installiert und die diversen AbnehmerInnen mit warmer Fernwärme versorgt werden oder die Abnehmer-

Innen installieren eigene Wärmepumpen und beziehen die Wärme aus dem kalten Fernwärmenetz. Kalte Fernwärme ist kostengünstiger und erlaubt auch größere Distanzen. Zur Wahl des Fernwärmesystems müssen u.a. Platzbedarf, Wärmeverluste und unterschiedliche Temperaturanforderungen berücksichtigt werden.

Mit dieser Broschüre werden die Ergebnisse aus zwei Forschungsprojekten zum Thema Abwasserenergie zusammengefasst. Aufbauend auf eine Darstellung der abwassertechnischen Infrastruktur in Österreich werden Abwasserenergiepotenziale im räumlichen Kontext, Einsatzmöglichkeiten für Abwasserenergie und die Technologie zur Erschließung dieser potenziell umweltfreundlichen Energiequelle aufgezeigt. Anhand von zwei realisierten Anlagenbeispielen werden die Nutzungsmöglichkeiten vor und nach der Kläranlage erläutert. Anschließend werden siedlungswassertechnische und rechtliche Aspekte der Abwasserenergienutzung zusammengefasst. Drei Fallstudien zur Abwasserenergienutzung veranschaulichen potenzielle Nutzungsmöglichkeiten für am Kläranlagenstandort generierte Überschussenergie. In weiterer Folge werden drei strategische Planungstools vorgestellt, mit denen verschiedene Aspekte der Abwasserenergienutzung für eine konkrete Vor-Ort-Situation behandelt werden können. Mit den Ergebnissen der ökologischen Bewertung werden die Potenziale der Abwasserenergienutzung für eine nachhaltige Energieversorgung aufgezeigt. Anschließend werden Handlungsempfehlungen zur thermischen Abwasserenergienutzung mit einer Darstellung von ersten Schritten zur Realisierung und Entscheidungshilfen für Planung und Betrieb solcher Anlagen formuliert und im letzten Kapitel wird auf das Thema Klärschlammverwertung eingegangen.

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Abwassertechnische Infrastruktur in Österreich

3.1.1 Kläranlagen

Der österreichische Kläranlagenbestand umfasst aktuell insgesamt 1.845 Anlagen verschiedener Ausbaugrößen (siehe Tabelle 1). Zwei Drittel der Anlagen weisen eine Ausbaupkapazität von < 2.000 EW auf. Auf die 633 Anlagen mit einer Ausbaupkapazität > 2.000 EW entfallen rund 98 Prozent der Ausbaupkapazität, die österreichweit insgesamt rund 21,8 Mio. EW60 beträgt.

Größenklasse [EW60]	Anzahl ARA	Anteil [%]	ARA	Ausbaupkapazität [EW60]	Anteil [%]	Ausbaupkapazität
51 - 1.999	1 232	66,1		465 362	2,1	
2.000 - 10.000	368	19,7		1 750 001	8,0	
10.001 - 15.000	45	2,4		576 225	2,7	
15.001 - 150.000	201	10,8		8 781 965	40,3	
> 150.000	19	1,0		10 200 867	46,9	
SUMME	1 865	100		21 774 420	100	

Tabelle 2: Vorhandene Ausbaupkapazität der österreichischen Kläranlagen zum Stichtag 31.12.2014 (BMLFUW, 2016)

Neben abwassertechnischen Kriterien wie Ausbaupkapazität und der Art der Schlammstabilisierung (mit bzw. ohne Faulung) kommt der Berücksichtigung des räumlichen Kontextes von Kläranlagen besondere Bedeutung zu. Dadurch kann abgeschätzt werden, ob für das technisch realisierbare Abwasserthermiefpotenzial auch AbnehmerInnen im Kläranlagenumfeld vorhanden sind.

In Abhängigkeit von vorhandenen Landnutzungen (direkt angrenzend im Umkreis von 150 m und im Nahbereich in einem Umkreis von 1 km um den Anlagenstandort) lassen sich drei räumliche Kontexte für Kläranlagen unterscheiden, die anhand der Abbildungen 1 bis 3 veranschaulicht werden:

- 1) Kläranlagen innerhalb der Siedlung
- 2) Siedlungsnahe Kläranlagen
- 3) Siedlungsferne Kläranlagen

Der zugrundeliegende Siedlungsbegriff inkludiert neben der Wohnnutzung auch in den unterschiedlichen Kategorien des Baulandes zulässige Nutzungen wie z.B. produzierende Betriebe, Handel und Dienstleistungen, öffentliche Einrichtungen etc. Auf diese Weise werden auch funktionsgemischte Strukturen erfasst. Diese weisen oftmals günstigere Lastkurven für eine leitungsgebundene Wärmeversorgung auf als reine Wohngebiete.

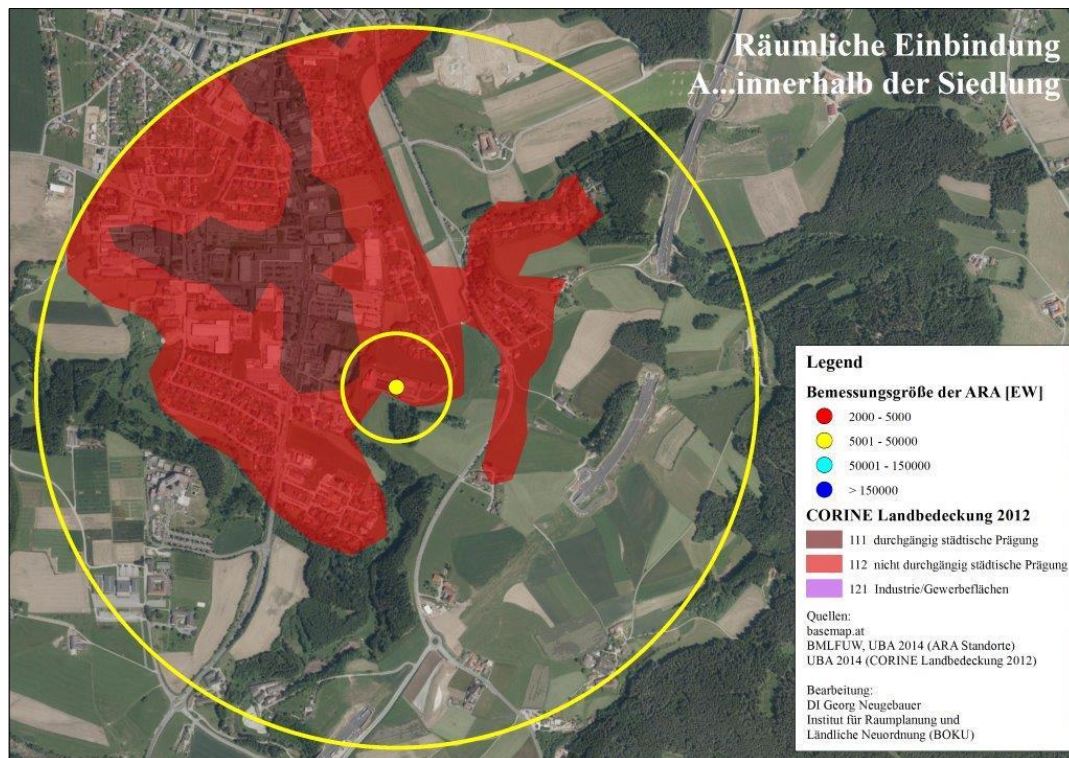


Abbildung 3: Beispiel für einen Kläranlagenstandort im Siedlungsgebiet

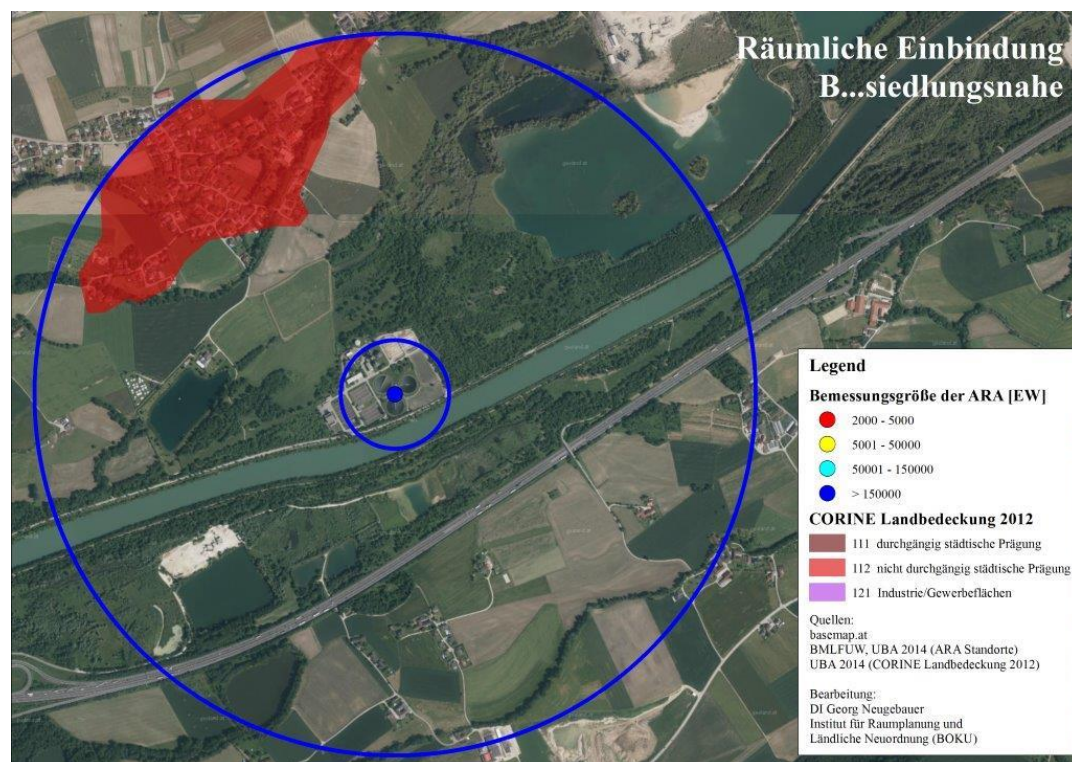


Abbildung 4: Beispiel für einen siedlungsnahen Kläranlagenstandort

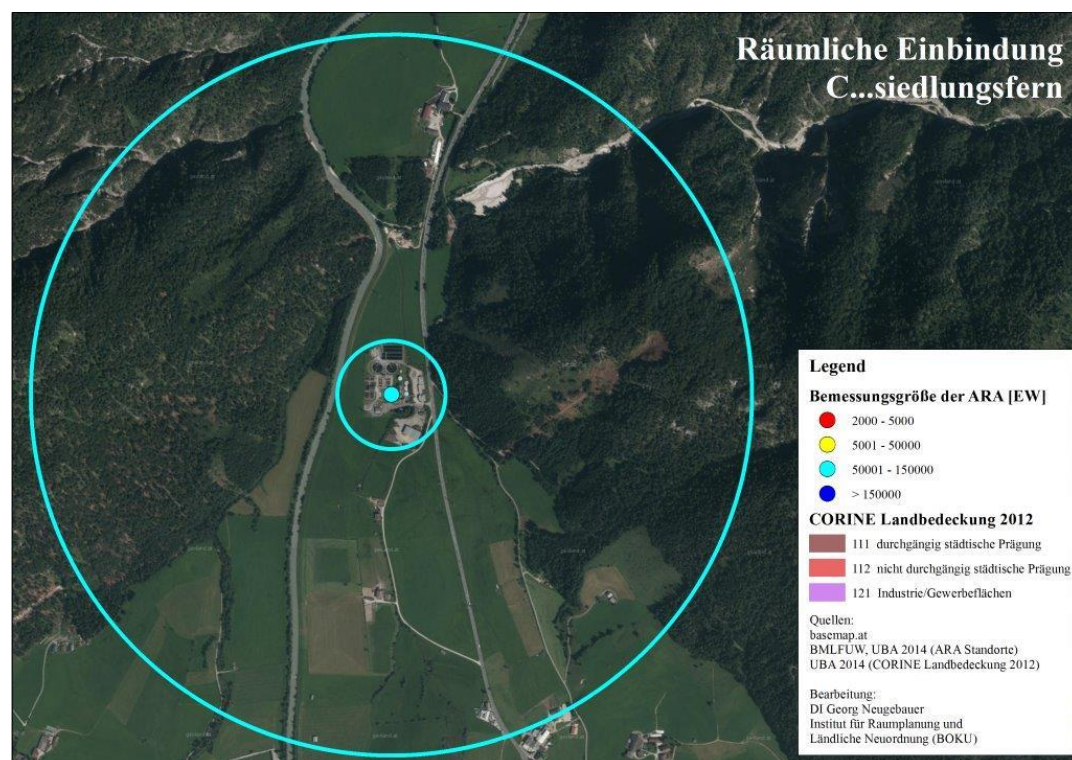


Abbildung 5: Beispiel für einen siedlungsfernen Kläranlagenstandort

Die österreichweite Analyse des Kläranlagenbestands kommt zu dem Ergebnis, dass sich rund zwei Drittel aller Anlagen im Nahbereich von Siedlungen befinden (238 Kläranlagen innerhalb von Siedlungen und 182 siedlungsnahen Kläranlagen). Ein Drittel aller Anlagen (212) kann als siedlungsfern eingestuft werden.

Klärschlammbehandlung	Größenklasse		Räumliche Einbindung						
			A	innerhalb der Siedlung	B	siedlungs-nahe	C	siedlungs-fern	Summe
Aerobe Stabilisierung	0	2.000–5.000 EW	77		74		95		246
	1	5.001–50.000 EW	74		74		68		216
	2	50.001–150.000 EW	3		3		4		10
	3	>150.000 EW	2		0		0		2
		Summe	156		151		167		474
Anaerobe Stabilisierung	0	2.000–5.000 EW	1		0		2		3
	1	5.001–50.000 EW	50		24		30		104
	2	50.001–150.000 EW	22		5		10		37
	3	>150.000 EW	9		2		3		14
		Summe	82		31		45		158
GESAMT			238		182		212		632

Tabelle 3: Typisierung des österreichischen kommunalen Kläranlagenbestands zum Stichtag 31.12.2013 nach abwassertechnischen und raumplanerischen Kriterien (Datengrundlagen: BMLFUW und UBA 2014, Spatzierer 2014).

3.1.2 Kanalisationen

Der österreichweite Kanalbestand ist im Gegensatz zum Kläranlagenbestand in vielen Fällen nicht genau bekannt. Während Daten zum österreichischen Kläranlagenbestand mit einer Ausbaugröße von mindestens 2.000 EW bereits an zentralen Stellen gesammelt werden, ist dies für Kanalisationsanlagen noch nicht der Fall. Informationen über den Anschlussgrad an die öffentliche Kanalisation und die Verteilung von Misch- und Trennsystem stehen auf Bundes- und teilweise auch auf Gemeindeebene der Öffentlichkeit zur Verfügung (BMLFUW, 2014, Land NÖ, 2003 etc.). Weiters gibt es österreichweite Abschätzungen zu vorhandenen Kanalnetzlängen, zur Altersverteilung und dem Zustand sowie zu Rohrmaterialien (Assman et al., 2015, Fenzl, 2011). Informationen über die exakte Lage der Kanalisation, vorhandene Rohrdurchmesser, oder dergleichen sind heute jedoch in der Regel nur auf lokaler Ebene verfügbar, diesbezügliche österreichweite Daten bzw. Hochrechnungen finden sich in der frei verfügbaren Literatur nicht.

In Tabelle 4 werden drei Abschätzungen zur Länge der öffentlichen Kanalisation in Österreich gegenübergestellt. Sie belegt unter anderem, dass die Daten zur österreichischen Kanalisation nicht genau bekannt sind. Laut Fenzl (2011) betrug im Jahr 2007 die Gesamtlänge der öffentlichen Kanalisationen in Österreich rund 82.000 km. Diese Zahl basiert auf einer Hochrechnung aus Daten der Kommunalkredit Public Consulting GmbH und berücksichtigt nur Einzugsgebiete von Kläranlagen größer 50 EW. Neunteufel et al. (2012) schätzen den österreichischen Kanalbestand auf eine Länge von rund 96.200 km, wobei rund 78 % (75.500 km) der Gesamtkanallängen in ländlich strukturierten Gebieten liegt. In beiden Studien entfallen rund 12 % der Kanalnetzlängen dabei auf Regenwasserkanäle, etwa 60 % auf Schmutzwasserkanäle und die restlichen rund 28 % auf Mischwasserkanäle. Assman et al. (2015) definieren ebenfalls den Anteil von Regenwasserkanälen mit rund 12 %, kommen jedoch bei den Schmutzwasserkanälen auf einen Anteil von 62 % und 26 % des Kanalbestands entfallen hier auf die

Mischwasserkanäle. Für die Abwasserwärmenutzung kommen prinzipiell nur die Schmutz- und Mischwasserkanäle in Betracht, da Regenwasserkanäle bei Trockenwetter nicht durchflossen werden.

Tabelle 4: Unterschiedliche Abschätzungen der Längen der öffentlichen Abwasserkanäle in Österreich

Bundesland	Regenwasserkanal [km]	Schmutzwasserkanal [km]	Mischwasserkanal [km]	Gesamtlänge Kanal [km]
Fenzl (2011)	9.573	48.991	23.431	81.995
Neunteufel et al. (2012)	11.300	57.500	27.400	96.200
Assman et al. (2015)	10.896	56.296	23.608	90.800

Da als einzige Bezugsgröße für den Abwasserabfluss in einem System die Einwohnerwerte im Einzugsgebiet zur Verfügung stehen, die den verfügbaren Kläranlagendaten entnommen werden können, sind Aussagen über das Abflussverhalten in den Teilsystemen eines Einzugsgebietes nicht möglich. Das Abflussverhalten in Teilsystemen wäre besonders für die Abschätzung des Wärmepotenzials in diesen erforderlich.

3.2 Abwasserenergiepotenziale im räumlichen Kontext

3.2.1 Kläranlagen

3.2.1.1 Thermische Energie aus Abwasser

Für die Abschätzung des thermischen Energiepotenzials zur Versorgung des Kläranlagenumfeldes spielen der räumliche Kontext und die Anlagengröße eine wesentliche Rolle. Je größer die Ausbaukapazität einer Anlage ist, desto größer ist die Distanz zwischen Kläranlagenstandort und ersten WärmeabnehmerInnen, die sich unter den Gesichtspunkten von Wirtschaftlichkeit und Ressourceneffizienz überwinden lässt. Weitere Einflussgrößen stellen die vorhandene Abwassermenge und das Temperaturniveau dar.

Daten zu den österreichischen Kläranlagen mit einem Bemessungswert größer als 2.000 EW60 für kommunales Abwasser aus Siedlungsgebieten werden als Berichtspflichtige gemäß § 2 Z. 2 EmRegV-OW im Emissionsregister zentral erfasst. Für die räumlichen Analysen zur Potenzialabschätzung für Abwasserthermie-Nutzung in Österreich wurde vom Umweltbundesamt im Auftrag des BMLFUW ein Datensatz zum aktuellen Kläranlagenbestand in Österreich (UBA, BMLFUW 2014) zur Verfügung gestellt.

Bei einem jährlichen österreichweiten Abwasseranfall von rund 1.148 Millionen Kubikmetern ergibt sich unter Berücksichtigung eines 30-%-igen Abzuges für Regenwasserabfluss ein stündlicher Trockenwetterabfluss von etwa 91.760 m³. Die mittlere Abwassertemperatur über die Heizperiode kann mit 10 °C veranschlagt werden. Bei einer Abkühlung auf 5 °C können dem Abwasser somit 5 K entnommen werden. Die spezifische Wärmekapazität kann vergleichbar mit Wasser mit 1,16 kWh/m³*K angenommen werden.

