



Diplomarbeit

ENERGIE AUS ABWASSER DURCH RÜCKGEWINNUNG VON WÄRME AM BEISPIEL EINER ABWASSERREINIGUNGSANLAGE

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Krampe

(E226 Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement, Forschungsbereich
Wassergütewirtschaft)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

von

Jakob Sautner

01616713

Wien, im Jänner 2025

Jakob Sautner BSc

Danksagung

Meinen herzlichen Dank spreche ich an alle Personen aus, die zur Erarbeitung dieser Diplomarbeit beigetragen haben.

Besonderer Dank gilt Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jörg Krampe, der mir als Betreuer stets mit guten Ratschlägen und konstruktivem Feedback zur Seite stand und mir ermöglichte, diese Diplomarbeit am Institut für Wassergüte und Ressourcenmanagement durchzuführen.

Ein großer Dank gebührt auch der Firma Team Kernstock GmbH, die mich mit ihrer Fachkenntnis und praktischen Unterstützung begleitet hat und diese Arbeit durch die Kooperation mit der Kläranlage Guntramsdorf möglich gemacht hat.

Außerdem bedanke ich mich bei der Betriebsleiterin der Kläranlage Guntramsdorf, Frau Ing. Claudia Czvitkovich, für die gute Zusammenarbeit und die Bereitstellung der notwendigen Daten.

Abschließend gilt ein besonderer Dank meinen Eltern, die mich während meines gesamten Studiums finanziell und emotional unterstützt haben. Ohne ihre Hilfe wäre dieser Weg nicht möglich gewesen.

Kurzfassung

In dieser Diplomarbeit werden die Möglichkeiten zur Rückgewinnung von thermischer Energie aus dem Abwasser gezeigt. Das Thema ist durch die Klimakrise und die dadurch erforderliche Dekarbonisierung der thermischen Energiebereitstellung besonders relevant. In den theoretischen Grundlagen werden zuerst die möglichen Standorte und anschließend die erforderlichen Anlagenteile zur Wärmegewinnung erläutert. Weiters wird der Wärmebedarf einer Kläranlage aufgeschlüsselt, um etwaige Verbraucher der thermischen Energie zu identifizieren. Anhand einer Potenzial- sowie einer Machbarkeitsstudie werden Fragestellungen zur ökologischen und ökonomischen Nutzung ausgearbeitet. In der Potenzialstudie werden geeignete Standorte im Kanalnetz oder auf der Kläranlage identifiziert. Mittels der darauf aufbauenden Machbarkeitsstudie wird ein gewählter Standort genauer untersucht. Als Studienbeispiel wird das Kanalnetz samt Abwasserreinigungsanlage der Marktgemeinde Guntramsdorf herangezogen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine gut ausgelegte Anlage zur Wärmerückgewinnung einen Beitrag zur Dekarbonisierung leisten kann und zudem wirtschaftlich ist. In Österreich wird das Potenzial, welches im Abwasser steckt, nur sehr wenig genutzt. Ein flächendeckender Ausbau von Wärmerückgewinnungsanlagen könnte einen wesentlichen Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels leisten.

Abstract

This thesis shows possibilities for the recovery of thermal energy from wastewater. The topic is relevant due to the climate crisis and the resulting need to decarbonize the thermal energy supply. First in the theoretical basics possible locations and components required for heat recovery are explained. Furthermore, the heat demand of a wastewater treatment plant is analyzed to identify consumers of the thermal energy. A potential study and a feasibility study are conducted to evaluate the ecological and economical potential of the recovered thermal energy. The potential study identifies suitable locations in the sewer network or at the wastewater treatment plant. Based on this, the feasibility study is used to examine a selected site in more detail. As example the sewer network and the wastewater treatment plant of Guntramsdorf is used. The results show that a well-designed heat recovery system can decarbonize the thermal energy supply and is economical as well. In Austria the potential of thermal energy recovered from wastewater is not fully used. A nationwide implementation of heat recovery systems could make a significant contribution to stop the ongoing climate change.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Thermische Energie in Österreich	1
1.2	Verlorene Energie.....	1
1.3	Forschungsfragen.....	2
1.4	Aufbau und Struktur der Arbeit	2
2	Theoretische Grundlagen.....	3
2.1	Energie aus Abwasser.....	3
2.2	Standorte zur Wärme- / Kälterückgewinnung	3
2.2.1	Gebäude	3
2.2.2	Kanalnetz.....	4
2.2.3	Kläranlage.....	5
2.3	Anlagenteile für die Gewinnung thermischer Energie.....	7
2.3.1	Wärmetauscher.....	7
2.3.2	Wärmepumpe	10
2.4	Wärmebedarf einer Kläranlage.....	11
2.4.1	Betriebsgebäude.....	12
2.4.2	Faulturm.....	12
2.4.3	Klärschlammrocknung	14
2.4.4	Beheizte Räumlerlaufbahn	19
2.5	Auswirkungen auf den Vorfluter	19
2.6	Verteilssysteme der rückgewonnenen Wärme	20
2.7	Mischungsrechnung	21
2.8	Potenzielle Wärmeentzugsleistung.....	22
3	Kanalnetz und Kläranlage Guntramsdorf	23
4	Ergebnisse der Studien	26
4.1	Potenzialstudie	26
4.1.1	Themen einer Potenzialstudie.....	26
4.1.2	Vorbeurteilung des Kanalnetzes	26
4.1.3	Daten der Kläranlage Guntramsdorf	27
4.1.4	Nutzung des thermischen Potenzials im Kanalnetz	31
4.1.5	Nutzung des thermischen Potenzials im Kläranlagenablauf	38

4.1.6	Energiepotenzialkarte	40
4.2	Machbarkeitsstudie.....	42
4.2.1	Themen einer Machbarkeitsstudie	42
4.2.2	Allgemein	42
4.2.3	Bewertung des Standortes.....	43
4.2.4	Potenzielle Wärmeentzugsleistung im Kläranlagenablauf	43
4.2.5	Nutzungspotenzial auf Abnehmerseite	44
4.2.6	Wärmebedarf der Kläranlage Guntramsdorf.....	50
4.2.7	Wärmeversorgungsinfrastruktur im Umfeld.....	54
4.2.8	Potenzielle Abnehmer im Umkreis der Kläranlage.....	54
4.2.9	Ökonomische Gesichtspunkte und Auflagen	55
5	Zusammenfassung.....	60
5.1	Potenzialstudie	60
5.2	Machbarkeitsstudie.....	61
5.3	Ausblick.....	62
6	Literaturverzeichnis	63
7	Abbildungsverzeichnis.....	66
8	Formelverzeichnis	67
9	Tabellenverzeichnis	68
10	Abkürzungsverzeichnis	69

1 Einleitung

1.1 Thermische Energie in Österreich

Mit dem Jahr 2040 will Österreich die eigene Energieversorgung völlig CO₂ neutral gestalten. Bezogen auf die Wärmeversorgung ist dabei noch sehr viel Aufwand nötig, denn nur etwa ein Drittel des Wärmebedarfs in Österreich wird mit erneuerbaren Energieträgern abgedeckt. Den größten Anteil zur Bereitstellung von thermischer Energie stellt die Nutzung von Erdgas dar. In der Industrie fallen zirka 49% der erforderlichen Wärmeenergie auf Erdgas, in den privaten Haushalten sind es zirka 24%. Der zweite große Vertreter der fossilen Energieträger in Österreich ist das Erdöl. Um die Dekarbonisierung der in Österreich verwendeten Energieträger voranzutreiben, müssen alle Möglichkeiten an ökologisch wertvollen Energiepotenzialen ausgeschöpft werden. (Wirtschaftskammer Österreich, 2024)

Das „Erneuerbare-Wärme-Gesetz (EWG)“ ist mit 29. Februar 2024 in Kraft getreten. Dieses Gesetz untersagt den Einbau von Heizungsanlagen, die mit fossilen Brennstoffen betrieben werden (BGBl. I Nr. 8/2024, idgF). Weiters ist ein Stufenplan für die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung in Österreich erstellt worden. Es wurden auch viele Förderprogramme eingerichtet, um den Umstieg auf erneuerbare Energie für die Bevölkerung zu erleichtern.

1.2 Verlorene Energie

Tag für Tag gehen große Mengen an Energie ungenutzt verloren. Die Rede ist von Abwasser, in dem ein großes Wärmepotenzial steckt. Mit moderner Technologie kann mittels Wärmepumpen die Energie aus dem Abwasser zurückgewonnen werden, um diese für Gebäudeheizungen und Warmwasseraufbereitungen einzusetzen. Es wird geschätzt, dass 5 bis 10% des gesamten thermischen Energiebedarfs von Österreichs Haushalten mit der Energie aus dem Abwasser abgedeckt werden könnten (ÖWAV-Arbeitsbehelf 65, 2021). Die Rückgewinnung der Abwasserenergie kann direkt im Gebäude, in der Kanalisation oder auch auf der Kläranlage für das Heizen des Betriebsgebäudes, eines Faulturms oder für eine Schlamm-trocknung genutzt werden.

Die Abwassertemperatur in der Kanalisation liegt in der kalten Jahreszeit zwischen 10 und 15°C (DWA-M 114, 2022). Dieses Temperaturniveau bietet eine hervorragende Wärmequelle für Wärmepumpen. Wird 1 m³ Wasser um 1°C abgekühlt, können daraus 1,16 kWh an Wärmeenergie gewonnen werden (Dürrenmatt and Wanner, 2014). Im Abwasserkanal muss darauf geachtet werden, dass die Temperatur nicht unter den Bemessungsgrenzwert der Kläranlage fällt, um die biologischen Prozesse bei der Abwasserreinigung nicht zu beeinträchtigen. Daher besteht das größte Potenzial zur Gewinnung von thermischer Energie aus dem Abwasser im Kläranlagenablauf. Dort

sind große Temperaturdifferenzen möglich und es fällt die größtmögliche Abwassermenge an. Einerseits kommt es im Kläranlagenabfluss zu keiner Beeinträchtigung der Reinigungsleistung und andererseits wird der Vorfluter thermisch entlastet.

1.3 Forschungsfragen

- Welche Möglichkeiten gibt es für einen Abwasser Service Betrieb, die thermische Energie aus dem Abwasser ökologisch und ökonomisch zu gewinnen?
- Welche Standorte kommen für eine Nutzung des thermischen Potenzials des Abwassers in Frage?
- Wie kann die rückgewonnene Wärme durch den Abwasser Service Betrieb genutzt werden?

Diese Fragestellungen werden in weiterer Folge in dieser Diplomarbeit ausgearbeitet. Anhand eines Praxisbeispiels wird ein Konzept für die Abwasserwärmenutzung erstellt. Diese Diplomarbeit beinhaltet eine Potenzial- sowie eine Machbarkeitsstudie am Beispiel einer Abwasserreinigungsanlage.

1.4 Aufbau und Struktur der Arbeit

Nach der allgemeinen Einleitung der Diplomarbeit werden die theoretischen Grundlagen für das Thema „Energie aus Abwasser“ angeführt. In diesem Kapitel wird zuerst auf die verschiedenen Möglichkeiten der Gewinnung der thermischen Energie aus dem Abwasser eingegangen. Weiters wird der Wärmebedarf einer Kläranlage nach den einzelnen Bauteilen aufgeschlüsselt und damit mögliche Abnehmer der Wärmeenergie aufgezeigt. Im Kapitel 3 sind die Ergebnisse einer Potenzial- und Machbarkeitsstudie zum Thema „Energie aus Abwasser“ am Beispiel einer Abwasserreinigungsanlage ausgearbeitet. Abgeschlossen wird diese Diplomarbeit mit der Auswertung der Resultate beziehungsweise einer Zusammenfassung der verschiedenen Ausführungsvarianten.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Energie aus Abwasser

Abwasser ist in der Regel wesentlich wärmer als das Trinkwasser, das über das Trinkwasserversorgungsnetz bereitgestellt wird. Trinkwasser erfährt in der Industrie und in den privaten Haushalten eine künstliche Erwärmung, beispielsweise durch die Nutzung als Kühlwasser oder im täglichen Gebrauch. Diese Erwärmung ist nur über einen großen Energieeintrag möglich, welcher jedoch später ungenutzt in den Abfluss geleitet wird. Mit Hilfe moderner Technik kann diese thermische Energie mittels Wärmetauscher und Wärmepumpen wiedergewonnen werden. Diese Nutzung der Energie aus dem Abwasser kann einen wesentlichen Teil zur Dekarbonisierung des thermischen Energiebedarfs in Österreich beitragen.