Die Ergebnisse der österreichweiten Potenzialabschätzung sind in Tabelle 5 dargestellt, in der oberen Hälfte die Wärmeleistung und in der unteren Hälfte die thermische Energie. Das Potenzial wurde mit Wärmepumpen mit einer Jahresarbeitszahl von 4.0 ermittelt. Die Ergebnisse sind jeweils in einer Matrix dargestellt, in der vier Kläranlagengrößenklassen zu drei räumlichen Kontexten in Beziehung gesetzt werden und somit die potenzielle Eignung der Kläranlagenstandorte zur Versorgung ihres Umfeldes mit thermischer Energie ersichtlich ist. Nach dem Ampelprinzip kann eine Einstufung in drei Kategorien vorgenommen werden: (1) Kleine Anlagen in großer Entfernung zu möglichen WärmeabnehmerInnen können als „nicht geeignet“ (rot) eingestuft werden. (2) Kleine bis mittlere Anlagen, für die eine Einzelbetrachtung zur Beurteilung der Energieversorgungspotenziale notwendig ist, können als „bedingt geeignet“ (gelb) angesehen werden. (3) Als „geeignet“ eingestuft werden können Anlagen mit mittlerer bis großer Ausbaupotential im oder nahe am Siedlungsraum, die sich mit hoher Wahrscheinlichkeit für eine Wärmeversorgung ihres Umfeldes in Betracht ziehen lassen.

Größenklasse			Räumliche Einbindung						
			A	innerhalb der Siedlung	B	siedlungs- nahe	C	siedlungs- fern	Summe
Wärmeleistung aus Abwasser (MW) (Anzahl ARA)	0	2.000–5.000 EW	8 (78)			7 (74)		8 (97)	23 (249)
	1	5.001–50.000 EW	81 (124)			41 (98)		51 (98)	173 (320)
	2	50.001– 150.000 EW	54 (25)			22 (8)		32 (14)	108 (47)
	3	>150.000 EW	197 (11)			12 (2)		20 (3)	229 (16)
	Summe		340 (238)			82 (182)		111 (212)	533 (632)
	0	2.000–5.000 EW	45 (78)			44 (74)		48 (97)	137 (249)
	1	5.001–50.000 EW	489 (124)			244 (98)		306 (98)	1.039 (320)
Thermische Energie aus Abwasser in (GWh/a) (Anzahl ARA)	2	50.001– 150.000 EW	323 (25)			134 (8)		189 (14)	646 (47)
	3	>150.000 EW	1.180 (11)			69 (2)		121 (3)	1.370 (16)
	Summe		2.037 (238)			491 (182)		664 (212)	3.192 (632)
			geeignet		bedingt geeignet		nicht geeignet		

Tabelle 5: Wärmeleistung (MW) und thermische Energie (GWh/a) aus Abwasser bei einer Abkühlung um 5 Kelvin und 4.500 Volllaststunden (Neugebauer et al. 2015, adaptiert)

In einer Berechnung mit 4.500 Volllaststunden für funktionsgemischte Strukturen steht österreichweit jährlich ein **thermisches Abwasserenergiepotenzial** in der Höhe von **3.144 GWh** an für eine externe Wärmeversorgung geeigneten und bedingt geeigneten Kläranlagenstandorten zur Verfügung. Dieses Potenzial entspricht rund 37 % der Wärmeerzeugung in Heizwerken ohne Kraft-Wärme-Kopplung in Österreich im Jahr 2012 in der Höhe von 8.602 GWh (BMFWF, 2014).

3.2.1.2 Chemische Energie aus Abwasser

Energie aus Klärgas

Auf Kläranlagen mit einer anaeroben Schlammstabilisierung steht mit dem Faulgas eine weitere Energiequelle zur Wärmeerzeugung zur Verfügung. Im Fall von Kraft-Wärme-Kopplung kann neben Wärme auch elektrische Energie bereitgestellt werden. Ausgehend von der tatsächlichen Belastung der Kläranlage kann die thermische Energiebereitstellung durchschnittlich mit rund 30 kWh/EW/a und die elektrische mit rund 15 kWh/EW/a abgeschätzt werden (Lindtner 2008).

Größenklasse		Räumliche Einbindung				Summe
		A	B	C		
		innerhalb der Siedlung	siedlungs- nahe	siedlungs- fern		
Thermische Energie aus Faulgas (MWh/a) (Anzahl ARA)	0	2.000–5.000 EW	96 (1)	0 (0)	193 (2)	289 (3)
	1	5.001– 50.000 EW	33.107 (50)	13.415 (24)	17.319 (30)	63.841 (104)
	2	50.001– 150.000 EW	36.915 (22)	13.420 (5)	14.607 (10)	64.942 (37)
	3	>150.000 EW	77.409 (9)	8.242 (2)	16.349 (3)	102.000 (14)
		Summe	147.527 (82)	35.077 (31)	48.468 (45)	231.072 (158)
	0	2.000–5.000 EW	48 (1)	0 (0)	96 (2)	144 (3)
	1	5.001– 50.000 EW	16.554 (50)	6.708 (24)	8.660 (30)	31.922 (104)
	2	50.001– 150.000 EW	18.458 (22)	6.710 (5)	7.303 (10)	32.471 (37)
	3	>150.000 EW	38.705 (9)	4.121 (2)	8.175 (3)	51.001 (14)
		Summe	73.765 (82)	17.539 (31)	24.234 (45)	115.538 (158)
			geeignet	bedingt geeignet	nicht geeignet	

Tabelle 6: Potenzialabschätzung der spezifischen thermischen und elektrischen Energiebereitstellung aus Faulgas (Neugebauer et al. 2015, adaptiert)

Jährlich steht somit auf den 158 Kläranlagen mit Faulung (Spatzierer 2014) ein thermisches Potenzial von rund 231 GWh zur Verfügung (vgl. Tabelle 6). Rund 80 Prozent dieses Potenzials kann auf Kläranlagen bereitgestellt werden, die aufgrund ihres räumlichen Kontextes für externe Wärmenutzungsmöglichkeiten im Siedlungsraum geeignet erscheinen. Darüber hinaus können jährlich rund 115,5 GWh elektrische Energie bereitgestellt werden, die zur Eigenstromversorgung der Abwasserreinigungsanlagen eingesetzt werden können.

Energie aus Klärschlamm

Im ÖWAV-Positionspapier zum Thema Klärschlamm als Ressource (ÖWAV 2014) wird das energetische Potential der jährlich in Österreich anfallenden Klärschlammmenge von etwa 260.000 Tonnen (Trockensubstanz) mit einem maximal möglichen Energiepotenzial von 4,4 PJ/a (1222 GWh) beziffert. Davon werden allerdings bereits die Hälfte über Klärgas (Faulgas) genutzt. Im Vergleich dazu beträgt der Energieinhalt der jährlich in Österreich anfallenden brennbaren Abfälle etwa 110 PJ/a (30.555 GWh). Wird dieses Energiepotenzial dem österreichischen Endverbrauch (etwas über 1.087 PJ im Jahr 2015) gegenübergestellt, so wird ersichtlich, dass Klärschlamm als Energieträger aus *volkswirtschaftlicher* Sicht nur eine untergeordnete Rolle spielt. Aus *betriebswirtschaftlicher* Sicht auf kommunaler Ebene kann dies jedoch anders sein.

3.2.1.3 Mechanische und solare Energie

Im Kläranlagenablauf kann die potentielle Energie der Lage und die kinetische Energie der Bewegung im Abwasser zur Stromerzeugung genutzt werden. Dabei können sowohl die Fallhöhe als auch die Durchflussrate limitierende Faktoren für die Wasserkraftnutzung darstellen (Gaius-Obaseki, 2010). Für eine wirtschaftliche Nutzung werden in einer deutschen Studie diesbezügliche Mindestanforderungen mit 2 Meter Fallhöhe und 80 l/s Trockenwetterabfluss angegeben (FiW, 2000), was einer Stromproduktion von rund 7 MWh/a entspricht. Die Potenziale können für eine jeweilige Kläranlage einzelfallbezogen ermittelt werden.

Kläranlagenstandorte kommen prinzipiell auch für die Nutzung von Windenergie in Frage, wobei entsprechende Abstandsregelungen zwischen dem Standort der Windkraftanlage und baulichen Nutzungen einzuhalten sind. Für eine Windkraftnutzung mit Großwindkraftanlagen kommen somit vor allem siedlungsferne Kläranlagenstandorte in Betracht. Kleinwindkraftanlagen, für die eine Einhaltung der Abstandsregelungen nicht erforderlich ist, können hingegen an allen Standorten errichtet werden, welche die klimatischen Voraussetzungen zur Windkraftnutzung erfüllen, wobei Kläranlagen weniger an windexponierten Standorten zu finden sind.

Auf einer Kläranlage stehen in der Regel Flächen für die Sonnenenergienutzung zur Verfügung (z.B. Dachflächen von Betriebsgebäuden, Maschinenhäusern, Pumpstationen etc.). In Anlehnung an eine Abschätzung des Solarenergiepotenzials auf wasserwirtschaftlichen Anlagen in Deutschland (DWA 2010) kann mit den in Tabelle 3 zusammengestellten Annahmen ein österreichweites Potenzial in der Höhe von 23.810 MWh/a ermittelt werden. Zusätzliche Flächen für die Sonnenenergienutzung finden sich auch bei Pumpwerken, Speicherbauwerken u. dgl.

Tabelle 7: Abschätzung des solaren Potenzials auf Dachflächen der Kläranlagengebäude (in Anlehnung an DWA 2010)

		ARA	Spez. ARA Fläche	Ausbau- kapazität	ARA Flächen	Nutzung Solar (3%)	Installierbare Leistungen (0,1 kW _{peak} /m ²)	Solarpotenzial
		Anzahl	m ² /EW	EW	m ²	m ²	MW _{peak}	MWh
0	2.000– 5.000 EW	249	1,30	832.231	1.013.650	30.410	3	2.737
1	5.001- 50.000 EW	320	0,65	6.095.539	3.884.100	116.523	12	10.487
2	50.001- 150.000 EW	47	0,39	4.269.370	1.623.054	48.692	5	4.382
3	>150.000 EW	16	0,25	9.190.667	2.297.667	68.930	7	6.204
	Summe	632		20.387.807	8.818.472	264.554	26	23.810

3.2.2 Kanalisationsanlagen

Für die Abschätzung des thermischen Potenzials aus Kanalanlagen wurde im Forschungsprojekt „Abwasserenergie“ ein theoretisches Grobkonzept skizziert, eine praktische Umsetzung als Basis für eine österreichweite Analyse ist aufgrund von fehlenden, zentral verfügbaren Daten derzeit aber nicht sinnvoll möglich. Es kann jedoch auch ohne genaue Potenzialermittlung festgehalten werden, dass, obwohl das thermische Potenzial in Teilsystemen des Kanals aufgrund geringerer Abwassermengen und geringerer möglicher Abkühlung meist kleiner ist als im Ablauf der Kläranlage, eine Nutzung aufgrund der Nähe zu möglichen Abnehmern sinnvoll sein kann. Bei entsprechenden Rahmenbedingungen (z.B. hohe Abwassertemperatur, große Abwassermengen) kann schon durch eine geringe Abkühlung des Abwassers eine beachtliche Wärmemenge zur Verfügung gestellt werden, für die im Siedlungsgebiet mit dem weitverzweigten Kanalnetz auch zahlreiche potenziell geeignete Standorte mit entsprechenden Abnehmern zu finden sind. Das Beispiel Amstetten zeigt, dass im Einzelfall vor der Kläranlage Abwassertemperaturen von 30°C bis 35°C gegeben sein können. Dieses hohe Temperaturniveau reicht im gegebenen Fall sogar aus, um die Gebäude in der Übergangszeit direkt (also ohne Wärmepumpe) mit Abwasserwärme zu beheizen.

3.3 Einsatzmöglichkeiten von Abwasserwärme und deren effiziente Nutzung

Aufgrund der ganzjährig relativ hohen Temperaturen von Abwasser ist dieses besonders gut als Quellenergie für Wärmepumpen geeignet, welche die Temperatur dann wieder auf ein nutzbares Niveau anheben. Für die möglichst effiziente Nutzung der Abwasserenergie ist es wichtig, Energieverbraucher zu definieren, die mit möglichst niedrigen Temperaturen auskommen und möglichst ganzjährig Wärmeenergie abnehmen. Dies deshalb, da die Wärmepumpe umso effizienter arbeitet, je geringer die Temperaturdifferenz zwischen Quelle (Abwasser) und Senke (Heizungswasser) ausfällt – jedes Grad weniger Temperaturdifferenz verbessert den Wirkungsgrad um 2 bis 3 %. Auch die möglichst ganzjährige Wärmeabnahme macht die Abwasserenergienutzung wirtschaftlicher, da die erforderlichen Investitionskosten auf eine größere Energiemenge umgelegt werden können. Mögliche Nutzungen auf und im Umfeld der Kläranlage werden detaillierter bei Kretschmer et al. (2015) und Neugebauer und Stöglehner (2015) betrachtet.

3.3.1 Nutzungsmöglichkeiten auf der Kläranlage

Bei dieser Form der Nutzung wird gewöhnlich das bereits gereinigte Abwasser als Quelle verwendet, da damit einerseits die biologischen Prozesse der Kläranlage nicht mehr beeinflusst werden, andererseits meist einfachere Abwasserwärmetauscher eingesetzt werden können.

- Klärschlamm-Vorwärmung, bzw. Faulturmbeheizung

Klärschlamm muss nur auf etwa 38 °C erwärmt werden, bevor dieser in den Faulturm kommt und das ganzjährig, was hohe Laufzeiten der Anlage bedingt

- Raumheizung für Kläranlagengebäude mit Niedertemperatur-Abgabesystem (ca. 30°C erforderlich)
- Klärschlamm Trocknung.

Beispiel: Klärschlamm Trocknung

Je weniger Wasser im Klärschlamm enthalten ist, umso geringer werden Masse und Volumen, und der Heizwert steigt. Damit sinken die Entsorgungskosten und der Schlamm kann besser energetisch genutzt werden. Die Trocknung benötigt jedoch viel Energie. Oft wird hochtemperaturige Wärme zu diesem Zweck verwendet. Entsprechende Flächenreserven vorausgesetzt, kann Klärschlamm aber auch mit sehr niedrigen Temperaturen getrocknet werden, z.B. mit Wärme aus dem Ablauf der Kläranlage, die mittels Wärmepumpen auf 40 bis 60 °C angehoben wird. Hochtemperaturwärme kann dann für andere Zwecke genutzt werden.

Die Wirtschaftlichkeit der Klärschlamm Trocknung aus Sicht eines Kläranlagenbetreibers bemisst sich im Wesentlichen an

- den Investitionskosten für die Trocknungsanlage in €,
- dem Entsorgungspreis in €/t bzw. €/a für den Klärschlamm und
- den Energiekosten für die Trocknung in €/kWh oder €/a.

Die Trocknung erfordert Investitions- und Energiekosten, senkt jedoch die entsorgte Menge in Tonnen/a.

Die spezifischen Entsorgungskosten sind unabhängig vom Trockensubstanzgehalt und liegen bei etwa 50 €/t (ein Ausreißer). Die in der Tabelle zusammengefassten Werte stammen von Kläranlagen, mit denen im Zuge des Forschungsprojektes kooperiert wurde, z.T. im Rahmen der Fallstudien.

Die Klärschlamm Trockensubstanzmenge bezogen auf die Abwassermenge bzw. die EW-Zahl schwankt sehr stark. Eine Kostenaussage für eine Kläranlage mit einer gewissen EW-Zahl ist daher nicht seriös durchführbar.

Tabelle 8: Entsorgungspfade und -kosten österreichischer Kläranlagen

Entsorgungspfad	TS-Gehalt in %	Entsorgung €/t	entsorgte Menge t/a	TS-Fracht in t/a	Anlagengröße EW	TS-Fracht t/a*EW
Landwirtschaft	30	50	3.000	900	35.000	26
Zementwerk	90	63	2.000	1.800	120.000	15
Landwirtschaft	25	56	5.000	1.250	178.000	7
Zementwerk	30	56	3.700	1.110	101.000	11
Landwirtschaft	33	30	1.200	396	26.000	15
unbekannt	23	55			32.000	

Niedertemperatur-Trocknungsanlagen sind nach Recherche für Anlagen im Bereich 100.000 bis 200.000 EW um unter 1,5 Mio. € netto inkl. Einbau erhältlich, wobei hier die starke Unterschiede zwischen einzelnen Anbietern auftraten. Dies ergab sich nach Auswertung dreier Angebote für eine Niedertemperatur-Trocknungsanlage für eine österreichische Kläranlage mit 178.000 EW. Als Energiequelle dient dabei laut Annahme das gereinigte Abwasser nach der Kläranlage, aus dem eine Teilmenge entnommen wird und über Plattenwärmetauscher geführt wird. Diese übertragen die Energie an den Verdampfer-Kreislauf (Solekreislauf) der Wärmepumpen.

Auf einer Schweizer Kläranlage mit 1.100 t/a Trockensubstanz hingegen fielen für die Anlage 3,2 Mio. CHF an. Allen diesen Trocknungsanlagen ist jedoch gemeinsam, dass die thermische Energie des Abwassers mittels Wärmepumpe genutzt werden kann. Die Trocknungstemperatur liegt bei etwa 50°C, die Abwassertemperatur kann mit 10°C angesetzt werden. Damit ist eine Arbeitszahl von 3,5 (bei Annahme eines konservativen Carnot-Gütegrades von 45%) anzusetzen.

Eine solare Trocknungsanlage für eine deutsche Kläranlage mit 140.000 EW kostete 2,2 Mio. €. Damit ist für eine solare Trocknung, welche allerdings im Winter nicht annähernd dieselben TS-Gehalte sicherstellt, mit in etwa gleichen Investkosten zu rechnen. In diesem Fall empfiehlt es sich für den Winter ein investkostenärmeres Zusatztrocknungsaggregat (quasi als Spitzenlastabdeckung zu sehen) vorzusehen oder die niedrigeren TS-Gehalte im Winter über höhere Entsorgungskosten zu finanzieren.



Abbildung 6: Speichertrockner als Beispiel für eine solare Trocknungsanlage; Quelle: Thermo System

Für eine Kläranlage mit 100.000 EW ergibt sich überschlagsmäßig Folgendes:

- Klärschlammmenge auf 90 % getrocknet: 1.500 t/a
- Klärschlammmenge auf 30 % entwässert: 4.500 t/a
- Einsparung Entsorgungskosten durch Trocknung: $3.000 \text{ t/a} \cdot 50 \text{ €/t} = 150.000 \text{ €/a}$.

Es müssen also 3.000 Tonnen Wasser verdampft werden. Pro kg Wasser werden etwa 0,86 kWh benötigt. (Der Heizwert des Klärschlammes steigt dabei um denselben Wert.) Damit werden etwa 2,58 Mio. kWh/a Wärme benötigt. Bei einer JAZ von 3,5 werden daher 738.300 kWh elektrischer Strom benötigt, was bei einem Strompreis von 9 ct./kWh netto jährlichen Energiekosten von € 66.500.- gleichkommt.