Abwasser kann nicht nur für Heizzwecke Verwendung finden, sondern auch zur Kühlung von Gebäuden. Dafür können dieselben Anlagen wie für die Wärmenutzung mit umgekehrtem Kreislauf verwendet werden. Im Zusammenhang mit dem Einsatz für Kühlzwecke ist die maximale Einleittemperatur in die Gewässer zu beachten.

2.2 Standorte zur Wärme- / Kälterückgewinnung

Für die Rückgewinnung der Energie aus dem Abwasser stehen grundsätzlich drei übergeordnete Standorte zur Verfügung. Die Energieentnahme kann im selben Gebäude, in dem das Abwasser anfällt, erfolgen. Dabei wird von „inhouse“-Anlagen gesprochen. Ein zweiter möglicher Standort ist die Kanalisation. Hier kommt es zu wesentlich größeren Abwassermengen, daher ist das thermische Potenzial wesentlich größer. Die potenzielle Wärmeentzugsleistung auf der Kläranlage ist am größten, da dort auch die Abwassermenge ein Maximum darstellt.

2.2.1 Gebäude

Bei Gebäuden mit hohem Abwasseranfall gibt es die Möglichkeit Wärmeenergie vor der Einleitung in die Kanalisation zurückzugewinnen. Dies erfolgt beispielsweise in Industriegebäuden, großen Wohnbauten, Schwimmbädern oder Krankenhäusern. Pro Tag müssen mindestens 8 bis 10 m³ Abwasser anfallen, um eine solche Anlage wirtschaftlich zu betreiben. Dies entspricht einer Abwassermenge von zirka 60 Personen (ÖWAV-Arbeitsbehelf 65, 2021). Für diese Form der Wärmerückgewinnung stehen hohe Abwassertemperaturen, kurze Wärmetransportwege und kein Einfluss aufgrund von Niederschlagswasser. Jedoch können große Unterschiede der tageszeitlichen Abwassermenge und der im Vergleich zur Kanalisation geringe Abfluss Probleme im Betrieb bereiten.

2.2.2 Kanalnetz

Anforderungen

Um in einem Kanalnetz das thermische Potenzial auszuschöpfen, soll dieses einen Trockenwetterabfluss von mindestens 10 l/s nicht unterschreiten, um die Anlage wirtschaftlich betreiben zu können (Huber *et al.*, 2020). Weiters darf das Abwasserrohr nicht kleiner als DN400 sein (Klima- und Energiefonds, 2023). Liegen keine Daten von Durchflussmessungen im Kanalnetz vor, kann über die Anzahl der angeschlossenen Einwohner eine Abflussmenge geschätzt werden. Demnach kann als Richtwert für den geforderten Trockenwetterabfluss von zirka 10l/s ein Einzugsgebiet von etwa 5000 Einwohnerwerten herangezogen werden (ÖNORM B 2502-1, 2012).

Auswirkungen

Ein Wärmetauscher, der nachträglich in das Kanalnetz eingebaut wird, verändert die hydraulische Situation. Der Rohrquerschnitt wird verkleinert und diese Querschnittsverkleinerung muss durch die rechnerischen Reserven abgedeckt sein. Kommt es zu einer Veränderung der Hydraulik um < 5%, wird von einem geringfügigen Eingriff gesprochen (ÖWAV-Arbeitsbehelf 65, 2021). Trotzdem wird empfohlen, den Nachweis für die hydraulische Kapazität erneut zu berechnen. Durch einen nachträglich eingebauten Wärmeübertrager verschlechtert sich nicht nur die Hydraulik, sondern dieser erschwert auch die Wartungsarbeiten und die Reinigung. Auf diese Kriterien sollte im Vorhinein Bedacht genommen werden. Bei Wärmetauschern, die in die Rohrwand integriert sind oder bei Lösungen mit einem Bypass gibt es in dieser Hinsicht weniger Probleme.

In Folge einer Abkühlung gibt es nur wenige negative Auswirkungen auf das Kanalnetz. Bei Kanalsträngen, die stark durch Öl oder Fett belastet sind, kann eine Verringerung der Abwassertemperatur zu vermehrten Ab- und Anlagerungen führen. Die negativen Auswirkungen durch eine Senkung der Temperatur beschränkt sich hauptsächlich auf die Kläranlage. (ÖWAV-Arbeitsbehelf 65, 2021)

Im Gegensatz zu einer Abkühlung des Abwassers kann eine Erwärmung im Kanalnetz zu etwaigen Problemen führen. Dafür gibt es in der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung eine Beschränkung der Einleittemperatur von Abwässern in die Kanalisation von 35°C (BGBl. Nr. 186/1996, idgF). Durch diese Höchsttemperatur wurde ein Grenzwert festgelegt, jedoch kann es auch schon bei geringeren Temperaturen zu Einschränkungen kommen. Die biologische Aktivität erhöht sich durch eine Temperaturerhöhung des Abwassers und gleichzeitig verringert sich die Löslichkeit des Sauerstoffs im Wasser.

Bei hohen Temperaturen im Kanalnetz kann Schwefelwasserstoff (H₂S) entstehen. Diese Schwefelverbindung führt am betroffenen Kanalstrang zu einer erheblichen Geruchsbelastung. Weiters stellt diese eine Gefährdung für die Gesundheit der

Kanalarbeiter dar. Bei Betonbauwerken kann es durch die Bildung von Schwefelsäure zu Korrosion kommen und dies kann einen großen Schaden verursachen. (ÖWAV-Arbeitsbehelf 65, 2021)

2.2.3 Kläranlage

Die Rückgewinnung der thermischen Energie aus dem Abwasser ist auf der Kläranlage nur im Ablauf sinnvoll. Dort besteht jedoch großes Potenzial, da hier hohe Temperaturdifferenzen möglich sind und gleichzeitig der größtmögliche Durchfluss besteht. Die Menge an thermischer Energie, die im Kläranlagenablauf rückgewonnen werden kann, ist weitaus höher als der Bedarf der Kläranlage selbst. Die überschüssige Energie kann für Heizzwecke im Umfeld der Kläranlage für eine Vielzahl von Gebäuden genutzt werden. Problematisch ist die häufig sehr abgelegene Situierung von Kläranlagen und die dadurch weiten Entfernungen zu potenziellen Abnehmern.

Der große Vorteil gegenüber der Temperaturentnahme im Kanalnetz ist die unbeeinträchtigte biologische Reinigungsstufe. Für diese entstehen keine negativen Auswirkungen und es müssen keine Vorkehrungen in Form von Kompensationsmaßnahmen getroffen werden. Zudem ist die technische Ausrüstung für die Nutzung der thermischen Energie aus gereinigtem Abwasser wesentlich einfacher, da sich die im Kanalnetz vorhandenen Störstoffe nicht mehr im Abwasser befinden. Dadurch kommen auch unterschiedliche Modelle von Wärmetauschern in Frage und die Anlage kann wirtschaftlicher ausgeführt werden (Projektteam 'Energie aus Abwasser', 2012).

Idealerweise wird die gewonnene thermische Energie direkt auf der Kläranlage, beispielsweise für die Gebäudeheizung, die Beheizung eines Faulturms oder einer Schlamm Trocknung verbraucht. Bei Anlagen mit einem Faulbehälter wird die Heizung sehr selten mit der Energie aus dem Abwasser betrieben, da bei der Verwertung des Klärgases mittels Blockheizkraftwerk ebenfalls viel Abwärme entsteht. Dadurch gibt es die Idee, die Abwärme aus dem Blockheizkraftwerk, welche ein hohes Temperaturniveau von 85°C erreicht, mittels Fernwärme zu verkaufen und den Faulturn mit der thermischen Energie aus dem Abwasser sehr effizient zu betreiben. Auf dem Temperaturniveau von 38°C, welches für den Faulbehälter benötigt wird, lassen sich Wärmepumpen wesentlich wirtschaftlicher betreiben als mit einem Temperaturniveau von 85°C. Die Energie, die im Abwasser steckt, sollte nicht immer einzeln betrachtet werden, sondern in ein Gesamtenergiekonzept eingearbeitet sein. (DWA-M 114, 2022)

Wichtige Punkte, auf die bei der energetischen Nutzung im Kläranlagenablauf geachtet werden muss (ÖWAV-Arbeitsbehelf 65, 2021):

- Durch den Einbau eines Wärmetauschers im Kläranlagenablauf kann es zu einer hydraulischen Veränderung im Kläranlagenablauf kommen. Der Abfluss muss trotzdem zu jedem Zeitpunkt ungehindert möglich sein.
- Liegt die Kläranlage in einem hochwassergefährdeten Bereich, müssen die hydraulischen Bedingungen so ausgelegt sein, dass der Wärmetauscher keine negativen Auswirkungen darauf hat.
- Der Kläranlagenabfluss muss überwacht und beprobt werden. Die Wärmerückgewinnung darf keinen negativen Einfluss auf die Überwachung haben.
- Es muss geprüft werden, ob genügend Reserven für den elektrischen Energiebedarf der Anlage vorhanden sind oder ob eine eigene Stromversorgung erforderlich ist.
- Der Wärmetauscher ist regelmäßig zu reinigen, um eine gute Wärmeübertragung zu gewährleisten. Die Entsorgung des im Reinigungsprozess entstandenen Waschwassers muss bedacht werden.

Auswirkungen bei Erwärmung des Abwassers vor der Kläranlage

Eine Erhöhung der Temperatur vor der Kläranlage wird durch die Verwendung des Abwassers für Kühlzwecke hervorgerufen. Je wärmer das Abwasser, desto geringer ist die Effizienz der Sauerstoffeinbringung in der biologischen Reinigungsstufe. Dies bedeutet einen erhöhten elektrischen Energieverbrauch für den Betrieb der Sauerstoffzufuhr. Ob die thermische Energie für Kühlzwecke den erhöhten elektrischen Energieverbrauch rechtfertigt, muss für jeden Einzelfall gesondert betrachtet werden.

Auswirkungen bei Abkühlung des Abwassers vor der Kläranlage

Bei der Abkühlung der Abwassertemperatur vor der Kläranlage ist die maßgebende Größe die Bemessungstemperatur, auf die die biologische Reinigungsstufe ausgelegt ist. Nach der 1. AEV für kommunales Abwasser ist es nicht zulässig, die Temperatur unter 8°C abzusenken (BGBl. Nr. 210/1996, idgF). Dies stellt jedoch den absoluten Grenzwert dar, besser wären in etwa 10°C. Laut ÖWAV-Arbeitsbehelf 65 ist eine Wärmeentnahme als geringfügig anzusehen, wenn in den Wintermonaten die Temperatur von 10°C nicht unterschritten wird und eine Abkühlung im Kläranlagenzulauf von $\leq 0,5^\circ\text{C}$ resultiert. Ein Zusammenhang zwischen Temperaturabsenkung an der Entnahmestelle und jener im Kläranlagenzulauf kann über die in Kapitel 2.7 beschriebene Mischungsrechnung hergestellt werden. Eine hohe Restfließstrecke zur Kläranlage wirkt sich ebenfalls positiv auf die Temperatur des Abwassers aus, da sich in der Regel das Abwasser über die Bodentemperatur wieder erwärmt. Die Situierung des Wärmetauschers ist bei einer Restfließstrecke $< 1,0$ km im Kläranlagenablauf zu bevorzugen (Huber *et al.*, 2020). Bei einer Abkühlung des Abwassers ist positiv hervorzuheben, dass die Sauerstoffaufnahme des Wassers verbessert wird und somit das Belüftungssystem in der biologischen

Reinigungsstufe wirtschaftlicher betrieben werden kann. Bei Kläranlagen mit einem Faulturm muss jedoch bedacht werden, dass die Beheizung des Faulbehälters einen höheren Wärmebedarf aufweist.

2.3 Anlagenteile für die Gewinnung thermischer Energie

Für die Gewinnung thermischer Energie sind grundsätzlich zwei Anlagenteile von Bedeutung. Einerseits der Wärmetauscher, der die Temperatur aus dem Abwasser zieht und andererseits die Wärmepumpe, die den Temperaturunterschied auf ein höheres Temperaturniveau bringt. Im folgenden Abschnitt ist das Funktionsprinzip eines Wärmetauschers sowie einer Wärmepumpe beschrieben. Weiters wird auf verschiedene Bauarten eingegangen.