Damit beträgt die jährliche Einsparung € 150.000.- – € 66.500.- = € 83.500.- und eine Trocknungsanlage mit Investitionskosten von € 1,5 Mio. € (im günstigen Fall) amortisiert sich nach etwa 18 Jahren. Nachdem die landwirtschaftliche Verwertung aber zunehmend eingeschränkt wird, ist von einer Steigerung der Entsorgungskosten in naher Zukunft auszugehen.

Wegen der nicht auf eine bestimmte Kläranlage gerichteten Berechnung, was aufgrund der stark schwankenden Klärschlammengen und auch der Entsorgungskosten zu starken Schwankungen führt, sind nur grobe Aussagen möglich. Daher blieben Faktoren wie Inflation und Zinssatz außer Acht.

3.3.2 Wärme- und Kältenutzungsmöglichkeiten im Siedlungsraum

Im Siedlungsraum kann die Energie aus Abwasser zur Wärme- bzw. Kälteversorgung von Gebäuden eingesetzt werden. Es besteht die Möglichkeit, die am Kläranlagenstandort oder im Kanal aus Abwasser rückgewonnene Wärme in ein Nah- oder Fernwärmenetz einzuspeisen. Mit der Quellenseite der Wärmepumpenanlage kann aber auch gleichzeitig ein Kältenetz versorgt werden.

- Nahwärme-/Kältenetz zur
 - Beheizung von Wohngebäuden
 - Beheizung von öffentlichen Einrichtungen (z.B. Schule, Kindergarten, Schwimmbad, Krankenhaus etc.)
 - Beheizung/Kühlung von Gewerbe- und Industriebetrieben (z.B. Objekte mit Heizwärme- und Klimakältebedarf, Molkerei mit Prozesskältebedarf, Lagerung von Tiefkühlware etc.)

Bestehende Betriebs-, Gewerbe- sowie Wohnbauten aber auch Freizeiteinrichtungen (Hallenbäder), haben meist bereits ein passendes Heizsystem. Dann können bivalente Systeme in Frage kommen, bei denen die Abwasserenergie die Grundlast übernimmt und die bestehenden Systeme die Spitzenlast abdecken.

Neue Betriebsbau- und Siedlungsgebiete sind leichter zu erschließen, vorausgesetzt die Anschlussdichte für ein Abwasserenergie-Fernwärmesystem ist hoch genug.

Je nach Größe der Kläranlage kann die Entfernung der Abnehmer einige hundert Meter oder auch einige Kilometer betragen. Je größer die abgenommene Wärmemenge pro Jahr ist, desto weiter entfernt können Abnehmer wirtschaftlich versorgt werden.

3.3.3 Wärme- und Kältenutzungsmöglichkeiten in der Landwirtschaft

In der Land- und Forstwirtschaft kann die Energie aus Abwasser zur Trocknung verschiedener Güter sowie zu Heiz- und Kühlzwecken eingesetzt werden (vgl. Gaderer et al. 2007, Loibl et al. 2008, Schulz et al. 2007):

- Trocknung verschiedener land- und forstwirtschaftlicher Produkte wie
 - Holzhackschnitzel (ganzjährig, Trocknungstemperatur 65 °C)
 - Getreide (Juli bis August, Trocknungstemperatur 50 °C)
 - Heil- und Gewürzpflanzen (Juni bis Oktober, Trocknungstemperatur 55 °C)
- Beheizung und Kühlung von Ställen
 - Ferkelaufzucht (ganzjährig, im Sommer geringere Beheizung)
 - Geflügelaufzucht
- Beheizung von Gewächshäusern (Oktober bis März)
 - Obst-, Gemüse- und Zierpflanzen (Lufttemperaturen von 20 bis 30 °C erforderlich)
- Betrieb von Aquakulturen und Kreislaufanlagen (ganzjährig), Gewässertemperaturen von 15 bis 35 °C für Fischzucht erforderlich

Beispiel: Aquaponic-Anlagen

Dabei handelt es sich um ein Verfahren, welches Aquakultur (Fischzucht) und Hydrokultur (Pflanzenzucht ohne Erde) verbindet, wozu ganzjährig Niedertemperatur-Heizenergie (15°C bis 35°C) benötigt wird. Da Österreich einen relativ geringen Selbstversorgungsgrad bei Gemüse und Fisch hat, ließen sich damit auch Transportkosten und Schadstoffemissionen durch Transporte stark reduzieren.

3.4 Technologien zur thermischen Erschließung von Abwasser

Die Effizienz und damit die Wirtschaftlichkeit jeder thermischen Abwasserenergieanlage hängen stark von der Optimierung der einzelnen Komponenten ab. Abwasserwärmetauscher, Wärmepumpe, Wärmeverteil- und Wärmeabgabesystem sind sowohl hinsichtlich der Medientemperaturen als auch der Übertragungsleistungen bestmöglich aufeinander und auf den jeweiligen Anwendungsfall abzustimmen. Schon bei der Anlagenplanung ist die Optimierung des Temperaturniveaus sehr wichtig, da dies einen großen Einfluss auf die Effizienz der Anlage hat.

3.4.1 Wärmetauscher zur Energiegewinnung aus ungereinigtem Abwasser

Hier wird zwischen **im Kanal eingebauten** und **externen Wärmetauschern** unterschieden. Die durch das Abwasser entstehende Verschmutzung und besonders die Sielhautbildung an den Wärmetauscherflächen wird bei den einzelnen Bauarten und Fabrikaten unterschiedlich berücksichtigt. Im Folgenden werden die technischen Vor- und Nachteile der möglichen Varianten beschrieben. Eine Betrachtung der Auswirkungen aus siedlungswasserwirtschaftlicher Sicht folgt im Kapitel „Abwasserenergienutzung aus Sicht der Kanal- und Kläranlagenbetreiber“.

3.4.1.1 Abwasserwärmetauscher im Kanal

Meist werden diese als Segmente am Kanalboden eingebracht, hydraulisch aneinander gekoppelt und vom Abwasser überströmt.

Vorteile:

- Keine mechanische, biologische oder chemische Reinigung notwendig, meist mit Selfcleaning-Oberfläche ausgestattet
- Keine zusätzliche Infrastruktur erforderlich, die zu warten ist
- Keine bewegten mechanischen Teile
- Kein Energieverbrauch für die Förderung des Abwassers durch den Wärmetauscher
- Kein zusätzlicher Platz für Bauwerke, Filter und Schmutzfracht-Entsorgungssysteme notwendig

Nachteile:

- Während der Montage muss das Abwasser umgeleitet werden (Wasserhaltung)
- Erst ab gewissen Kanalquerschnitten möglich (Kanal muss begehbar sein)
- Erschwerte Zugänglichkeit bei möglichen Wartungs- und Reparaturarbeiten
- Zusätzlicher Genehmigungsaufwand durch Einbauten im Kanal



Abbildung 7: Moderne Wärmetauscher (Thermliner Form B Prinzipdarstellung) können auf die Sohle eines bestehenden Kanals montiert werden und dem Abwasser Wärme entziehen; Quelle: UHRIG Kanaltechnik GmbH

Der durch die unvermeidliche Sielhautbildung verschlechterte Wärmedurchgang (U-Wert-Reduktion) wird bei der Anlagendimensionierung durch größere Wärmetauscherflächen ausgeglichen.

Daneben gibt es auch Einschub-Wärmetauscher, die in Kanalrohre ab DN 500 als geschlossene Wärmetauscher eingeschoben werden. Auch Bauarten, bei denen die Wärmetauscherrohre im Kanalprofil eingebunden sind, werden bei Neubau oder Austausch bestehender Kanalisationen eingesetzt. Die hier geringere Wärmeübertragung kann durch längere Wärmetauscher ausgeglichen werden.

3.4.1.2 Abwasserwärmetauscher außerhalb des Kanals

Bei diesen Bauarten wird ein Teilstrom des Abwassers über ein Entnahmebauwerk aus dem Kanal entnommen, vorgesiebt und über den Wärmetauscher gepumpt. Das thermisch genutzte Abwasser wird wieder dem Kanalnetz zugeführt. Diese Wärmetauscher-Bauarten verfügen meist über mechanische Reinigungseinrichtungen, welche die Oberfläche von Ablagerungen befreien, damit die Übertragungsleistung sichergestellt wird. Die dabei entstehenden Feststoffe werden entweder über Förderschnecken (Abbildung 8) oder über Molche (Abbildung 9) ausgetragen und wieder dem Abwasserstrom zugeführt.

Vorteile:

- Während der Montage muss das Abwasser praktisch nicht umgeleitet werden
- Auch bei kleineren Kanalquerschnitten einsetzbar
- Wärmetauscher ist außerhalb des Kanalnetzes und kann einfacher gereinigt, gewartet und ggf. repariert werden
- Keine Querschnittverengung des Kanals.

Nachteile:

- Zusätzliche Abwasserförderpumpe erforderlich (Abnutzung, Energieverbrauch)
- Bewegte mechanische Teile für die Förderanlage vorhanden
- Mechanische oder hydraulische Reinigungseinrichtung am Wärmetauscher vorhanden
- Zusätzlicher Entnahmeschacht erforderlich
- Platz für Wärmetauscher erforderlich.

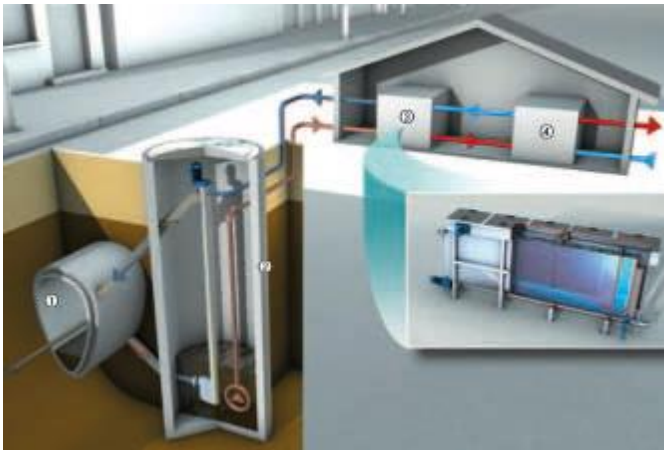


Abbildung 8: System zur Wärmeabgewinnung von Kanalabwasser außerhalb der Kanalleitung; Systemdarstellung Huber ThermWin; Quelle: Huber SE



Abbildung 9: Systemdarstellung selbstreinigender Wärmetauscher für den Einsatz vor der Kläranlage, Quelle: Jaske & Wolf

3.4.2 Wärmetauscher für die Abwasserenergienutzung nach der Kläranlage

Für die Wärmepumpe(n) macht es keinen Unterschied, ob die Energienutzung aus dem ungereinigten Abwasser vor der Kläranlage oder aus dem bereits gereinigten Abwasser nach der Kläranlage und vor der Einleitung in den Vorfluter erfolgt. Dies deshalb, da immer ein Zwischenkreislauf (Wasser oder Wasser-Frostschutzmittel-Gemisch) zwischen Abwasserwärmetauscher und Wärmepumpen-Verdampfer vorhanden ist.

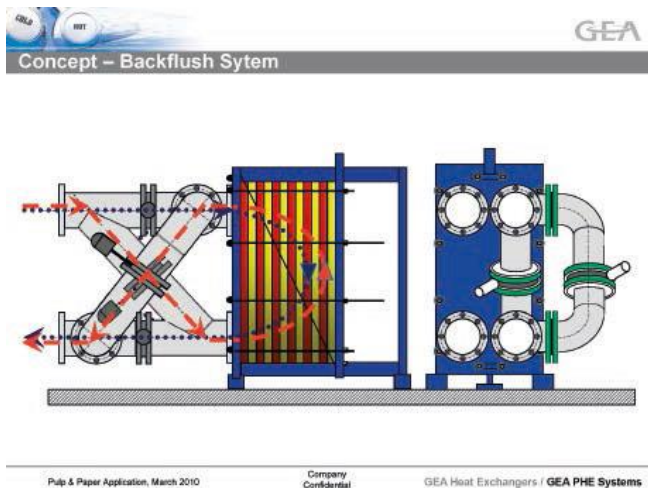


Abbildung 10: Backflush-System (Rückspüleinrichtung); Quelle: GEA

Die Abwasserwärmetauscher können jedoch einfacher gestaltet sein als bei der Nutzung vor der Kläranlage, da gereinigtes Abwasser als Energiequelle dient. Nachdem aber dieses auch noch Mikroorganismen enthält, die den sogenannten Biofilm verursachen und damit die Leistung beeinträchtigen, sind nur bestimmte Wärmetauscher für diesen Einsatz geeignet. Nachstehend sind einige geeignete Wärmetauscher beispielhaft ohne Anspruch auf Vollständigkeit genannt.



Abbildung 11: Selbstreinigender Wärmetauscher, Quelle: Steinbeis

Freistrom-(Free Flow)-Plattenwärmetauscher sind aufgrund des Gegenstromprinzips und der dadurch möglichen niedrigen Temperaturdifferenz zwischen Abwasser und Medium des Wärmepumpen-Kreislaufs gut geeignet. Der Plattenabstand muss aber 8 bis 11 mm betragen, eine chemische Reinigung für 2- bis 3-malige Reinigung pro Jahr ist unbedingt vorzusehen. Eine Rückspüleinrichtung (Abbildung 10) zur periodischen Umkehrung der Fließrichtung im Wärmetauscher sollte zusätzlich vorgesehen werden.

Der **selbstreinigende Wärmetauscher Dupur von Jaske und Wolf** ist ein Rohrbündel-Wärmetauscher, der ebenfalls aufgrund des reinen Gegenstromprinzips sehr effizient arbeitet. Das Abwasser fließt in den Rohren, das Wärmepumpenmedium in entgegengesetzter Richtung im Mantel. Abhängig von der Verschmutzung werden die Innenrohre mittels Molchen wieder gereinigt. Diese Molche werden mittels hydraulischer Pumpenschaltung durch die Rohre gedrückt.

Wärmetauscher im Ablaufkanal von *Huber SE* ist ebenfalls ein Wärmetauscher mit automatischer Reinigung, der vom Abwasser direkt umströmt wird. Das Wärmeträgermedium fließt in den Rohren, die auf der Außenseite mittels Kunststoffhülsen periodisch gereinigt werden. Der Nachteil ist, dass keine Temperaturüberschneidung zwischen Abwasser und Wärmepumpenmedium möglich ist, da dieser Wärmetauscher nicht im Gegenstromprinzip arbeitet. Der Vorteil ist, dass für die Förderung des Abwassers keine Pumpenergie verbraucht wird, da der Wärmetauscher direkt im gereinigten Abwasserstrom sitzt.



Abbildung 12: Wärmetauscher im Ablaufkanal; Quelle: Huber SE

Abhängig von der Reinigungsart und -leistung der jeweiligen Kläranlage ist auch noch ein entsprechender Filter vorzuschalten, der eventuell von der Strömung mitgerissene Feststoffe abscheidet.

Vorteile:

- Die biologischen Prozesse auf der Kläranlage werden nicht beeinflusst, da die Energienutzung erst im Ablauf zwischen Nachklärbecken und Vorfluter eingreift.
- Die Abwasserwärmetauscher können einfacher ausgeführt sein als bei Nutzung vor der Kläranlage, da gereinigtes Abwasser als Energiequelle dient.

Nachteile:

- Unter Umständen größere Entfernung zwischen Kläranlagenstandort und möglichen Verbrauchern
- Versorgung mit Heizenergie oft schon vorhanden (Gasnetz, Fernwärme, Einzelöfen)
- Sinnvolle und effiziente Nutzung der vorhandenen Abwasserenergie muss oft erst gefunden werden.

3.4.3 Industrie-(Groß-)wärmepumpen

Die Anforderungen an Wärmepumpen zur Abwasserenergienutzung sind etwas komplexer als an Wärmepumpen für Ein- und Mehrfamilienhäuser. Wärmepumpen für die Abwasserenergienutzung mit erforderlichen Heizleistungen ab 80kW bis zu mehreren MW sind auf dem Markt erhältlich. Höhere Leistungen werden durch Kaskadierung mehrerer Wärmepumpen erreicht. Die Systeme sind häufig auf alternierenden oder parallelen Heiz- und Kühlbetrieb ausgelegt, was bei der Planung der Anlagenhydraulik zu berücksichtigen ist. Die Wärmepumpen werden häufig mittels eines BUS-Systems in die zentrale Leittechnik eingebunden, wobei diese die Ansteuerung der Wärmepumpen übernimmt und auch die Auswertung der externen Betriebsdaten zulässt. Wesentliche Voraussetzung für die Effizienz derartiger Systeme ist die Leistungszahl der installierten Wärmepumpe (Verhältnis Wärme- bzw. Kälteleistung zu eingesetzter Leistung unter definierten Laborbedingungen). Mittels Teilstrom-Kältemitteleinjektion, bei Firma OCHSNER OVI-Technik (OCHSNER Vapor Injection) genannt, werden etwa 10 % höhere Leistungszahlen als bei herkömmlichen Kältekreisläufen erreicht. Durch die OVI-Technik sind Heizungsvorlauftemperaturen von 65°C möglich. Für Vorlauftemperaturen bis 95°C sind bei OCHSNER zweistufige Wärmepumpen mit Hochtemperaturkältemitteln erhältlich.



Abbildung 13: Wärmepumpen (OCHSNER Industriewärmepumpe IWWS390) können die Wärme aus dem Abwasser zu Heizzwecken aufbereiten.

3.4.4 Warme und kalte Versorgungsnetze

Prinzipiell gibt es zwei Möglichkeiten, wie das Versorgungsnetz mit Abwasserenergie ausgestaltet werden kann – als warmes oder kaltes Fernwärmenetz:

Beim **warmen Netz** sind sowohl die Abwasserwärmetauscher als auch die Wärmepumpen in einer Heizzentrale am Ort der Wärmeentnahme (z.B. auf der Kläranlage) platziert.

Vorteile dieses Systems sind:

Es ist nur eine Heizzentrale erforderlich, für die auch in vielen Fällen ausreichend Platz am Kläranlagenareal gegeben ist. Der Ausgleich von Lastspitzen der einzelnen Abnehmer ist leicht möglich, sodass die Anlage insgesamt kleiner dimensioniert werden kann (Gleichzeitigkeitsfaktor).

Es lassen sich bei dieser Nutzungsart auch sogenannte Abwasserenergie-Boxen einsetzen. Das sind fertige Einheiten in einem 40-Fuß-Container, die neben der Wärmepumpe auch alle anderen Komponenten wie Abwasserwärmetauscher, Umwälzpumpen, Pufferspeicher, Steuerung und Regelung usw. enthalten.

Eine sehr interessante Variante dieses Konzepts könnte die Verwendung von Überschuss-Strom für den Wärmepumpenantrieb sein, für den auch entsprechende Vergütungen für den Lastausgleich bezahlt werden. Die produzierte Wärmeenergie wäre in entsprechend dimensionierten Schichtungspuffern zwischenspeichern und dann bei Bedarf an das Wärmeverteilnetz zeitversetzt abzugeben.

Nachteile dieses Systems sind:

Die Anlage muss auf die höchste erforderliche Temperatur des ungünstigsten Abnehmers dimensioniert werden. Es wird dadurch meist eine schlechtere Energieeffizienz erreicht, da der Temperaturhub zwischen kalter und warmer Seite für die Gesamtleistung auf den höchsten Wert ausgelegt werden muss. Durch die höhere Temperatur im Verteilnetz, je nach Erfordernis zwischen 40 und 70°C oder höher, entstehen entsprechende Wärmeverluste im Verteilnetz bzw. Mehrkosten durch die erforderliche Dämmung.