2.3.1 Wärmetauscher

Der Wärmetauscher verbindet die Wärmequelle mit der Wärmepumpe. Dem Abwasser wird mittels eines Wärmetauschers Wärme entzogen und anschließend mit der Wärmepumpe in nutzbare thermische Energie zum Heizen umgewandelt. Die Effizienz des Wärmetauschers ist über die Wärmeübertragungsleistung bestimmt. Diese setzt sich aus der wirksamen Wärmetauscheroberfläche, dem mittleren Temperaturunterschied zwischen Abwasser und Sekundärmedium und dem Wärmedurchgangskoeffizienten des Materials, aus dem der Wärmetauscher gefertigt ist, zusammen (Buri and Kobel, 2004).

Formel 1: Wärmeübertragungsleistung Wärmetauscher [kW] (Buri and Kobel, 2004)

$$W_{WT} = k * A_{WT} * \Delta T [kW]$$

W_{WT} Wärmeübertragungsleistung Wärmetauscher [kW]

k Wärmedurchgangskoeffizient [kW/m²*K]

A_{WT} wirksame Wärmetauscheroberfläche [m²]

ΔT mittlerer Temperaturunterschied [K]

Anlagen, die aus Edelstahl gefertigt sind, haben in der Regel einen Wärmedurchgangskoeffizienten von zirka 0,6 bis 0,9 kW/m²K (Buri and Kobel, 2004). Die besten Werte können mit dem Gegenstromprinzip erreicht werden. Dabei fließen das Abwasser und das Sekundärmedium in entgegengesetzte Richtung.

Bei einem Wärmetauscher ist eine regelmäßige Reinigung nötig, da sich durch Ablagerungen und der unvermeidbaren Bildung von Sichelhaut der Wärmedurchgang

verschlechtert. Dieser Effekt muss schon bei der Dimensionierung des Wärmetauschers mit einer erhöhten Oberfläche berücksichtigt werden. Die Reinigung von Wärmetauscheroberflächen kann, wenn möglich, mechanisch oder auch chemisch erfolgen. (Projektteam 'Energie aus Abwasser', 2012)

Nachträglich eingebauter Wärmetauscher

Häufig kommen bei der energetischen Nutzung des Abwassers nachträglich in den Kanalquerschnitt eingebaute Wärmetauscher zum Einsatz. Wichtig dabei ist, dass der durch den Wärmetauscher verringerte Kanalquerschnitt trotzdem die erforderliche hydraulische Kapazität besitzt. Der Kanalabschnitt muss sich in einem sehr guten Zustand befinden, um Wartungsarbeiten lange auszuschließen. Der Einbau des Wärmetauschers darf keine vermehrten Feststoffablagerungen hervorrufen und es dürfen sich keine Verzopfungen bilden. Etwaige Wartungsarbeiten, wie zum Beispiel Spülung des Kanals, dürfen durch den Wärmetauscher nicht beeinträchtigt werden.



Abbildung 1: Nachträglich in den Kanalquerschnitt eingebauter Wärmetauscher (Rabmer Management & Beteiligungs GmbH, 2024)

Wenn ein Kanalabschnitt neu errichtet wird, können Rohre mit integriertem Wärmetauscher eingebaut werden. Hierbei kommt es zu keiner Verringerung des Kanalquerschnitts. Grundsätzlich gelten dieselben Anforderungen wie bei einem nachträglich eingebauten Wärmetauscher. In die Rohrwand integrierte Wärmeübertrager sind aufgrund der besseren Reinigungsbedingungen im Kanalstrang zu bevorzugen.

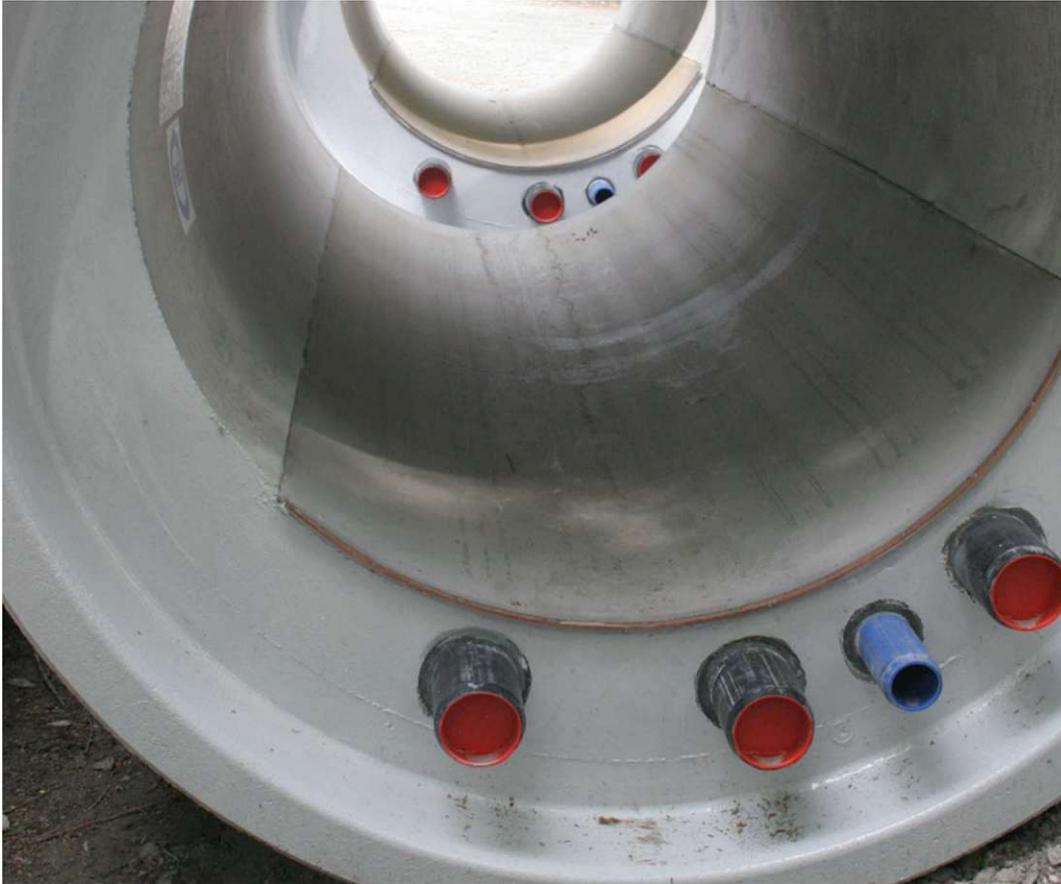


Abbildung 2: Rohr mit integriertem Wärmetauscher (RABTHERM AG, 2024)