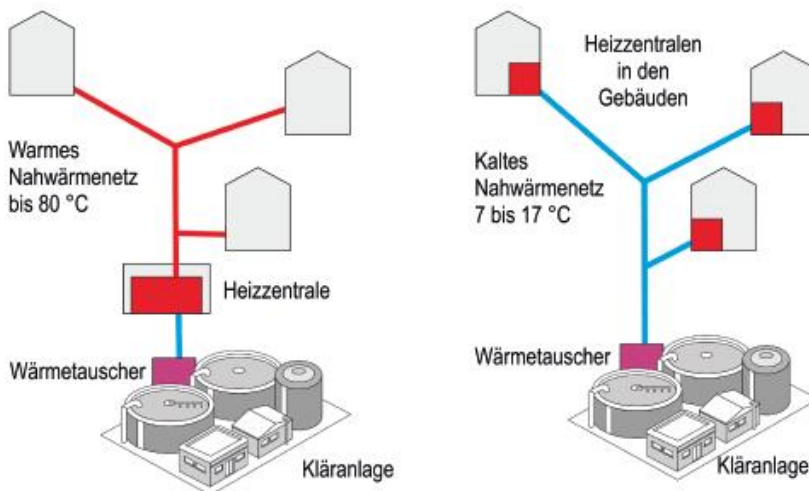


Abbildung 14: Prinzipschema Kaltes Netz/Warmes Netz

Beim **kalten Netz**, einem sog. **Anergienetz**, sind die Abwasserwärmetauscher am Ort der Wärmeentnahme (auf der Kläranlage, im Kanal) platziert, die Wärmepumpen-Zentralen aber dezentral bei den zu versorgenden Objekten bzw. gibt es eine oder mehrere Wärmepumpen-Heizzentralen im Versorgungsgebiet. Das Zwischenmedium (meistens Wasser) entzieht mit den Abwasserwärmetauschern dem gereinigten oder ungereinigten Abwasser Wärmeenergie und transportiert diese zu den Heizzentralen, wo diese Energie dann mittels der Wärmepumpen auf das erforderliche Temperaturniveau angehoben wird.

Vorteile dieses Systems sind:

Es gibt aufgrund des niedrigeren Temperaturniveaus von meist unter 10°C geringere Wärmeverluste im Verteilnetz. Die Wärmepumpen in den Heizzentralen können auf unterschiedliche Nutztemperaturniveaus ausgelegt werden und damit von der Effizienz her optimiert werden. Sie erzeugen nur jenes Temperaturniveau, welches die jeweils angeschlossenen Verbraucher benötigen. Mit dem kalten Netz ist auch direkte Kühlung möglich.

Nachteil dieses Systems:

Der Lastausgleich zwischen den Verbrauchern, die an unterschiedlichen Heizzentralen angeschlossen sind, ist nicht möglich. Die jeweiligen Zentralen sind für die maximalen Wärmeanforderungen je Heizzentrale zu dimensionieren. Mehrere kleine Zentralen erfordern höhere Investitionskosten als eine große.

3.5 Realisierte Anlagenbeispiele

3.5.1 Anlagenbeispiel Weiz

Ein Autohaus und ein Bürogebäude werden seit 2009 mit Abwasserenergie beheizt und gekühlt.



Abbildung 15 links: In Weiz wird nach der Kläranlage Wärme gewonnen und damit zwei gewerbliche Betriebe beheizt. Mit der Anlage kann auch gekühlt werden. Rechts: Einer der beiden Abwasserwärmetauscher; Quelle: Grazer Energieagentur

Die thermische Abwassernutzungsanlage versorgt zwei in unmittelbarer Nähe der Kläranlage befindliche gewerblich genutzte Gebäude mit Wärme und Kälte: die Pichler Werke der Energie Steiermark sowie das Autohaus Harb.

Die Abwasserreinigungsanlage Weiz, ausgelegt auf ca. 30.000 Einwohnerwerte, nimmt aus dem Mischkanalsystem im Mittel 3.500 m³/d (Trockenwetterabfluss) auf. Je nach Jahreszeit schwankt die Temperatur zwischen 9 und 19°C. Die Nutzung erfolgt nach dem Kläranlagenablauf, sodass sich keine Beeinträchtigungen z.B. hinsichtlich der Temperatur in der Kläranlage ergeben.

Die Machbarkeitsstudie zu dieser Anlage wurde von der Grazer Energieagentur durchgeführt. Die Planung und Auslegung der Wärme- und Kältegewinnungsanlage erfolgte durch Ryser Ingenieure AG (Energie Schweiz für Infrastrukturanlagen), die Detailausführung durch das Technische Büro Ing. Grabner. Die Wärme- und Kälteabnehmer übernahmen bzw. übernehmen selbst die Kosten für Planung, Errichtung und Betrieb der Anlage. Die Kläranlage garantiert eine gewisse Abwassermenge.

3.5.2 Anlagenbeispiel Amstetten



Abbildung 16: Amstetten, ein Projekt zur Wärmenutzung aus dem Kanal mit Vorzeigecharakter, da es auch wirtschaftlich rentabel ist.

Vorzeigeprojekt in Österreich – Heizen und Kühlen mit Abwasserenergie

Der Kanal als Fernwärme- und Fernkältenetz? Wie das funktioniert, zeigen die STADTwerke Amstetten mit ihrem in Österreich einzigartigen Haustechnikprojekt. Abwasser versorgt die Gebäude der STADTwerkezentrale und das Kraftwerk seit Herbst 2012 mit Wärme- und Kälteenergie.

Ausgangsbasis für die Anlage STADTwerke Amstetten war das Forschungsprojekt „Energie aus Abwasser“. Basierend auf den Ergebnissen einer in diesem Projekt durchgeführten Machbarkeitsstudie realisierte die Stadtgemeinde Amstetten diese Anlage. Initiatoren waren der Abwasserverband sowie die STADTwerke Amstetten in Zusammenarbeit mit der Gemeinde. Bis zur Entscheidung für dieses Projekt waren mehrere Berechnungsvarianten erforderlich, aus denen dann die optimale Konfiguration gewählt wurde. Auch viele Gespräche mit dem Gemeindeabwasserverband (GAV), Gemeindevertretern und den STADTwerken waren nötig, um das Bewusstsein zu stärken, dass Abwasser eine wertvolle Energiequelle darstellt, die mit einer Wärmepumpe als „Recyclingmotor“ effizient und wirtschaftlich genutzt werden kann.

Ausgangssituation

Das Betriebsgebäude der STADTwerke samt Werkstätten ist komplett mit Fußbodenheizung ausgestattet und daher gut für Wärmepumpen geeignet. Das Kraftwerk wurde bisher mit Elektroheizung versorgt. Durch bestehende isolierte Rohrleitungen zwischen Heizraum und Kraftwerk kann dieses zukünftig von der Wärmepumpenzentrale mitversorgt werden.

Das Anlagenkonzept im Detail

Das Kraftwerk wurde auf Niedertemperaturheizung umgestellt und der bisher für Heizung verwendete Strom wird verkauft. Eine Wärmepumpe mit 228 kW versorgt über Pufferspeicher und ein Niedertemperatur-Nahwärmenetz das Betriebsgelände mit Heizenergie. Als Energiequelle dient das Abwasser aus einem ca. 210 m entfernten Verbandssammler des GAV Amstetten. Aus diesem wird über einen Kanalwärmetauscher Energie gewonnen. Die Anlage wurde auch zur Kühlung der Gebäude ausgelegt. Die vorhandenen Gaskessel werden als Backup-System bzw. zur absoluten Spitzenlastabdeckung (99,9 % erbringt das WP-System) beibehalten.

Die Abwasserenergieanlage wird über die zentrale Leittechnik gesteuert und überwacht. Dafür wurde die bestehende Leittechnik der STADTwerke Amstetten entsprechend adaptiert und erweitert.

Realisierung der Abwasserenergieanlage Amstetten

Nach gründlicher Diskussion der ökologischen und wirtschaftlichen Aspekte erfolgte Ende Mai 2012 im Gemeinderat der Stadt Amstetten der einstimmige Beschluss, diese Anlage zu errichten. Anfang September 2012 begann die Realisierung. Ein Kanalwärmetauscher (Abbildung 18), eine Wärmepumpe (Abbildung 17) und eine kalte Nahwärmeleitung zwischen Kanal und Wärmepumpe wurden montiert. Weiters erfolgten der Umbau der Heizungsanlage bzw. die Umstellung des Kraftwerks auf Niedertemperaturheizung sowie die Erweiterung der Gebäudeleittechnik. Die Gesamtanlage ging Anfang Oktober 2012 in Betrieb und sorgt damit seit der Heizsaison 2012/2013 für umweltschonende Wärme aus Abwasser.

Monitoring und Anlagenoptimierung

Die Vorzeiganlage Amstetten dient als Untersuchungsobjekt zur detaillierten Analyse des Betriebsverhaltens und möglicher Optimierungen zur Erhöhung der Anlageneffizienz. Die Erkenntnisse können auch in Planungsprozesse von Nachfolgeprojekten einfließen.

Im Zuge der Anlagenanalyse erfolgte eine erste Auswertung der Gebäudeleittechnikdaten der ersten Heizsaison 2012/13, die in einer JAZ der gesamten Anlage von 4,3 resultierte und dem Stand der Technik entsprach. Die damaligen Untersuchungen zeigten erste mögliche Optimierungsmaßnahmen in den Bereichen der hydraulischen Speichereinbindung, Austausch der Umschaltventile und Verrohrung für den Direkt-Heizbetrieb. Die Optimierungen wurden umgesetzt und konnten anhand der Messdaten der Heizsaison 2014/15 analysiert werden.



Abbildung 17: Die OCHSNER Wärmepumpe IWWS210ER2 (hier im Bild samt den in Serie geschalteten Pufferspeichern) kann dank der hohen Abwassertemperaturen von ca. 22°C äußerst effizient arbeiten.



Abbildung 18: Der Abwasserwärmetauscher „Thermliner“ der Anlage STADTwerke Amstetten (hier kurz nach Montage im Abwasserkanal) wurde in Absprache mit der Stadtentwässerung geplant und gebaut und erlaubt weiterhin einen störungsfreien Betrieb der Kanalisation.

Ursprünglich wurden die drei 1.500 Liter-Speicher parallel verbunden anstatt seriell. Die serielle Einbindung der Speicher (Abbildung 17 bzw. 19) ermöglicht eine bessere Temperaturschichtung und damit günstigere Betriebsbedingungen für die Wärmepumpe. Die notwendigen Systemtemperaturen der Wärmepumpe konnten um bis zu 5 K abgesenkt werden. Weiters wurden die Umschaltventile, die für die hydraulische Umschaltung zwischen Heizen und Kühlen notwendig sind, gegen Absperrklappen ausgetauscht. Damit konnte der Druckverlust in der Anlage reduziert und so der Durchfluss in den Anlagen teilen erhöht werden, wodurch wiederum bessere Betriebsbedingungen für die Wärmepumpe geschaffen werden konnten. Der dritte Umbau der Anlage betraf die zusätzliche Verrohrung für den Direkt-Heizbetrieb, in Abbildung 19 in grün dargestellt, mit dem die Abwasserkanalwärme direkt, also ohne Betrieb der Wärmepumpe genutzt werden kann. Die ersten Betriebsergebnisse zeigten nämlich, dass der Kanalwärmetauscher Heizungswasser mit 27°C Temperatur liefert. Die beschriebenen hydraulischen Optimierungen zeigen positive Effekte, die in einer höheren Anlageneffizienz erkennbar sind.

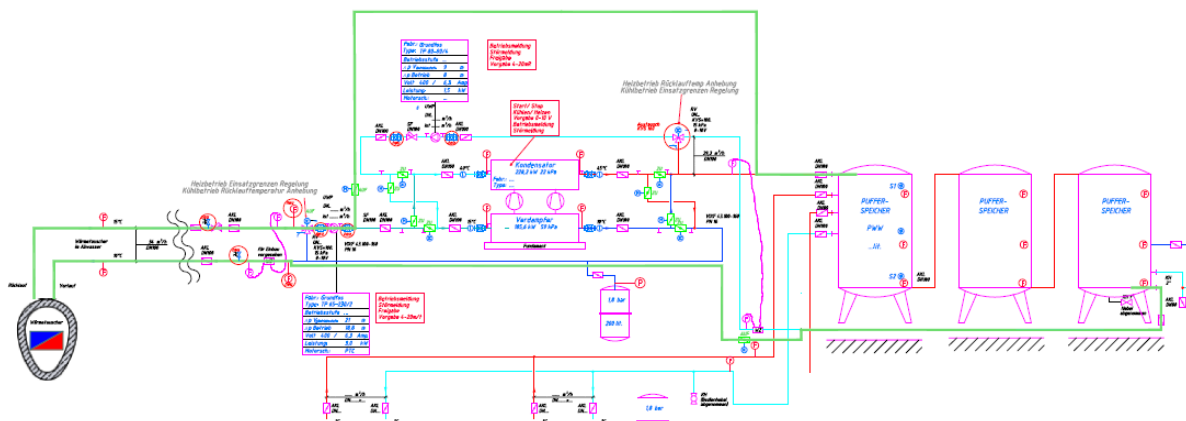


Abbildung 19: hydraulisches Anlagenschema der Anlage Amstetten (Stadtwerke Amstetten, 2013)

Die Messperiode 2014/15 inkludiert die Monate Oktober 2014 bis September 2015, damit wird eine vollständige Heiz- und Kühlperiode betrachtet. In der analysierten Messperiode wurden von der Anlage 316 MWh Wärme an das Heizungssystem abgegeben. 10 % der benötigten Wärme konnten durch den Direkt-Heizbetrieb bereitgestellt werden (Abbildung 20 links). Für den Betrieb der Anlage waren 61 MWh

elektrische Energie notwendig, wobei 88 % des elektrischen Energiebedarfs auf den Betrieb der Wärmepumpe und die restlichen 12 % auf die Umwälzpumpen in der Anlage entfallen (Abbildung 20 Mitte).

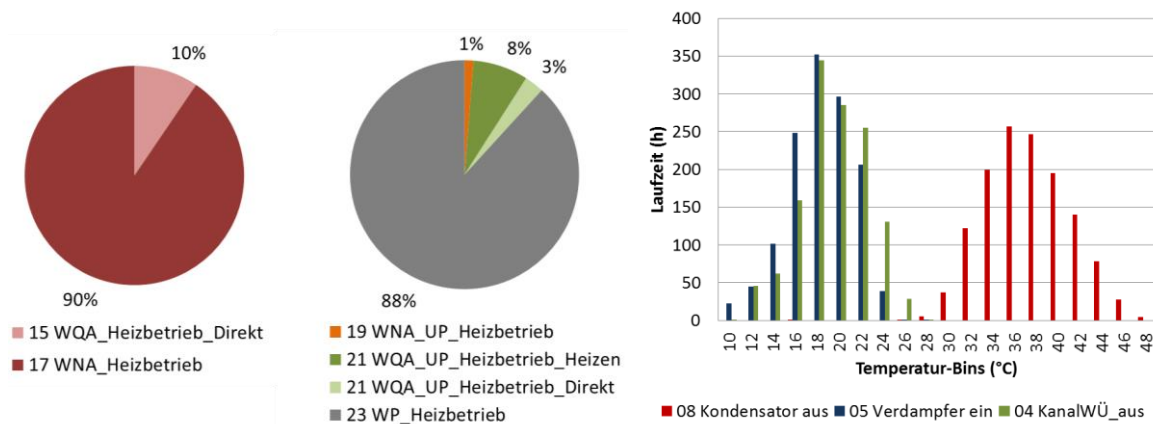


Abbildung 20: Anteile am Heizbetrieb (links), Anteile der elektrischen Energieverbraucher (Mitte) und Verteilung der Temperaturen in der WQA und WNA (rechts)

Meistens liegen die Kondensatoraustrittstemperaturen im Bereich zwischen 34 °C und 42 °C (Abbildung 20 rechts). Aus der Verteilung der Verdampfer-Eintrittstemperaturen und der Kanalwärmeübertrager-Austrittstemperaturen ist zu erkennen, dass für den Wärmepumpenbetrieb die Verdampfer-Eintrittstemperatur durch eine Beimischschaltung begrenzt wird, um zu hohe Wärmequellentemperaturen für die Wärmepumpe zu vermeiden.

Hier besteht weiteres Optimierungspotential für Wärmepumpen beim direkten Nutzen der hohen Wärmequellentemperaturen, wodurch die Effizienz weiter gesteigert werden kann. Die häufigsten Verdampfer-Eintrittstemperaturen treten in einem Bereich zwischen 16 °C und 20 °C auf.

Die Effizienz der Wärmepumpenanlage wird durch die Arbeitszahlen bestimmt. Die Arbeitszahl AZ1 (nur Kältekreislauf) liegt bei 5,3 und AZ4 (inklusive aller Umwälzpumpen) bei 4,8. Im Direkt-Heizbetrieb erreicht die Anlage eine AZ von 19,4, damit ergibt sich eine AZ4 für die gesamte Anlage (inklusive aller Umwälzpumpen) von 5,2. Der Direkt-Heizbetrieb erhöht die AZ4 also von 4,8 auf 5,2 bzw. um 8 %. Weitere 10 % Verbesserung erreichte die Wärmepumpe nach der Implementierung der Optimierung der Anlagenhydraulik, gesamt also knapp 18 %. Weitere Maßnahmen zur Effizienzmaximierung der Anlage liegen in den Bereichen der Optimierung der Regelsollwerte, der wärmequellenseitigen Durchflüsse und der Speichergroße.

Ökologie und Umweltschutz

Der Energiebedarf für das Gesamtobjekt beträgt etwa 330.000 kWh/a. Die Gaskesselanlage würde 37.000 m³/a Erdgas verbrauchen und einen CO₂-Ausstoß von 77,88 t/a verursachen. Die Wärmepumpenanlage verursacht einen CO₂-Ausstoß von 17,51 t/a, gerechnet mit dem österreichischen Strom-Mix. Das sind 60,36 t/a bzw. 77,51 % CO₂-Reduktion gegenüber der Gasheizung. Nachdem Amstetten aber überwiegend mit Strom aus Wasserkraft versorgt wird, ist der so ermittelte CO₂-Ausstoß noch viel niedriger. Diese Anlage leistet also auch einen erheblichen Beitrag zum Umweltschutz in der Region Amstetten. Die Auswirkungen auf die Effizienz der Kläranlage sind bei solchen Projekten natürlich auch zu berücksichtigen.

Nachdem das Abwasser im Zulauf der Kläranlage durch diese Wärmenutzung nur um höchstens ca. 0,15 °C abgekühlt wird (ohne Berücksichtigung der Wiederaufwärmung entlang der Fließstrecke) und die Abwassertemperatur im Kanal mit durchschnittlich 22 °C (im Winter) hoch ist, ist keine Beeinträchtigung des Kläranlagenbetriebs zu erwarten. Die zuständige Wasserrechtsbehörde stimmte der Errichtung dieser Anlage zu.

Investitionskosten und Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten für die Gesamtanlage betrugen ca. € 240.000,-. Bei derzeitigen Energiepreisen ergibt sich im ersten Betriebsjahr eine Ersparnis von ca. € 20.500,- bzw. 72 % gegenüber dem Gaskesselbetrieb sowie eine Amortisationsdauer von 12 Jahren (mit Kapitalverzinsung 3,5 % p.a., Gaspreissteigerung 4 % p.a., Strompreissteigerung 2,5 % p.a.).