Bypasslösung

Bei der Bypasslösung wird ein Teil des Abwasserstroms abgeleitet und durch einen Wärmetauscher geführt. Der bestehende Kanalstrang wird dadurch hydraulisch nicht verändert und Reinigungs- sowie Wartungsarbeiten können ungehindert durchgeführt werden. Wichtig ist, die Entnahmestelle beziehungsweise die Einlaufstelle so zu gestalten, dass es dort zu keinen Feststoffablagerungen oder Verzopfungen kommen kann. Die beiden Stellen der Entnahme und des Einlaufs müssen für Wartungsarbeiten und für Kontrollzwecke gut zugänglich sein. Die Abwassereigenschaften dürfen durch lange Verweilzeiten und damit verbundenem Anfaulen nicht beeinträchtigt werden. Bei einer Bypasslösung werden häufig Rohrbündelwärmetauscher eingesetzt, da diese auch einen gewissen Feststoffanteil im Abwasser vertragen.



Abbildung 3: Externer Wärmetauscher (Rabmer Management & Beteiligungs GmbH, 2024)

In Verbindung mit gereinigtem Abwasser gibt es eine wesentlich größere Auswahl an Wärmetauschern und dadurch ist dieser wirtschaftlicher zu bemessen. Dabei können, wie im Kanalnetz, Rohrbündelwärmetauscher eingesetzt werden, beziehungsweise sind hier auch Plattenwärmetauscher möglich. Der große Vorteil von Plattenwärmetauschern ist die leichtere Reinigung der Wärmetauscheroberfläche.

2.3.2 Wärmepumpe

Bei einer Wärmepumpe wird Wärme aus dem Umfeld (z.B. Abwasser, Luft) mit dem Eintrag von Arbeit auf ein weiteres in einem anderen Kreislauf befindliches Medium übertragen. Diese Wärme kann dann einer Warmwasseraufbereitung oder einem Heizkreislauf zugeführt werden. Die verwendete Arbeitsenergie einer Wärmepumpe ist wesentlich kleiner als die thermische Energie, die durch die Wärmepumpe erzeugt wird. Zudem kann der Kreislauf einer Wärmepumpe umgekehrt werden und als Kältemaschine für Kühlzwecke Verwendung finden.

Als Grundprinzip sind in einer Wärmepumpe zwei Wärmetauscher verbaut. Das sind einerseits der Verdampfer und andererseits der Verflüssiger bzw. Kondensator. Weiters werden noch ein Kompressor zum Verdichten und ein Expansionsventil benötigt. Im ersten Bauteil, dem Verdampfer, liegt das Kältemittel in flüssiger Form und einem geringen Druck vor. Ein Wärmequellenkreislauf muss mit einer ausreichenden Temperatur durch den Verdampfer fließen, um das Kältemittel zu verdampfen. Dabei muss das Kältemittel unter Druck stehen, um die erforderliche Siedetemperatur zu erreichen. Durch den Verdichter wird gleichzeitig kontinuierlich das verdampfte

Kältemittel abgesaugt und im Kompressor verdichtet. Die Temperatur des Dampfes steigt durch diese Verdichtung. Im Verflüssiger wird der hochtemperierte Dampf über einen Wärmetauscher auf das Heizmedium übertragen und gleichzeitig wird das verdampfte Kühlmittel wieder flüssig. Danach wird das flüssige Kältemittel durch das Expansionsventil wieder in den Verdampfer geleitet. In diesem Schritt entspannt bzw. expandiert sich das Kühlmittel aufgrund des Druckunterschieds des Verdampfers und des Verflüssigers. Dieses System bildet einen geschlossenen Kreislauf, der von vorne beginnt. In Abbildung 4 ist das Funktionsprinzip einer Wärmepumpe in Verbindung mit einem Wärmetauscher im Kanal veranschaulicht. (DWA-M 114, 2022)

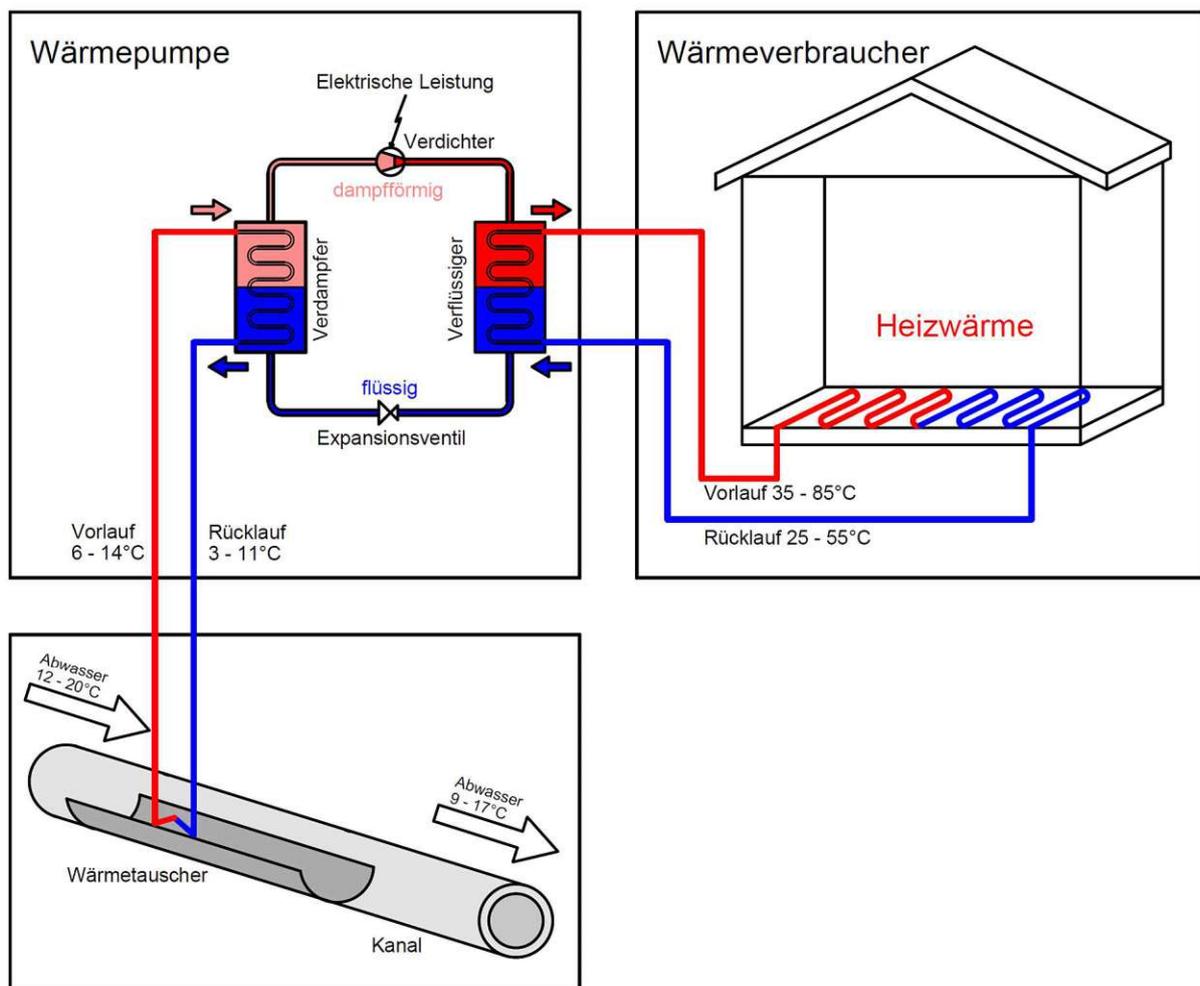


Abbildung 4: Funktionsprinzip einer Wärmepumpe (DWA-M 114, 2022)

2.4 Wärmebedarf einer Kläranlage

Der Wärmebedarf einer Kläranlage kann sich aus vielen verschiedenen Anlageteilen zusammensetzen. Je nach Größe der Kläranlage gibt es mehr oder weniger Verbraucher. In den weiteren Unterkapiteln werden die Verbraucher von thermischer Energie beschrieben.

2.4.1 Betriebsgebäude

Jede Kläranlage hat ein zu beheizendes Betriebsgebäude. Hinzu kommen noch Betriebshallen, die ebenfalls häufig beheizt werden. Der Wärmeverlust der Gebäude geschieht über Transmission, Konvektion und Wärmestrahlung. Jeder Baustoff hat eine eigene Wärmeleitfähigkeit und in Kombination mit der Wandstärke hat jedes Gebäude einen anderen U-Wert. Der U-Wert wird als Wärmedurchgangskoeffizient bezeichnet und gibt die Wärme pro Zeiteinheit an, die durch ein Bauteil fließt. Je niedriger der U-Wert, desto besser ist ein Gebäude gedämmt und benötigt weniger thermische Energie zum Heizen. Übliche Werte bei Niedrigenergiehäusern bewegen sich zwischen $0,15 - 0,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ und steigen bei Altbauten bis zu einem Wert von $1,5 - 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ an (Riccabona and Bednar, 2010). Die Spanne zwischen den U-Werten ist sehr groß und muss in jedem Einzelfall eigenständig geprüft und ermittelt werden.

Auf Kläranlagen werden manchmal Anlagenteile eingehaust und temperiert. Durch das Abwasser ist in solchen Betriebshallen eine hohe Luftwechselrate notwendig. Dafür kommen beheizte Zuluftgeräte zum Einsatz. Der Wärmebedarf für diese Geräte ist erheblich und muss in der Planung berücksichtigt werden. Die Verwendung von Energie aus Abwasser ist in diesem Fall eine sehr wirtschaftliche und ökologische Variante. Für eine Abschätzung der Wärmemenge, die benötigt wird um 1°C Temperaturerhöhung zu erzielen, kann mit einer Wärmeleistung von $0,335 \text{ W/m}^3/\text{h}$ gerechnet werden (Lebensministerium, 2008).

2.4.2 Faulturm

Bei einer Klärschlammfäulung spricht man von einem anaeroben Prozess, in dem organische Stoffe in Methan und Wasser umgewandelt werden. Dies geschieht durch Methanbakterien, die das organische Material abbauen. Für den Abbauprozess sind zumindest vier Bakterienarten nötig, die das organische Material in vier Abbauschritten verarbeiten. Im ersten Schritt kommt es zur Hydrolyse, gefolgt von der Versäuerung und der Acetatbildung. Den letzten Abbauschritt stellt die Methanbildung dar. Die Methanbakterien sind äußerst temperaturempfindlich, daher müssen Temperaturänderungen sehr langsam erfolgen. Es ist eine maximale Temperaturdifferenz von 2°C pro Woche möglich. Im warmen Milieu fühlen sich die Bakterien wohler und der Abbauprozess erfolgt schneller. Üblicherweise wird ein Faulturm im Temperaturbereich zwischen 30°C und 40°C betrieben. Diese Temperaturspanne wird als der mesophile Betriebsbereich bezeichnet. In vielen Faulbehältern hat sich die Temperatur von 38°C als optimal erwiesen. (DWA-M 368, 2014)

Bei einer Klärschlammfäulung ist der primäre Energieeintrag die Prozesswärme, die für die Erwärmung des Faulschlammes benötigt wird. Dabei kommt eine Faulbehälterheizung zum Einsatz, die über die Energie aus Abwasser betrieben

werden könnte. Für die Ermittlung des mittleren thermischen Energieverbrauchs einer solchen Anlage werden drei Teilbereiche herangezogen. Den größten Bedarf an thermischer Energie benötigt die Schlammaufheizung. Weiters kommen noch die Transmissionsverluste und die Speicherungs-, Erzeugungs- und Verteilungsverluste hinzu. In weiterer Folge wird beschrieben, wie die Menge an benötigter Energie für einen Klärschlammfaulbehälter abgeschätzt werden kann. Für die Schlammaufheizung wird der thermische Energiebedarf folgendermaßen berechnet.