3.6 Abwasserwärmenutzung aus Sicht der Kanal- und Kläranlagenbetreiber

Die Kanalisations- und Kläranlagen dienen primär der Siedlungshygiene, dem Schutz vor Hochwässern im urbanen Bereich sowie dem Gewässerschutz. Wenn die vorhandene abwassertechnische Infrastruktur auch für die thermische Abwassernutzung herangezogen wird, muss die Funktionsfähigkeit von Kanal und Kläranlage weiterhin sichergestellt sein.

3.6.1 Auswirkungen auf die Kanalisation

Wird ein Wärmetauscher nachträglich in den Kanal eingebaut, sind aus abwassertechnischer Sicht folgende Aspekte in der Planung zu berücksichtigen:

- Die erforderliche hydraulische Kapazität des Kanalstranges muss gewährleistet sein.
- Wartung und Instandhaltung des Kanals (Reinigung, Inspektion, Sanierung) müssen ohne nennenswerten Mehraufwand weiterhin durchführbar sein.
- Vermehrte Ablagerungen, Rückstau oder Verstopfungen durch den Wärmetauscher müssen vermieden werden.
- Einbau und Wartung (Reparatur, Erneuerung) der Wärmetauscher sowie der zugehörigen Installationen müssen so erfolgen, dass der laufende Kanalbetrieb und -unterhalt ohne wesentliche Störungen aufrechterhalten werden kann.
- Alle Arbeiten im Kanal dürfen nur unter Einhaltung der sicherheitstechnischen Vorschriften und von geschultem, unterwiesenem und ausgerüstetem Personal durchgeführt werden.

Der Einbau eines Wärmetauschers im Kanal ist unter den genannten Bedingungen möglich. Da für den Kanalbetrieb die Anordnung des Wärmetauschers außerhalb des Kanals (Bypass) sinnvoller erscheint, soll auch immer diese Möglichkeit geprüft werden.

3.6.2 Auswirkungen auf die Kläranlage

Die biologischen Prozesse, die die Grundlage der Abwasserreinigung in einer Kläranlage darstellen, sind temperaturabhängig. Eine Abkühlung des Abwassers ist mit einer verminderten Aktivität der Mikroorganismen und daher einer reduzierten Reinigungsleistung verbunden. Dies gilt vor allem für die Stickstoffentfernung.

Daher sind hier folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Die Emissionsbegrenzungen der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser (1. AEVKA) für gesamten gebundenen Stickstoff bzw. Ammoniumstickstoff gelten bei Abwassertemperaturen über 12 bzw. 8 °C im Ablauf der biologischen Stufe von Kläranlagen über 5.000 EW. Durch Abkühlung des Abwassers für thermische Nutzung können diese Werte frühzeitig unterschritten werden und damit mehr Stickstoff ins Gewässer gelangen als ohne thermische Nutzung. Dies ist nicht im Sinn des Gewässerschutzes und muss daher ausgeschlossen werden.
- In Hinblick auf die Kommunale Abwasserrichtlinie der EU (91/271/EWG) hat sich Österreich aufgrund der Nichtausweisung von sensiblen Gebieten bundesweit zu erhöhten Reinigungsanstrengungen verpflichtet. Die Gesamtbelastungen an Phosphor und Stickstoff aus allen kommunalen Abwässern sind im Jahresdurchschnitt um je 75 % zu reduzieren. Die Einhaltung dieser Vorgaben darf durch thermische Abwassernutzung nicht gefährdet werden.
- Die Auswirkungen von Temperaturänderungen durch thermische Abwassernutzung auf die Reinigungsleistung der Kläranlage sollen in jedem Einzelfall entsprechend den behördlichen Vorgaben überprüft werden.

Das Aufwärmen des Abwassers bei Kühlbetrieb im Sommer ist in Bezug auf die Reinigungsleistung der Kläranlage als weniger kritisch anzusehen. Aus abwassertechnischer Sicht ist die thermische Nutzung im Ablauf der Kläranlage vorzuziehen. Um negative Auswirkungen auf das Gewässer im Ablauf der Kläranlage zu vermeiden, sind die Temperaturanforderungen für Fließgewässer der Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer (QZV Ökologie OG) sowie etwaige weitere behördliche Vorgaben zu beachten.

Weiterführende Informationen zu diesem Thema bietet die Publikation Kretschmer und Ertl 2010.

3.7 Abwasserwärmenutzung aus rechtlicher Sicht

Ein zentraler Punkt bei den rechtlichen Rahmenbedingungen ist die wasserrechtliche Bewilligung, über die auf Basis von Gutachten von der zuständigen Behörde entschieden wird. Dabei sind die Auswirkungen auf Kanal und Kläranlage wesentlich.

Zu unterscheiden ist zwischen Bewilligungspflicht (muss um wasserrechtliche Bewilligung angesucht werden?) und der Bewilligungsfähigkeit (bei Bewilligungspflicht: kann die Anlage bewilligt werden?). Gesetzliche Grundlage für die Bewilligungspflicht ist das Österreichische Wasserrechtsgesetz WRG 1959. Von besonderem Interesse ist dabei § 32, Abs. 3: „Einer Bewilligung bedarf auch die ohne Zusammenhang mit einer bestimmten Einwirkung geplante Errichtung oder Änderung von Anlagen zur Reinigung öffentlicher Gewässer oder Verwertung fremder Abwässer.“ Unter Verwertung von Abwässern fallen grundsätzlich auch Anlagen zur thermischen Nutzung von Abwasser. Das WRG unterstellt sie jedoch nur dann der Bewilligungspflicht, wenn sie nicht vom „Eigentümer des Abwassers“ errichtet und betrieben werden. Aber auch die Verwertung eigener Abwässer mit den dazugehörigen Anlagen kann als Änderung der bestehenden Anlage bewilligungspflichtig sein, zumindest, wenn dadurch Änderungen auf den konsensgemäßen Betrieb der Kläranlage zu erwarten sind.

In der Schweiz existiert auf Richtlinienenebene eine sog. Bagatellgrenze. Liegt der Temperatureinfluss auf das Abwasser in der Kläranlage unter 0,1 °C, so ist keine Genehmigung nötig. Die Behörden der Kantone lassen die Kontingente einer Wärmeentnahme vor der Kläranlage für alle Anlagen von Gut-

achtern gemäß AWEL-Leitfaden (Kanton Zürich) bzw. dem Schweizerischen Abwasserfachverband (VSA) und dem Bund aufgrund wissenschaftlicher Erkenntnisse ermitteln. In der Schweiz hat sich gezeigt, dass bei den meisten Kläranlagen über rund 5.000 EW eine Wärmenutzung vor der Kläranlage bewilligt werden kann. Die Kläranlagen bzw. Gemeinden werden vom Kanton ermuntert, die Ausschöpfung der Kontingente zu unterstützen. In Österreich soll die Abwasserenergienutzung von Anfang an geregelt werden, was auch aufgrund der Gesetzeslage gefordert wird.

Eine Bagatellgrenze kann nur Anhaltspunkt sein, ob eine Anlage genehmigt werden soll oder nicht. Weiters gilt nach § 32, Abs. 2b für Anlagen nach der Kläranlage: „... bedürfen einer Bewilligung insbesondere Einwirkungen auf Gewässer durch ionisierende Strahlung oder Temperaturänderung“ (vgl. auch QZV im vorigen Kapitel). Die Bewilligungspflicht gibt den Betreibern von Abwasserreinigungsanlagen (Kommunen, Abwasserverbänden) auch Sicherheit. Zuständige Behörden für die Bewilligung sind meist die Bezirkshauptmannschaften bzw. in Statutarstädten die Magistrate. Diese werden aufgrund von Sachverständigengutachten eine Entscheidung treffen.

Die Nutzung vor der Kläranlage hat auf das Abwasser nach der Kläranlage zwar physikalisch eine Auswirkung. Solange der Konsenszustand der Kläranlage aber gleich bleibt, ist dies aus rechtlicher Sicht nicht zu beachten. Soweit Abwasserenergieanlagen z.B. für Leitungsnetze fremde Liegenschaften oder Anlagen in Anspruch nehmen sollen, ist eine Zustimmung (am besten durch vertragliche Vereinbarung) der Eigentümer nötig. In einem Nutzungsvertrag zwischen Kanal- und/oder Kläranlagenbetreiber und Errichter der Nutzungsanlage werden die gegenseitigen Rechte und Pflichten definiert. Anregungen dazu finden sich im Merkblatt DWA-M 114. Eine frühzeitige Absprache mit dem Kläranlagenbetreiber soll verhindern, dass eine Bewilligung nach erfolgten Planungsschritten nicht erteilt wird.

Der Nachweis des Temperatureinflusses auf die Kläranlage durch die Abwasserwärmenutzung im Kanal ist in Österreich noch nicht geregelt. Im Zuge des Projekts wurde jedoch eine Methodik entwickelt, um die Wärmeentnahme im Kanal aus Sicht der Kläranlage besser beurteilen zu können. Eine detaillierte Beschreibung findet sich im Kapitel Handlungsempfehlungen, und weitere Informationen können der Publikation Kretschmer et al. 2016 entnommen werden.

Wesentliche Aspekte, die zu beachten sind:

- Anlagen zur thermischen Abwassernutzung im öffentlichen Kanal oder nach der Kläranlage sind in jedem Fall bewilligungspflichtig (siehe Wasserrechtsgesetz WRG, §32).
- Zuständig ist die Wasserrechtsbehörde, die je nach Größe und Lage der Anlage unterschiedlich sein kann (siehe Wasserrechtsgesetz WRG, § 98 ff).
- Es sind Nutzungsvereinbarungen mit dem Kanal- und/oder Kläranlagenbetreiber und eventuell betroffenen Grundeigentümern einerseits sowie dem Errichter der thermischen Abwassernutzungsanlage andererseits zu schließen.
- Für einen reibungslosen Ablauf wird die frühzeitige Kontaktaufnahme mit Kanal- und/oder Kläranlagenbetreiber, der Wasserrechtsbehörde sowie eventuell betroffenen Grundeigentümern empfohlen.

3.8 Fallstudien zur Abwasserenergiegewinnung auf Kläranlagen

Im Forschungsprojekt wurden drei Kläranlagenstandorte in Österreich im Detail untersucht. Dabei wurden einerseits Energieoptimierungspotenziale auf der Kläranlage selbst identifiziert. Andererseits ging es darum, Nutzungsmöglichkeiten für Überschussenergie zu identifizieren und zu bewerten. Die Ergebnisse der drei Fallstudien sind im Folgenden zusammengefasst und finden sich detailliert auf der Projektwebseite www.abwasserenergie.at.

3.8.1 Fallstudie RHV Freistadt u. U.

Die Kläranlage in Freistadt ist auf 30.000 Einwohnerwerte ausgebaut und reinigt die Abwässer der Mitgliedsgemeinden des Reinhaltungsverbandes Freistadt und Umgebung: Freistadt, Grünbach, Lasberg, Rainbach im Mühlkreis und Waldburg. Die durchschnittliche Belastung im Jahr 2013 betrug 29.500 EW. In Bezug auf die organische Belastung kann die Anlage daher als ausgelastet gesehen werden. Das gesamte Kanalnetz für das ca. 70 km² umfassende Einzugsgebiet beläuft sich auf rund 200 km (davon 21 km Verbandssammelkanal).

Zur Abschätzung von Energieoptimierungspotenzialen auf der Kläranlage des RHV Freistadt u. U. wurden Kennzahlen zur Energieproduktion sowie zum Energieverbrauch der Kläranlage erstellt und mit den Daten von Lindtner (2008) verglichen. Zusätzlich wurde das Potenzial zur Ko-Fermentation (von Speiseölen etc.) im bestehenden Faulturm bestimmt.



Abbildung 21: Kläranlage in Freistadt, Quelle RHV Freistadt u.U.

Bei einem Jahresabfluss von rund 1,83 Millionen Kubikmetern ergibt sich unter Berücksichtigung eines 30%-igen Abzugs für Regenwetterabfluss ein stündlicher Trockenwetterabfluss von etwa 146,5 m³. Bei einer Abkühlung des Abwassers um 5 Kelvin ergibt sich mit einer spezifischen Wärmekapazität vergleichbar mit Wasser (1,16 kWh/m³*K), unter Einsatz einer Wärmepumpe mit Jahresarbeitszahl 4,0, eine Wärmeleistung aus Abwasser von rund 1,1 MW.

Die Kläranlage des RHV Freistadt u. U. weist aufgrund der Lage im Stadtgebiet von Freistadt mit kompakter Siedlungsstruktur große Potenziale für eine externe Nutzung der Abwasserenergie auf. Einerseits kommt dabei die Versorgung bestehender Objekte in Frage. In einer groben Wirtschaftlichkeitsrechnung konnte nachgewiesen werden, dass in einer bivalenten Anlagenkonfiguration aus

Abwasserthermie und Hackschnitzelheizung ein Wärmepreis auf einem ähnlichen Niveau wie für die bestehende Biomasse-Fernwärmeversorgung erzielt werden kann. Andererseits könnte die Abwasserenergie aber auch zur Wärme- und Kälteversorgung des INKOBA-Betriebsgebietes herangezogen werden. Mit einer Sensibilitätsanalyse des Niedertemperaturwärmepreises konnte nachgewiesen werden, dass der kurz- und mittelfristige Energiebedarf für Raumheizung und Kühlung für die interkommunale Betriebsansiedlung kostengünstiger als mit herkömmlichen Heizungssystemen abgedeckt werden kann. Weitere Informationen zur Fallstudie sind bei Kollmann et al. (2016) zu finden.

3.8.2 Fallstudie AWW Gleisdorfer Becken

Die Kläranlage in Gleisdorf weist eine Ausbaupkapazität von 32.000 EW auf. Der Abwasserverband umfasste ursprünglich 14, nach der Gemeindezusammenlegung nunmehr 7 Gemeinden. Im Einzugsgebiet der Verbandskläranlage befinden sich einige größere Betriebe, das Kanalnetz umfasst rund 860 km Kanal. Die Zulauftemperaturen betragen im Winter rund 9 – 10 °C, im Sommer bis zu 20 °C.

Im Forschungsprojekt wurden Kennzahlen zur Energieproduktion sowie zum Energieverbrauch der Kläranlage des AWW Gleisdorfer Becken untersucht und mit Daten von Lindtner (2009) verglichen, um Energieeinsparpotenziale auf der Kläranlage identifizieren zu können.



Abbildung 22: Kläranlage in Gleisdorf, Quelle AWW Gleisdorfer Becken

Die Kläranlage des AWW Gleisdorfer Becken kann als siedlungsnahe eingestuft werden. Im 1-km Radius um den Kläranlagenstandort (südlich der Autobahn gelegen) wird das nördlich der Autobahn gelegene Siedlungsgebiet von Gleisdorf und im Osten das Siedlungsgebiet von Hofstätten tangiert. Im Kläranlagenumfeld befinden sich im Energiekataster Gleisdorf definierte Wärmeversorgungsgebiete mit Wohnnutzung und betrieblichen Nutzungen sowie ein als Industrie- und Gewerbegebiet gewidmetes Areal in Hofstätten.

Bei der ökonomischen Optimierung wurde auf drei Szenarien fokussiert:

- Bereitstellung von Kühlenergie, Hoch- und Niedertemperaturwärme für das Umland (Gleisdorf-Süd und -Ost, sowie Hofstätten)
- Mögliche Kooperation mit der Biogasanlage in St. Margarethen an der Raab (Abnehmer von Klärgas)
- Ausbau des Faulturns.

Es zeigte sich, dass mit Hilfe einer neuen KWK-Anlage, dem Ausbau des Gasbrenners und zusätzlichen Wärmepumpen die Wärmemengen zur Versorgung des Umlandes aus technisch-potenzieller Sicht auf

der Kläranlage produziert werden könnten. Um diese in die Abnehmergebiete zu liefern, müsste man jedoch einen etwas höheren Wärmepreis als den aktuellen erzielen, damit sich die Investitionen als rentabel erweisen. Bei der Kooperation mit der Biogasanlage in St. Margarethen zeigte sich ein ähnliches Bild: Müssten die zusätzlich entstehenden Kosten für eine Gasleitung von der Kläranlage getragen werden, rentiert sich der Gastransfer nicht, andernfalls kann ein konkurrenzfähiger Gaspreis erzielt werden.

Die Faulturm-Szenarien ergaben, dass, sobald der aktuell bestehende Faulturm nicht inkludiert ist, immer ein neuer größerer inklusive neuer maschineller Überschussschlamm entwässerung (*MÜSE*) wirtschaftlich zweckmäßig wäre. In der Basisversion ist dennoch der aktuelle bei den jetzigen Stoff-Flüssen die sinnvollste Option.

In diesem Fallbeispiel wird verdeutlicht, dass die Steigerung der Wärmeproduktion auf der Kläranlage als einzige ökonomisch machbare Lösung in Frage käme, hierzu müssten jedoch weitere Abnehmer in der näheren Umgebung angesiedelt werden.

3.8.3 Fallstudie AWV Hall in Tirol - Fritzens

Die Kläranlage des Abwasserverbandes Hall in Tirol – Fritzens, der 16 Gemeinden umfasst, hat eine Ausbaupazität von 120.000 EW. Die mittlere Zulauftemperatur lag im Jahr 2013 bei 16 °C und unterschreitet im Mittel nicht 10 °C. Neben der klassischen Abwasserreinigung betreibt der Abwasserverband auch ein Altspeiseöl-Sammelsystem und bietet Tierkadaver-Entsorgung an.

Im Forschungsprojekt wurden Kennzahlen zur Energieproduktion sowie zum Energieverbrauch der Kläranlage untersucht und mit Daten von Lindtner (2009) verglichen, um Energieeinsparpotenziale auf der Kläranlage identifizieren zu können.

Die Kläranlage des AWV Hall in Tirol - Fritzens kann als siedlungsnaher Kläranlage eingestuft werden. Im 1-km-Radius um die Kläranlage wird am nördlichen Inn-Ufer das Siedlungsgebiet von Fritzens tangiert, direkt an das Kläranlagengrundstück angrenzend befinden sich landwirtschaftliche Nutzflächen. Die Kläranlage weist daher Potentiale für die Nutzung thermischer Überschussenergie sowohl in der Land- und Forstwirtschaft als auch im Siedlungsraum auf.



Abbildung 23: Kläranlage des AWV Hall-Fritzens, Quelle: AWV Hall-Fritzens

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden zwei Nutzungsszenarien im Detail betrachtet, wobei die Abwasserthermienutzung mittels Wärmepumpen mit dem Einsatz des auf der Kläranlage vorhandenen Überschussstromes limitiert wurde: (1) die Versorgung eines Gewächshauses mit Niedertemperatur-

wärme in unmittelbarer Nähe zur Kläranlage und (2) der Wärmeeinsatz zur Hackschnitzeltrocknung an einem kläranlagennahen Standort. Mit der Prozess-Netzwerk-Synthese konnte nachgewiesen werden, dass mit einer maximalen Wärmeproduktion von 5.937 MWh ausreichend Wärme für die Versorgung eines 5.000 m²-Gewächshauses zur Tomatenproduktion bereitgestellt (Wärmebedarf 2.882 MWh) bzw. ein Beitrag zur Deckung des Wärmebedarfs für die Hackschnitzeltrocknung geleistet werden kann (Wärmebedarf 58.773 MWh).

3.9 Tools zur optimalen Einbindung der Abwasserenergienutzung in regionale Versorgungskonzepte

Im Zuge des Projekts wurden drei strategische Planungstools (weiter-) entwickelt, mit denen verschiedene Aspekte der Abwasserenergienutzung für eine konkrete Vor-Ort-Situation behandelt werden können. In einer Kombination aus einer räumlichen Analyse mit der Energiezonenplanung, einer ökonomischen Optimierung mit der Prozess-Netzwerk-Synthese und einer ökologischen Bewertung mit dem Sustainable Process Index können die Potenziale für eine nachhaltige Energieversorgung ausgehend von einer Kläranlage aufgezeigt werden. Im Folgenden werden die drei Tools vorgestellt. Sämtliche Tools stehen frei zum Download bereit.

3.9.1 Energiezonenplanung

Die Energiezonenplanung ist ein Energieraumplanungstool, mit dem Energieverbrauchsdaten räumlich analysiert werden können (Stöglehner et al. 2011). Mit dem Tool kann eine Bewertung durchgeführt werden, ob in den betrachteten Energiezonen eine leitungsgebundene Wärmeversorgung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten möglich ist.

Die Energiezonenplanung kann auf beliebig definierte Teile eines Gemeindegebietes angewendet werden. Im Zusammenhang mit der Abwasserenergienutzung lässt sich so das Kläranlagenumfeld analysieren. Mit dem Tool wird einerseits der aktuelle Energieverbrauch betrachtet, andererseits werden Szenarien zu zukünftigen Energieverbräuchen generiert. Anhand von Kriterien wie der Energiedichte in Form der Wärmebelegung sowie einem Maximum an Wärmeverlusten im Wärmenetz kann beurteilt werden, ob eine leitungsgebundene Energieversorgung unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten machbar ist.

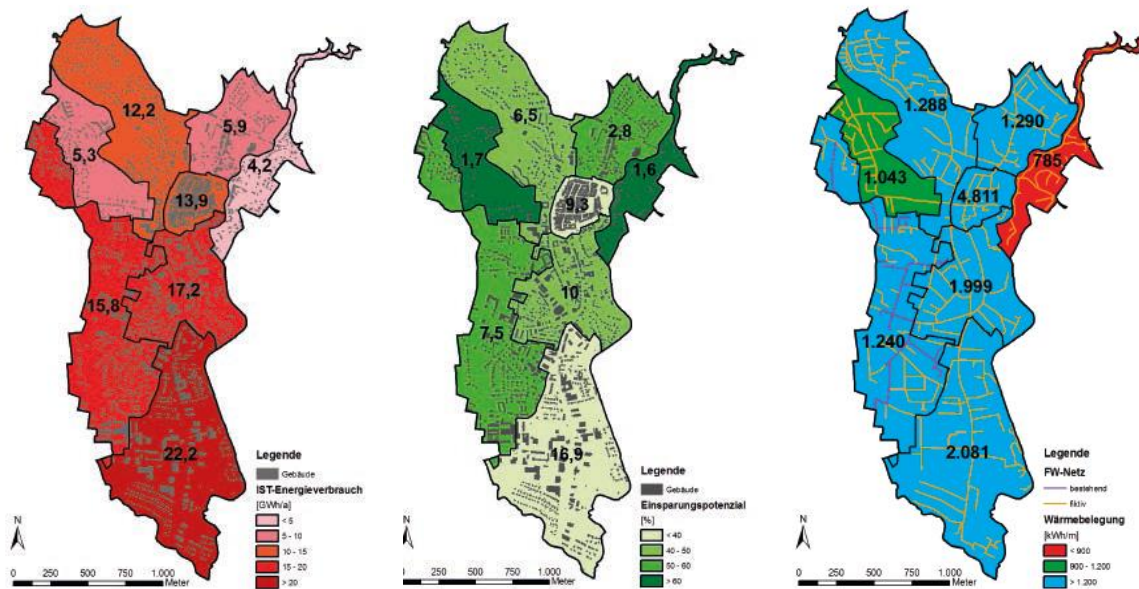


Abbildung 24: Energiezonenplanung als Basis für das Örtliche Entwicklungskonzept (Stöglehner et al. 2011).

Für die Anwendung der Energiezonenplanung sind nur wenige Eingangsdaten erforderlich: Aktuelle Energieverbrauchsdaten sowie eine georeferenzierte Kartengrundlage des betrachteten Gebietes. Die Abschätzung des aktuellen Energieverbrauchs für Wohnobjekte erfolgt mit bauperiodenspezifischen Energiekennzahlen kombiniert mit Strukturdaten aus dem Gebäude- und Wohnungsregister (u.a. Bauperiode, Nutzfläche) (Statistik Austria, 2012). Zur Abschätzung des Energieverbrauchs von betrieblichen Nutzungen können statistische Datengrundlagen herangezogen werden. Aus der Nutzenergieanalyse (Statistik Austria, 2015a) stehen Informationen zum energetischen Endverbrauch nach Verwendungszwecken und Wirtschaftssektoren differenziert zur Verfügung. Diese können mit Daten aus der Arbeitsstättenstatistik (Statistik Austria, 2015b) in Beziehung gesetzt werden.

Der Energieverbrauch wird sich in Zukunft verändern. Die Energiezonenplanung bietet daher auch zwei zukünftige Energieverbrauchsszenarien. In einem moderaten Einspar- und Effizienzscenario wird von einer Energieverbrauchsreduktion um 20 Prozent ausgegangen (z.B. durch Maßnahmen zur Wärmedämmung). In einem zweiten Szenario werden Zielenergiekennzahlen unter Bedachtnahme auf die Vorgaben der EU-Gebäudeeffizienzrichtlinie und deren Umsetzung in Österreich zur Abschätzung des Energieverbrauchs verwendet.

Diese Datengrundlagen werden noch um zwei neu zu generierende Datensätze erweitert: ein hypothetisches Fernwärmenetz und die damit verbundenen Hausanschlüsse. Die Anwendung des Tools liefert dann die Kennzahlen für die Beurteilung, ob eine leitungsgebundene Energieversorgung in den betrachteten Energiezonen wirtschaftlich machbar ist.

3.9.2 Prozess-Netzwerk-Synthese

Durch die Prozess-Netzwerk-Synthese (PNS) ist es möglich, Energie- und Stoffströme und die damit verbundenen Prozesse zu optimieren. Dies erfolgt anhand der p-graph-Methode und verschiedenen kombinatorischen Regeln. Maßgeblich für diese Optimierung sind die Rahmenbedingungen, die die Maximalstruktur beschränken. Daraus entsteht dann eine Optimalstruktur, durch welche die Wertschöpfung maximiert wird.

Die Rahmenbedingungen können so variiert werden, dass die Ressourcen- und Technologieverfügbarkeit eines Systems genau abgebildet wird und eine individuelle Optimierung möglich ist. Das für die energetische Optimierung einer Beispiel-Kläranlage herangezogene Technologienetzwerk ist in Abbildung 26 vereinfacht dargestellt.



Abbildung 25: Startseite des Abwasserenergie-Tools, Quelle: TU Graz

Diese Maximalstruktur enthält alle relevanten Ressourcen, wie die Elektrizität aus dem existierenden Stromnetz, Erdgas, Bioabfälle wie z.B. Speiseöle, die zu Verfügung stehende Fläche und natürlich das Abwasser an sich. Weiters werden alle energetisch wesentlichen Reinigungs- und Verarbeitungstechnologien wie die Schlammbehandlung, die Klärgaserzeugung und die Wärmeproduktion betrachtet. Außerdem enthält die Struktur sowohl Zwischenprodukte, wie Elektrizität und Wärme, welche in den Technologien am Standort verwendet werden, als auch Endprodukte, welche verkauft werden können (z.B.: gereinigtes Klärgas, Elektrizität, Wärme oder Kühlenergie) oder verwertet werden müssen (z.B.: Schlamm und Asche).

Sind alle Daten der Komponenten des maximalen Technologienetzwerks in das für diese Anwendung neu generierte Optimierungstool implementiert, errechnet das Programm die wirtschaftlichste Technologiestruktur (Optimalstruktur). Diese enthält Informationen über die Menge der eingesetzten Rohmaterialien und der erzeugten Produkte. Die Größe sowie die Auslastung der für die Umsetzung benötigten Technologien werden ebenfalls angegeben. Des Weiteren informiert das Ergebnis darüber, wieviel die errechnete Optimalstruktur kosten bzw. erwirtschaften würde.

Für eine einfachere Handhabung und um den Zugang für Interessierte zu erleichtern, wurde die Optimierungssoftware PNS Studio auf die Anforderungen der Nutzung der Abwasserenergie inklusive Verteilungslogistik in einem neuen Software-Tool adaptiert (Abbildung 25).

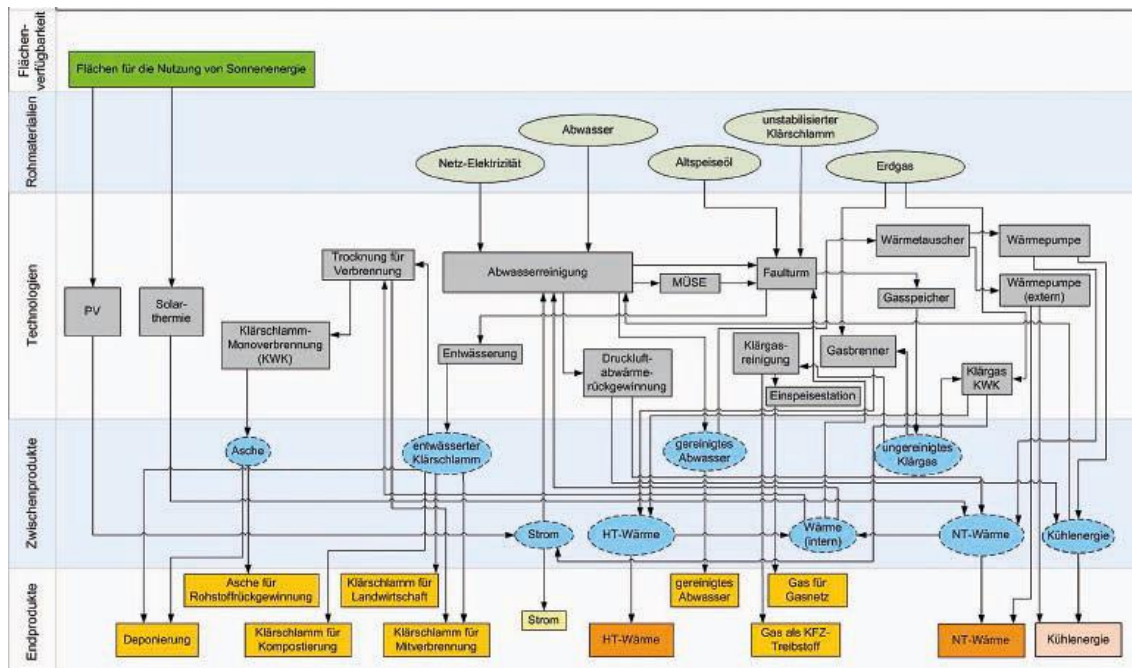


Abbildung 26: Maximales Technologienetzwerk zur Optimierung einer Kläranlage (adaptiert nach Kindermann und Kollmann, 2015).

Nach der Eingabe eines Projektnamens und einer kurzen Beschreibung der betrachteten Anlage kann man aus einer Vielfalt an möglichen Rohmaterialien wählen, welche zusätzlich in Menge oder Preis individuell angepasst werden können. Desweiteren werden die möglichen Produkte ausgewählt und wiederum mit den aktuellen Preisen versehen. Als letzter Schritt werden die theoretisch in Betracht kommenden Technologien in ihren verschiedenen Größenklassen ausgewählt bzw. weggeschaltet. Hierbei kann man zwischen existierenden (ohne Investitionskosten) und neu zu errichtenden Technologien (mit Investitionskosten) wählen.

Sobald die Rahmenbedingungen für die Optimierung festgelegt sind, errechnet die PNS die optimale Struktur der betrachteten Kläranlage und ihres Umfeldes. In den Ergebnissen werden die Kosten der Materialien, des Investments und des Betriebs abgebildet und dem zu erwartenden Gewinn durch die generierten Produkte (z.B. Wärme) gegenübergestellt und als Summen dargestellt. In weiterer Folge können AnwenderInnen diese Vorgänge beliebig oft wiederholen, um verschiedene Rohstoff-, Produkt- und Technologieszenarien durchzuspielen.

3.9.3 Sustainable Process Index

Der Sustainable Process Index (SPI) ist eine ökologische Bewertungsmethode aus der Familie des „Ökologischen Fußabdrucks“ und ist zu den in der Norm EN ISO 14046 beschriebenen Vorgehensweisen der Lebenszyklus-Analysen (Life Cycle Assessment, LCA) kompatibel. Der SPI aggregiert dabei die verschiedenen Umweltdrucke auf eine Zahl. Diese Zahl entspricht der Fläche, die notwendig ist, um die Bereitstellung eines Produkts bzw. die Serviceeinheit nachhaltig in die Ökosphäre einzubetten. Der SPI ermöglicht dabei Vergleiche zwischen unterschiedlichen Technologien und insbesondere auch zwischen Prozessen auf der Basis fossiler und regenerativer Ressourcen.

Zur Berechnung des SPI steht aktuell das Online-Tool SPIONWeb zur Verfügung. Mit diesem ist es möglich, ganze Lebenszyklen in Form von Prozessketten zusammenzustellen, welche mit geringem Aufwand immer wieder aktualisiert werden können. Neben dem errechneten Fußabdruck [m²] werden

die CO₂-Emissionen und das Global Warming Potential (GWP) des gesamten Lebenszyklus als Ergebnis dargestellt.

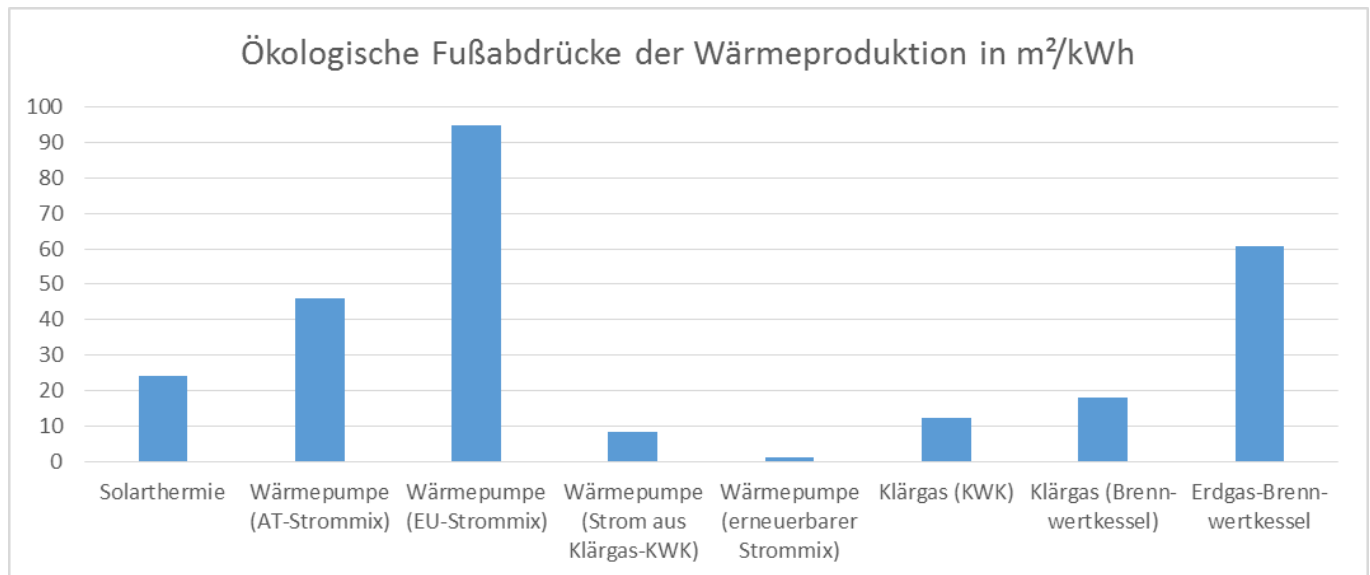


Abbildung 27: Vergleich des ökologischen Fußabdruckes verschiedener wärmeproduzierender Technologien auf einer Kläranlage, Quelle TU Graz, Darstellung AEA

Es wurden alle Technologien, die für die Fallbeispiele relevant erschienen, ökologisch bewertet. Somit entstand eine umfassende Datenbank von repräsentativen energieerzeugenden Technologien auf österreichischen Kläranlagen. Um eine bessere Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde als Serviceeinheit jeweils eine kWh Output gewählt.

Nach einer Registrierung und dem Login im SPionWeb Tool stehen den AnwenderInnen in der Prozessgruppe „AbwasserEnergie2“ (WasteWater Energy2) folgende Prozesse, inklusive der gesamten Vorketten (z.B. Biogas aus Klärschlamm), zur Verfügung:

- Wärme aus Wärmepumpen (EU-Elektrizitätsmix) [kWh]
- Wärme aus Wärmepumpen (AT-Elektrizitätsmix) [kWh]
- Wärme aus Wärmepumpen (Elektrizität aus Klärgas KWK) [kWh]
- Wärme aus Wärmepumpen (Erneuerbarer AT-Elektrizitätsmix) [kWh]
- Wärme aus Klärgas (KWK) [kWh]
- Wärme aus Klärgas (Brennwertkessel) [kWh]
- Wärme aus Erdgas (Brennwertkessel) [kWh]
- Wärme aus Solarthermie [kWh]
- Elektrizität aus Photovoltaik [kWh].

Weitere Informationen zu den oben beschriebenen Tools finden sich auf der Projektwebsite, auf der die Tools auch zum freien Download zur Verfügung gestellt werden:

www.abwasserenergie.at

SPionWeb kann unter folgender Domain aufgerufen werden: <http://spionweb.tugraz.at>

Bei Interesse wenden Sie sich bitte an:

Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung

Tel.: +43-1-47654-85500

E-Mail: irub@boku.ac.at

Web: www.rali.boku.ac.at/irub.html

3.10 Erste Schritte zur Realisierung

Dieses Kapitel beschreibt, wie Kommunen und Bauherren bei der Realisierung thermischer Abwasser-nutzungsanlagen vorgehen sollten.

3.10.1 Einsatzkriterien für eine Erstbeurteilung

Eine erste Einschätzung der möglichen Abwasserwärmenutzung kann für einen konkreten Fall aufgrund nachfolgender Faustwerte rasch und einfach durchgeführt werden. Für ein sinnvolles Projekt müssen

- sowohl ein ausreichendes Angebot an Wärme aus dem Abwasser als auch
- geeignete Gebäude/Anlagen als Energieabnehmer in einem gewissen Radius vorhanden sein.

Prüfenswert ist die Realisierung bei größeren Bauten ab einer Wärmeleistung von rund 100 kW, was dem Bedarf von etwa 30 bestehenden Wohneinheiten entspricht. Geeignet sind als Abnehmer bestehende und neue Gebäude mit nicht zu hohen Vorlauftemperaturen. Besonders günstig ist der Einsatz im Neubau oder bei ganzjährigem Wärmebedarf (z. B. Gewächshäuser, Hallenbäder). Ungeeignet sind Industriebetriebe mit hochtemperaturigem Prozesswärmebedarf über 95°C und kleine Bauten wie Einfamilienhäuser.

Erfahrungen aus zahlreichen Studien zeigen, dass für eine Nutzung im Kanal eine Abwassermenge von mindestens 10 l/s im Trockenwettermittel nötig ist. Im Ablauf der Kläranlage reicht wegen der größeren Temperaturspreizung auch die Hälfte. Die überwindbare Distanz vom Abwasser zum Abnehmer ist beachtlich. Bei unbebauten Gebieten, die kaum Hindernisse für den Leitungsbau aufweisen, können Objekte mit 1 MW Wärmeleistung bis zu 1 km entfernt liegen, Objekte mit 3 MW bis zu 3 km und dabei die wirtschaftlichen Anforderungen erfüllen. In Siedlungsgebieten sinkt die maximal mögliche Distanz rasch auf wenige hundert Meter.

Kriterien für Abwasserwärme	Faustwert
Gebäudebezogen	
Min. Wärmeleistungsbedarf	100 kW
Neubau oder Bestandsbauten	beide
Vorlauftemperatur	unter 70°C
Distanz Gebäude - Abwasser	
Unbebaut ohne Hindernisse	s. unten
Bebautes Siedlungsgebiet	individuell
Abwasser	
Aus Kanal:	
Trockenwetterabfluss	10 bis 15 l/s
Aus Kläranlage	5.000 EW

Bewilligung erforderlich?	immer ansuchen
---------------------------	----------------

	Faustformel zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit				
Wärmeleistungsbedarf in kW	250 kW	500 kW	1.000 kW	2.000 kW	3.000 kW
Max. Distanz ca.	100 m	500 m	1.000 m	2.000 m	3.000 m

Basierend auf den Erfahrungen aus den Fallstudien wurde ein standardisierter Prozess zur Erstellung einer Machbarkeitsstudie entwickelt. Der in Abbildung 28 dargestellte Prozess soll die Umsetzung von Abwasserenergieprojekten unterstützen. Die aufeinanderfolgenden Veranstaltungen (abgebildet als Kreise und Rechtecke) und die dazwischenliegenden Phasen (dargestellt als Pfeile) umfassen unterschiedliche Aufgaben und beziehen verschiedene Stakeholder mit ein.

Die Kick-Off-Veranstaltung dient der Gewinnung eines Überblicks über die lokalen Gegebenheiten des Untersuchungsgebiets und die Datenverfügbarkeit. An der Veranstaltung nehmen Vertreter des Abwasserverbandes und der Gemeinde sowie Experten der Abwasserwärmenutzung teil. Das Ziel der Vorbereitungsphase ist es, zum einen Informationsmaterial für den ersten Stakeholder-Workshop zu erstellen und zum anderen den eigentlichen Workshop vorzubereiten.

Neben der eigentlichen Datensammlung werden in der nächsten Phase die Daten auch einem Plausibilitätscheck unterzogen. Weiters gilt es, energetische Optimierungspotentiale zu identifizieren, mögliche Energiebereitstellungstechnologien abzuklären und in einer räumlichen Analyse eine Abschätzung des Energiebedarfs im Kläranlagenumfeld zu skizzieren.

Die Durchführung eines zweiten Stakeholder-Workshops wird als optional betrachtet. Er dient zur Präsentation von Zwischenergebnissen und bietet die Möglichkeit, Aufgabenstellungen zu bestätigen beziehungsweise wenn notwendig zu überarbeiten. Die Notwendigkeit eines zweiten Workshops hängt von der Häufigkeit „informeller“ Kleingruppen-Meetings ab. Kontinuierliche Treffen in Kleingruppen sind essentiell während der gesamten Prozesslaufzeit, da diese den Informationsaustausch fördern, einen Überblick über den Fortschritt des Projekts geben und die Bearbeitung von Problemen zu einem möglichst frühen Zeitpunkt ermöglichen.

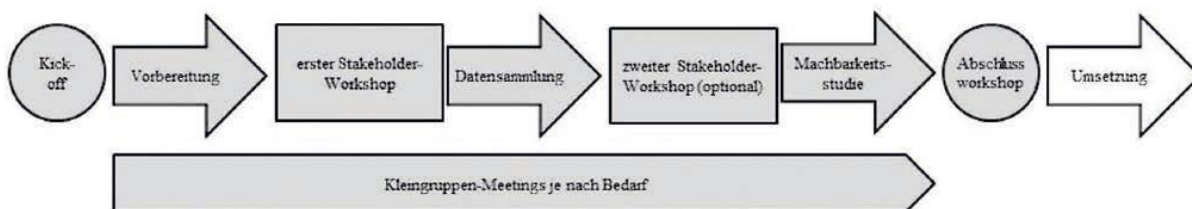


Abbildung 28: Prozessdesign für die Ausarbeitung einer Machbarkeitsstudie (abgeändert nach Kretschmer et al., eingereicht).

Wenn alle Daten gesammelt sind, kann die Machbarkeit einer Abwasserenergienutzung beurteilt werden. Im Zuge des Projekts wurde die Prozess-Netzwerk-Synthese für die Beurteilung verwendet. Die Beurteilung umfasst sowohl ökonomische und ökologische Betrachtungen.

Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie werden im Rahmen eines Abschlussworkshops den Stakeholdern vorgestellt und mit diesen diskutiert, und dienen als Entscheidungsgrundlage für eine mögliche Umsetzung von Maßnahmen zur Abwasserenergienutzung.

3.10.2 Gemeinden als Motor

Die Gemeinde hat einen wichtigen Stellenwert bei der Umsetzung der Abwasserwärmenutzung, da sie

- Eigentümer von vielen Gebäuden ist, die häufig für Abwasserwärmenutzung geeignet sind
- häufig (mit-) verantwortlich für das Kanalisationsnetz sowie die Kläranlage ist
- mit Pilotprojekten an eigenen Gebäuden eine Vorzeigerolle übernehmen kann
- mit Studien sinnvolle Standorte über das ganze Gemeindegebiet ermitteln und damit eine breite Umsetzung einleiten kann
- auch private Bauherren bei der Umsetzung unterstützen kann, z.B. mit Finanzbeiträgen an Machbarkeitsstudien und mit einem zügigen Bewilligungsverfahren.

Abklärungen zur Abwasserwärmenutzung sind in Gemeinden bereits ab rund 1.000 Einwohnern (nach der Kläranlage) bzw. ab rund 3.000 Einwohnern (aus dem Kanal) sinnvoll.

3.10.3 Vorgehen eines institutionellen Bauherrn

Bauherren mit mehreren größeren Gebäuden wie Gemeinden sowie private oder gemeinnützige Immobilienbesitzer können folgendermaßen bei einer systematischen Umsetzung vorgehen: Zunächst werden Gebäude mit einem Wärmebedarf über 100 kW ausgewählt. Diese können nach obigen Kriterien bewertet und an den interessantesten Gebäuden Machbarkeitsstudien durch Fachleute erstellt werden. Zeigt die Studie die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit, bei der auch die Energiepreissteigerung über 15 - 30 Jahre sowie Fördermittel berücksichtigt werden müssen, so kann die Realisierung in Eigenregie oder mit einem Contractor gemäß Schema in der linken Spalte angegangen werden. Ein Contractor plant, baut, finanziert und betreibt die Anlagen und verkauft die Wärme – wie ein Fernwärmebetreiber – an die Abnehmer. Er schließt mit dem Abnehmer einen Vertrag über die Wärmelieferung und die Kosten ab, und übernimmt damit auch weitgehend das Risiko für Bau und Betrieb der Anlage. Die meisten Anlagen in der Schweiz und Deutschland wurden in den letzten Jahren im Contracting realisiert. Dabei haben sich vor allem aus der Elektrizitätsbranche Contractingfirmen etabliert, die inzwischen bis zu einem Dutzend Anlagen realisiert und sich damit ein umfassendes Know-how angeeignet haben. Dies zeigt, dass die Abwasserwärmenutzung – geeignete Standortbedingungen vorausgesetzt – ein finanziell attraktives Geschäft ist. Wichtige Grundlage für diese Erfolge in der Schweiz und Baden-Württemberg sind die Initialisierungsprogramme durch die Länder mit Information, Beratung und Beiträgen an Machbarkeitsstudien.

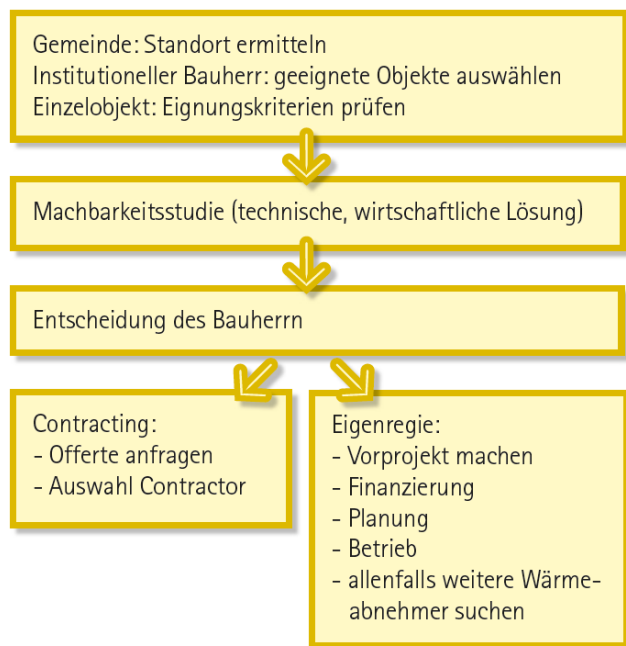


Abbildung 29: Schematische Darstellung der Entstehung einer Abwasserenergieanlage von der Idee bis zur Umsetzung

3.10.4 Vorgehen bei Einzelgebäuden

Mit vorher genannten Faustformeln kann geprüft werden, ob ein Gebäude aufgrund der Distanz zur Kläranlage oder zu einem Hauptsammler als Verbraucher für den Einsatz von Abwasserenergie geeignet ist. Sind die Kriterien erfüllt, so ist die Erstellung einer Machbarkeitsstudie durch einen Fachmann zu empfehlen. Bei positivem Ergebnis kann die Anlage entweder in Eigenregie oder mit einem Contractor umgesetzt werden.

3.11 Abwasserenergienutzung im Kanal – Entscheidungshilfen für Planer und Betreiber

Die thermische Abwassernutzung im Kanal stellt durch die Nähe zu Verbrauchern eine interessante Ergänzung zur Nutzung nach der Kläranlage dar. Die Abkühlung des Abwassers im Kanal wird jedoch auf Grund von temperaturabhängigen Reinigungsprozessen auf der Kläranlage häufig kritisch betrachtet. Der Wirkungsgrad biologischer Abwasserreinigungsprozesse nimmt bei sinkender Abwassertemperatur auf Grund der Verminderung der Wachstumsgeschwindigkeit der Mikroorganismen ab, wobei die Vorgänge der Nitrifikation und Denitrifikation am stärksten betroffen sind (DWA, 2009). In Bezug auf die wasserrechtliche Situation in Österreich halten Kretschmer und Ertl (2010) fest, dass die Emissionsbegrenzungen der 1. Abwasseremissionsverordnung für kommunales Abwasser (1. AEVKA) für gesamt gebundenen Stickstoff bzw. Ammoniumstickstoff bei Abwassertemperaturen über 12 bzw. 8°C im Ablauf der biologischen Stufe von Kläranlagen über 5.000 EW gelten. Durch Abkühlung des Abwassers für thermische Nutzung können diese Werte theoretisch frühzeitig unterschritten werden und damit mehr Stickstoff ins Gewässer gelangen als ohne thermische Nutzung. Dies ist nicht im Sinn des Gewässerschutzes und muss daher ausgeschlossen werden. Zusätzlich hat sich Österreich in Hinblick auf die Kommunale Abwasserrichtlinie der EU (91/271/EWG) aufgrund der Nichtausweisung von sensiblen Gebieten bundesweit zu erhöhten Reinigungsanstrengungen verpflichtet. Dies bedingt eine Reduktion der Gesamtbelastung an Phosphor und Stickstoff aus allen kommunalen Abwässern um je 75 % im

Jahresdurchschnitt. Die Einhaltung dieser Vorgaben darf durch thermische Abwassernutzung nicht gefährdet werden.

Es zeigt sich jedoch, dass die Einhaltung dieser Vorgaben im Allgemeinen, v.a. bei großen Kläranlagen, bei entsprechender Planung und Auslegung kein Problem darstellt, wie viele hundert Anlagen v.a. in Deutschland und der Schweiz belegen.

Im Folgenden werden Entscheidungshilfen beschrieben, welche die Beurteilung des Kanals für die thermische Abwassernutzung sowohl aus Sicht der Energieversorgung als auch aus Sicht der Kläranlage unterstützt. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik ist bei Kretschmer et al. (2016) zu finden.

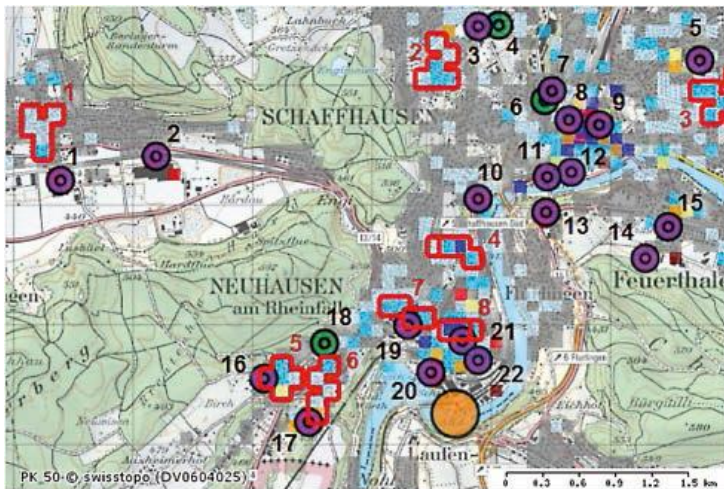


Abbildung 30: Mit Energiekarten, die große Heizzentralen und Gebiete mit hohem Wärmebedarf zeigen, können potenzielle Wärmeabnehmer rund um eine Kläranlage und in der Nähe von Abwasserkanälen rasch ermittelt und die Bauherren über die Möglichkeiten der Abwasserwärmenutzung informiert werden.

3.11.1 Kriterien für die Vorauswahl des Standortes

Bei der thermischen Nutzung des Abwassers im Kanal muss in einem ersten Schritt definiert werden, welcher Kanalabschnitt geeignet ist. Kretschmer und Ertl (2010) definieren Voraussetzungen, welche aus Sicht des Kanalbetreibers für den Einbau eines Wärmetauschers erfüllt sein müssen. Die Eignung aus Sicht eines Planers wird bestimmt durch das vorhandene Energiepotential und den Energiebedarf in der Umgebung.

Folgende Kriterien können für die Vorauswahl eines passenden Standortes definiert werden:

Kriterium 1: Durchfluss Anforderungen: Mindestens 5.000 - 10.000 angeschlossene Einwohnergleichwerte oberhalb der Wärmeentnahmestelle

Kriterium 2: Seitliche Zuflüsse: Potentielle Standorte nach großen seitlichen Zuflüssen (besonders in urbanen Gebieten)

Kriterium 3: Dichtbebaute Gebiete: Wärmeentnahmestellen dichtbebauten Gebieten nachgelagert und nicht vorgelagert (besonders in ländlichen Gebieten)

Kriterium 4: Kurze Distanzen: Nähe der Wärmeentnahmestelle zu Wärmeabnehmern: Nach einer erfolgreichen Vorauswahl eines vielversprechenden Standortes müssen im nächsten Schritt Abfluss- und Temperaturmessungen im Kanal durchgeführt werden, um ein besseres Bild des tatsächlichen Potentials zu erhalten.

3.11.2 Standortbewertung

Mithilfe der durchgeführten Messungen können im Anschluss das verfügbare Potential und die potentiellen Auswirkungen der Wärmeentnahme auf die Zulauftemperatur der Kläranlage ermittelt werden. Aus Sicht des Planers ist vor allem das verfügbare Wärmepotential entscheidend.

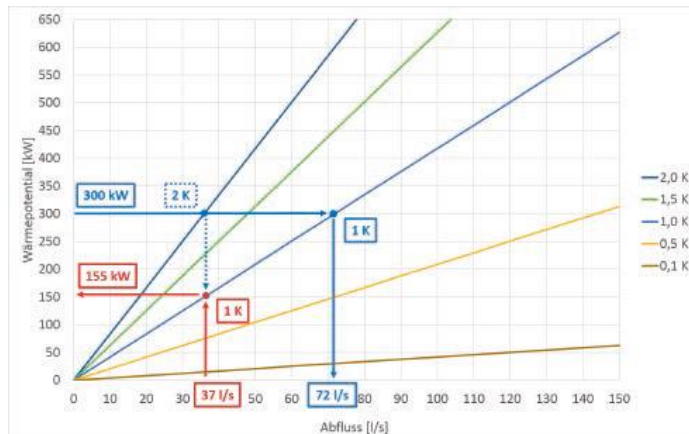


Abbildung 31: Zusammenhang zwischen Abfluss und verfügbarem Wärmepotential (adaptiert nach Kretschmer et al., 2016).

Formel 1 zeigt, dass das verfügbare Wärmepotential (P_{WT}) am geplanten Standort des Wärmetauschers (WT) abhängig vom Abfluss (Q_{WT}), der spezifischen Wärmekapazität (c) und der Temperaturveränderung durch die Wärmentnahme (ΔT_{WT}) ist:

$$P_{WT} = Q_{WT} \cdot c \cdot \Delta T_{WT} \quad (1)$$

Abbildung 31 stellt die Ergebnisse der Formel (1) grafisch dar. Aus der Grafik lässt sich einfach auslesen, welches Wärmepotential bei einem gegebenen Abfluss und unterschiedlichen Abkühlungsgraden verfügbar ist. Zum Beispiel sind bei einem Abfluss von 37 l/s und einer Abkühlung um 1 K 155 kW verfügbar. Die Grafik kann jedoch auch andersherum gelesen werden. Wenn ein Planer weiß, dass er einen Wärmebedarf von 300 kW mit Abwasserenergie versorgen möchte, dann zeigt die Grafik, dass bei einem Abfluss von 37 l/s eine Abkühlung um 2 K notwendig ist. Soll jedoch maximal 1 K Abkühlung auftreten, dann ist ein Volumenstrom von 72 l/s nötig, um die entsprechende Leistung zu erhalten. Die Grafik stellt eine vereinfachte Variante für die Standortbewertung aus Sicht des Planers dar, da das verfügbare Wärmepotential, beziehungsweise der benötigte Abfluss und der Abkühlungsgrad einfach ausgelesen werden können. In der Praxis kommt noch die Antriebsenergie der Wärmepumpe hinzu. Dieser Anteil hängt stark von der Temperaturdifferenz zwischen Quelle und Nutzung ab. In etwa erhöht sich damit die Systemleistung um ein Viertel.

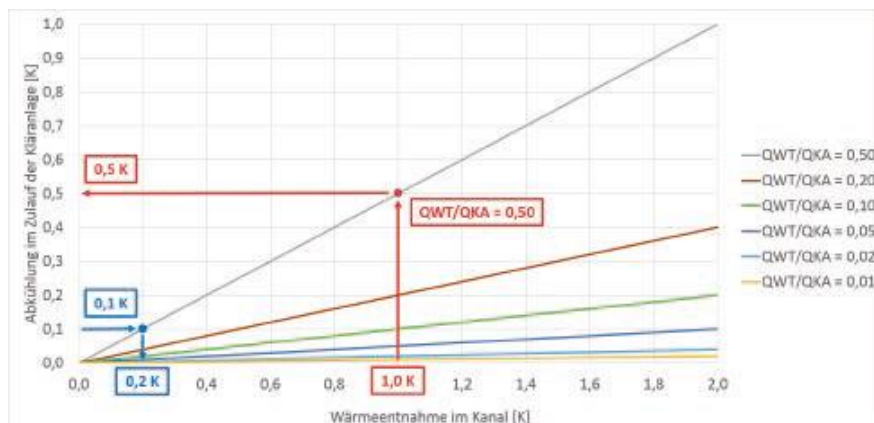


Abbildung 32: Zusammenhang zwischen Temperaturänderung bei der Wärmeentnahme und im Zulauf der Kläranlage (adaptiert nach Kretschmer et al., 2016)

Für den Betrieb der Kläranlage ist jedoch vor allem die Auswirkung auf die Zulauftemperatur der Kläranlage von Interesse. Für eine erste Abschätzung schlägt die DWA (2009) die Anwendung einer Mischungsrechnung vor, um die Temperatur im Zulauf der Kläranlage zu bestimmen. Die Temperaturänderung im Zulauf der Kläranlage (ΔT_{KA}) wird mittels Formel (2) aus dem Verhältnis des Abflusses am Wärmetauscher (Q_{WT}) multipliziert mal der Temperaturänderung durch die Wärmeentnahme (ΔT_{WT}) und der Abfluss im Zulauf der Kläranlage (Q_{KA}) berechnet:

$$\Delta T_{KA} = (Q_{WT} \cdot \Delta T_{WT}) / Q_{KA} \quad (2)$$

In Abbildung 32 wird der Zusammenhang zwischen der Abkühlung im Kanal und der Temperaturänderung im Zulauf der Kläranlage in Abhängigkeit vom Verhältnis des Abflusses am Wärmetauscher (WT) und im Zulauf der Kläranlage (KA) dargestellt. Wird im ersten Schritt vom Planer zum Beispiel eine nötige Wärmeentnahme von 1 K definiert, verändert sich die Temperatur im Zulauf der Kläranlage abhängig vom Wärmeentnahmestandort.

Bei einem Verhältnis vom Abfluss am Ort der Wärmeentnahme zum Zulauf der Kläranlage von 0,5 kühlt sich der Zulauf der Kläranlage um 0,5 K ab. Auch diese Grafik kann von der y-Achse ausgehend betrachtet werden. Wenn vom Kläranlagenbetreiber zum Beispiel eine maximale Abkühlung von 0,1 K im Zulauf toleriert wird, ergibt sich daraus die maximal mögliche Abkühlung im Kanal. Im Falle des Abflussverhältnisses von 0,5 wären das 0,2 K.

3.11.3 Entscheidungsfindung

Die oben angeführten Formeln helfen bei der Entscheidungsfindung, ob eine Wärmeentnahme im Kanal stattfinden soll. Von Seiten des Planers fällt die Entscheidung zugunsten der Wärmeentnahme aus, wenn sich das Wärmepotential im Kanal und der Wärmebedarf in der Umgebung decken. Von Seiten der Kläranlage ist die Entscheidung ein bisschen schwieriger. Die zuvor beschriebene Methode der Mischungsrechnung tendiert laut DWA (2009) zur Überschätzung der tatsächlichen Temperaturänderung im Zulauf der Kläranlage, da Wärmeübertragungsprozesse im Kanal nicht berücksichtigt werden. Auch wenn eine Überschätzung in diesem Zusammenhang nicht als Nachteil gesehen werden muss, kann sie dazu führen, dass eine Wärmeentnahme im Kanal abgelehnt wird.

Daher wurden im Projekt zusätzlich vier Prinzipien definiert, welche die Entscheidungsfindung von Seiten der Kläranlage unterstützen sollen.

Prinzip 1 – Rechtliche Einschränkungen: Je größer die Differenz zwischen der Zulauftemperatur und den gesetzlich relevanten Temperaturbegrenzungen (8°C und 12°C), desto weniger kritisch ist die Auswirkung der Wärmeentnahme.

Prinzip 2 – Wiedererwärmung: Je mehr seitliche Zuflüsse (Siedlungen, Hausanschlüsse,...) sich zwischen dem Ort der Wärmeentnahme und der Kläranlage befinden, desto wahrscheinlicher ist ein Ausgleich der Abkühlung durch Wiedererwärmung in Fließrichtung.

Prinzip 3 – Natürliche Abkühlung: Je größer die Differenz zwischen der Abwassertemperatur am Ort der Wärmeentnahme und dem Zulauf der Kläranlage, desto wahrscheinlicher entspricht die Temperaturänderung der natürlichen Abkühlung im Kanal.

Prinzip 4 – stabiler Zustand: Je länger der Fließweg zwischen Wärmeentnahmeort und dem Zulauf der Kläranlage, desto wahrscheinlicher ist die Anpassung an die vorherrschende stabile Temperatur im Kanal.

3.12 Klärschlammverwertung

Aufgrund des Ausbaus und der Erweiterung der Kläranlagen ist in Österreich das Klärschlamm-aufkommen in den letzten Jahren kontinuierlich angestiegen. 2014 fielen rund 245.000 t Trockensubstanz (TS) Klärschlamm in kommunalen Kläranlagen größer 50 EW60 an. Davon stammen etwa 239.000 t TS bzw. 98 % aus Kläranlagen mit einer Ausbaurkapazität von mindestens 2.000 EW60. Die Klärschlammverwertungs- bzw. -entsorgungspfade für das Jahr 2014 sind in Abbildung 6 zusammengefasst. (BMLFUW, 2014).

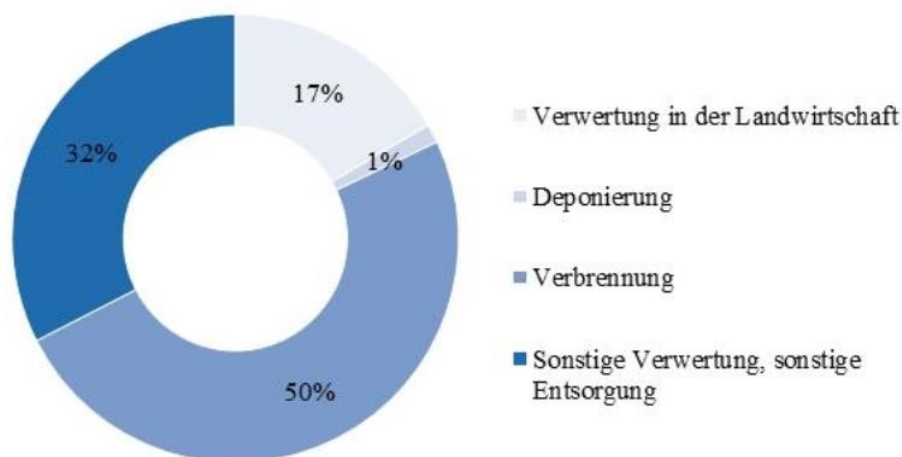


Abbildung 33: Verteilung der Klärschlammverwertung und -entsorgung im Jahr 2014 (BMLFUW, 2016)

3.12.1 Deponierung

Die aktuelle Deponieverordnung (2008) sieht abgesehen von ein paar Ausnahmen ein Verbot der Deponierung von Abfällen vor, deren Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) im Feststoff fünf Masseprozent übersteigt. Da bei Klärschlamm dieser Wert in der Regel überschritten wird, ist für die

Deponierung eine entsprechende Vorbehandlung des Klärschlammes notwendig. Aus diesem Grund ist die Menge des deponierten Klärschlammes rückläufig, alternative Entsorgungs- bzw. Verwertungspfade werden zunehmend relevanter.

3.12.2 Landwirtschaftliche Verwertung

Da im (kommunalen) Klärschlamm eine Vielzahl an Nähr- und sonstigen Wertstoffen enthalten ist, stellt die Aufbringung auf landwirtschaftliche Flächen prinzipiell eine sehr regionale und Ressourcen schonende Verwertungsmöglichkeit dar. Dabei müssen aber auch immer die Eignung des Bodens und die sonstigen im Klärschlamm enthaltenen Substanzen (Schwermetalle, Mikroschadstoffe etc.) berücksichtigt werden. Vor allem aufgrund von Letzteren ist in den letzten Jahren auch ein Trend hin zu Aufbringungsverboten zu erkennen.

3.12.3 Verbrennung

Bei der Verbrennung muss einerseits zwischen Mitverbrennung und andererseits Monoverbrennung unterschieden werden. Bei ersterer wird Klärschlamm primär in Müllverbrennungsanlagen, in Kohlekraftwerken oder in Zementwerken (als Ersatzbrennstoff) mitverbrannt. Aufgrund der Vielzahl an unterschiedlichen Standorten in Österreich kann dieser Verwertungspfad eine regional sinnvolle Möglichkeit darstellen. Bei der Monoverbrennung können aus der Asche Rohstoffe, die bei der Mitverbrennung verloren gehen, zurück gewonnen werden. Allerdings ist ein wirtschaftlicher Betrieb in der Regel nur bei großem Klärschlammaufkommen möglich.

3.12.4 Sonstige Verwertungsmöglichkeiten

Als weitere Klärschlamm Entsorgungs- bzw. -verwertungspfade können die Kompostierung, die Biokohleerzeugung mittels hydrothormaler Karbonisierung sowie die Klärschlammvergasung genannt werden. Bei ersterer wird durch biologische Prozesse organische Substanz in ein huminstoffreiches Produkt umgewandelt, das z.B. als Nährstofflieferant bzw. zur Bodenverbesserung eingesetzt werden kann. Bei zweiterer wird aus dem Klärschlamm bei Temperaturen im Bereich von 180 bis 250°C und Drücken zwischen 10 und 40 bar Biokohle erzeugt, die wie Braunkohle verbrannt werden kann. Bei der Klärschlammvergasung entsteht monodeponierbare (phosphorhaltige) Schlacke bzw. Asche sowie darüber hinaus „Synthesegas“, welches nach einer entsprechenden Aufbereitung in Blockheizkraftwerken verwertet werden kann.

4 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Dieses Projekt hat die vielfältigen Schnittstellen zwischen den Themen „Abwasser“ und „Energie“ deutlich aufgezeigt. Einerseits wurden die vielfältigen Möglichkeiten der Nutzung von Energie aus dem Abwasser analysiert, andererseits kam auch klar zum Ausdruck, dass die Abwasserreinigung beachtliche Mengen Energie benötigt und damit hier auch erhebliches Einsparpotenzial vorhanden ist, das von volkswirtschaftlicher Bedeutung ist. Teilweise wird die vorhandene Energie bereits genutzt (v.a. Klärgas), viele Quellen wie v.a. die thermische Nutzung des Abwassers mittels Wärmepumpen, welche ein besonders hohes Potenzial aufweist, sind aber noch weitgehend ungenutzt.

Das Beispiel der Optimierung der bestehenden Anlage Amstetten hat gezeigt, dass Wärmepumpenlösungen mit Abwasserenergie spezielle Rahmenbedingungen aufweisen können, die aber erst durch eine vollständige Systemanalyse nutzbar gemacht werden können.

Gemeinden und Bauherren wurde mit den im Projekt entwickelten Tools eine Möglichkeit gegeben, sich einfach, schnell und aussagekräftig über die räumlichen Voraussetzungen, die ökonomisch optimale Technologiewahl und die ökologischen Effekte der Nutzung von Abwasserenergie informieren zu können. Durch diesen niederschweligen Zugang zum Thema erhofft sich das Projektteam, dass in Zukunft mehr Projekte realisiert werden können. Dies wurde mit der Stakeholderanalyse und der Darstellung eines Planungsprozesses weiter vertieft.

Als limitierend für die Nutzung von Abwasserenergie erweisen sich oftmals nicht die begrenzten Energiepotenziale, sondern rein praktische Hindernisse oder Bedenken z.B. hinsichtlich des Erhalts der Reinigungsleistung bei Wärmeentnahme aus dem Kanal. Dafür wurden in diesem Projekt einige Aspekte aufgegriffen und Berechnungsgrundlagen weiterentwickelt, die bei der Planung von thermischen Abwassernutzungsanlagen beachtet werden müssen.

Forschungsbedarf besteht nach Beendigung des gegenständlichen Forschungsprojektes u.a. noch bei folgenden Punkten:

- Schaffung einer fundierten Grundlage für verbindliche Vorgaben bezüglich der zulässigen Leistungsentnahme aus dem Kanal
- Weiterentwicklung der Modelle zur Berechnung der Fortpflanzung von Temperaturveränderungen im Kanal
- Analyse des Einflusses von Temperaturänderungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlage sowie Identifikation und Bewertung geeigneter betrieblicher Gegenmaßnahmen
- Im Bereich der energetischen Nutzung des Kanals sind auch datenbedingt noch viele Fragen offen – daher Erarbeitung einer Methode, mit der einfach und zuverlässig die Lage des Kanalnetzes, die Abwassermengen und -temperaturen ermittelt werden können.

5 Literaturverzeichnis

- Assmann, M., Dürr, K., Haberfellner-Veit, E., Laber, J., Lindtner, S., Tschiesche, U. (2015): Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft 2016. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- BMLFUW (2016): Kommunales Abwasser. Österreichischer Bericht 2016. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- BMLFUW, UBA (2014): Lagekoordinaten Kommunale Kläranlagen Datenstand: AT - Kläranlagenbericht 2014, Ausbaupazitäten, aktuelle Belastung, Trockenwetterzufluss.
- BMWWF (2014): Energiestatus Österreich 2014. Entwicklung bis 2012. BMWWF, Wien.
- DWA (Hrsg.) (2010): Energiepotenziale in der deutschen Wasserwirtschaft. Schwerpunkt Abwasser. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Deutschland.
- DWA (2009): Merkblatt DWA-M114. Energie aus Abwasser - Wärme- und Lageenergie. Hennef, Deutschland.
- FiW (2000): Energieverbrauch und Energienutzungspotenziale bei der Abwasserableitung. Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V., Aachen.
- Fenzl, R. (2011): Im Spiegel der Statistik: Die öffentliche Kanalisation in Österreich. Master-Projektarbeit 215, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau, Technische Universität Graz.

- Gaderer, M., Lautenbach, M., Fischer, T., Ebertsch, G. (2007): Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Bayerisches Zentrum für angewandte Energieforschung e.V. (ZAE Bayern), Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Augsburg.
- Gaius-Obaseki, T. (2010): Hydropower opportunities in the water industry. *International Journal of Environmental Sciences* 1, 392–402.
- Koch, M., Nietlisbach, A., Känel, B., Calderoni, M., Wille, B., Müller, R., Bretscher, P., Wanner, O., Siegrist, H., Peter, A., Müller, E.A., Kobel, B., Roth, Y. (2010): Heizen und Kühlen mit Abwasser-Leitfaden für die Planung, Bewilligung und Realisierung von Anlagen zur Abwasserenergienutzung. Baudirektion Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich, Zürich.
- Kollmann, R., Neugebauer, G., Kretschmer, F., Truger, B., Kindermann, H., Stoeglehner, G., et al. (2016). Renewable energy from wastewater - Practical aspects of integrating a wastewater treatment plant into local energy supply concepts. *Journal of Cleaner Production*. doi:10.1016/j.jclepro.2016.08.168
- Kretschmer, F., Ertl, T. (2010): Thermische Abwassernutzung aus siedlungswasserwirtschaftlicher Sicht, in: Energiemanagement in Der Abwasserwirtschaft - Kanal Und Kläranlagen. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband.
- Kretschmer, F., Weissenbacher, N., & Ertl, T. (2015). Integration of Wastewater Treatment Plants into Regional Energy Supply Concepts. *Sustainable Sanitation Practice*, 22, 4–9.
- Kretschmer, F., Neugebauer, G., Kollmann, R., Eder, M., Zach, F., Zottl, A., Narodoslawsky, M., Stoeglehner, G., Ertl, T. (2016a): Resource recovery from wastewater in Austria: wastewater treatment plants as regional energy cells. *Journal of Water Reuse and Desalination* 6, 421–429. doi:10.2166/wrd.2015.119
- Kretschmer, F., Neugebauer, G., Stoeglehner, G., Ertl, T. (eingereicht): Development of a standardised procedure for participatory planning in urban water management.
- Kretschmer, F., Simperler, L., Ertl, T. (2016b): Analysing wastewater temperature development in a sewer system as a basis for the evaluation of wastewater heat recovery potentials. *Energy and Buildings* 128, 639–648. doi:10.1016/j.enbuild.2016.07.024
- Land NÖ (2003): Abwasser-Entsorgung in Niederösterreich – Spezieller Teil – Stand 2003. Amt der niederösterreichischen Landesregierung. URL: https://www.noe.gv.at/bilder/d62/Broschuere_Abwasserentsorgung_in_NOE_Stand_2003.pdf [abgefragt am 21.12.2016]
- Lindtner, S. (2008): Leitfaden zur Erstellung eines Energiekonzeptes Kommunaler Kläranlagen. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Loibl, H., Maslaton, M., Bredow, H. (2008): Biogasanlagen im EEG 2009. Erich Schmidt Verlag GmbH & Co, Berlin.
- Neugebauer, G., Kretschmer, F., Kollmann, R., Narodoslawsky, M., Ertl, T., Stoeglehner, G. (2015): Mapping thermal energy resource potentials from wastewater treatment plants. *Sustainability (Switzerland)* 7, 12988–13010. doi:10.3390/su71012988
- Neugebauer, G., & Stöglehner, G. (2015). Realising energy potentials from wastewater by integrating spatial and energy planning. *Sustainable Sanitation Practice*, 22, 15–21.

- Neunteufel, R., Ertl, T., Spindler, A., Lukas, A., Perfler, R., Schwarz, D., Zessner, M., Haberl, R. (2012): Technische Herausforderungen in der Siedlungswasserwirtschaft. BMLFUW, Wien.
- ÖWAV (2014): Klärschlamm als Ressource, ÖWAV-Positionspapier. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- Schulz, W., Heitmann, S., Hartmann, D., Manske, S., Erjawetz, S., Risse, S., Rübiger, N., Schlüter, M., Jahn, K., Ehlers, B., Havran, T., Schnober, M. (2007): Leitfaden Verwertung von Wärmeüberschüssen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Bremer Energie Institut, Universität Bremen, Bremen.
- Spatzierer, G. (2014): Nachbarschafts- und Kanalanlagenliste. Kanal- und Kläranlagennachbarschaften. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- Statistik Austria (2015a): Arbeitsstättenzählung 2011.
- Statistik Austria (2015b): Nutzenergieanalyse 2011.
- Statistik Austria (2012): Adress-GWR Online. Handbuch, Teil C, Anhang 2, Merkmalskatalog.
- Stöglehner, G., Narodoslawsky, M., Steinmüller, H., Steininger, K., Weiss, M., Mitter, H., Neugebauer, G., Weber, G., Niemetz, N., Kettl, K.-H., Eder, M., Sandor, N., Pflüglmayer, B., Markl, B., Kollmann, A., Friedl, C., Lindorfer, J., Luger, M., Kulmer, V. (2011): PlanVision – Visionen für eine energieoptimierte Raumplanung. Klima- und Energiefonds, Wien.

6 Kontaktdaten

Projektleiter: DI Franz Zach

Institut/Unternehmen : Österreichische Energieagentur

Kontaktadresse

Postadresse	1150 Wien, Mariahilfer Straße 136
Telefon	+43 (0)1 586 1524-106
Fax	+43 (0)1 586 1524-340
E-Mail	Franz.zach@energyagency.at
Website	www.energyagency.at

Auflistung der weiteren Projekt- bzw. KooperationspartnerInnen, Institute oder Unternehmen:

Universität für Bodenkultur

TU Graz

InfraWatt

AIT GmbH

Ochsner Wärmepumpen GmbH