Formel 2: Berechnung Schlammaufheizung (Lebensministerium, 2008)

$$Q_s = m * (t_{FR} - t_{RS}) * c$$

Q_s	Wärmebedarf für die Schlammaufheizung [kWh/d]
m	Schlammmenge [m ³ /d]
t_{FR}	Faulraumtemperatur [°C]
t_{RS}	Temperatur des Rohschlammes [°C]
c	spezifische Wärmekapazität des Rohschlammes [Wh/kg/K]

Der zweite große Teilbereich der benötigten thermischen Energie sind die Transmissionsverluste des Faulbehälters. Diese können mit Formel 3 berechnet werden.

Formel 3: Berechnung der Transmissionsverluste (Lebensministerium, 2008)

$$Q_T = A * (t_{FR} - t_{UT}) * U * 24/1000$$

Q_T	tägliche Transmissionsverluste [kWh/d]
A	Faulbehälteroberfläche [m ²]
t_{FR}	Faulraumtemperatur [°C]
t_{UT}	Temperatur der Umgebung [°C]
U	Wärmedurchgangskoeffizient [W/m ² /K]

Den dritten Teilbereich des Wärmebedarfs für die Klärschlammfaulung stellen die Speicher-, Erzeugungs-, und Verteilungsverluste dar. Diese können mit zirka 10% des Wärmebedarfs für die Schlammaufheizung zuzüglich der Transmissionsverluste abgeschätzt werden (Lebensministerium, 2008).

2.4.3 Klärschlamm-trocknung

Hintergrund

Jährlich fallen in Österreich zirka 235.000 Tonnen Klärschlamm an. Die üblichen Entsorgungswege sind dabei die Verbrennung, die Aufbringung auf landwirtschaftlichen Flächen und sonstigen Behandlungen, wie die Kompostierung oder eine mechanisch-biologische Behandlung. Dabei stellt die Verbrennung mit 53% den Großteil dar. Meistens wird der Klärschlamm in Müllverbrennungsanlagen mitverbrannt. Direkt auf Feldern aufgebracht wird zirka 20% des Klärschlammes und die restlichen rund 27% werden einer sonstigen Behandlung zugeführt. (Umweltbundesamt GmbH, 2022)

Wird der Klärschlamm als Düngemittel verwendet, kommt es schnell zu einer hohen Belastung mit schädlichen Stoffen im Boden. Es gibt zahlreiche Begrenzungen, um die Umwelt zu schützen, daher kann nur ein geringer Anteil des Klärschlammes in dieser Form Verwendung finden. Insgesamt werden über die Phosphorfällung zirka 90% des gesamten Phosphors, welcher über das Abwasser auf die Kläranlage gelangt, im Klärschlamm gespeichert. In Österreich ist das eine Menge von etwa 6500 t/a an Phosphor, die sich im Klärschlamm befinden (Müller-Rechberger *et al.*, 2024). Phosphor ist ein äußerst begrenzter Rohstoff und der Abbau ist weltweit nur sehr punktuell möglich. Die Landwirtschaft ist auf phosphorhaltige Düngemittel für die Nahrungsproduktion angewiesen. Deshalb ist die Rückgewinnung des Phosphors aus dem Klärschlamm essenziell. Um den Phosphor aus dem Klärschlamm zu recyceln, ist es notwendig, den Klärschlamm einer Schlamm-trocknung zuzuführen und anschließend zu verbrennen. Aus der Asche kann über verschiedene Verfahren der Phosphor zurückgewonnen werden.

Nach der neuen Abfallverbrennungsverordnung wird ab 1. Jänner 2033 die Verbrennung von Klärschlamm für Kläranlagen mit einer Bemessungsgröße von mindestens 20.000 EW₆₀ vorgeschrieben. Aus der Asche müssen 80% des enthaltenen Phosphors zurückgewonnen werden oder die Asche wird einer Düngemittelproduktion nach dem Düngemittelgesetz 2021 zugeführt. (BGBl. II Nr. 118/2024, idgF)

Trocknungsarten

Die Trocknungsarten unterscheiden sich verfahrenstechnisch aufgrund des Wärmeübergangs. Grundsätzlich wird zwischen der Konvektionstrocknung und der Kontakt-trocknung unterschieden.

Bei der Konvektionstrocknung wird Rauchgas oder erhitzte Luft über den Schlamm geleitet und entzieht dem Schlamm das Wasser. Anschließend werden die Luft und das verdampfte Wasser abgezogen und nachbehandelt. In der Abbildung 5 wird das Prinzip einer Konvektionstrocknung gezeigt.

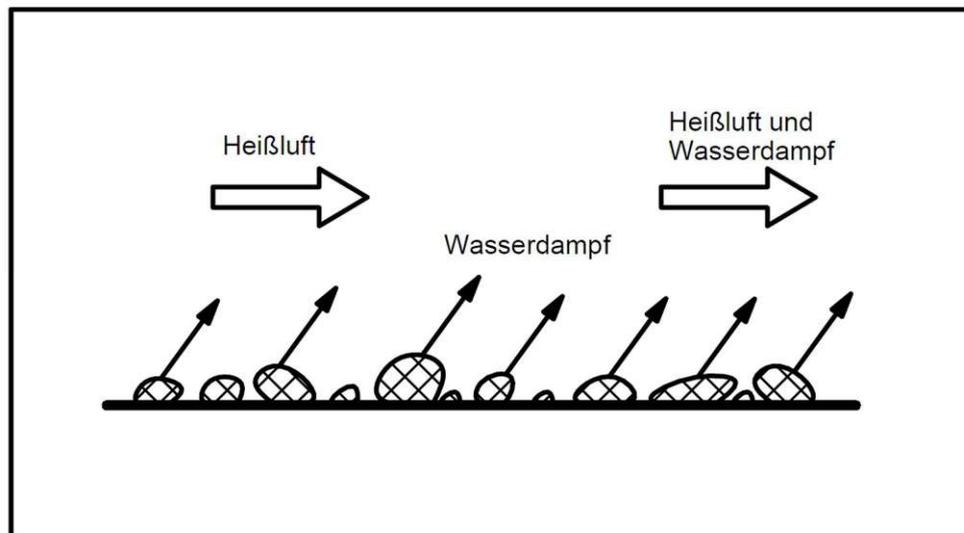


Abbildung 5: Prinzip der Konvektionstrocknung (Abwassertechnische Vereinigung e. V., 1996)

Bei der Kontaktstrocknung wird der Schlamm auf eine erhitzte Fläche aufgebracht und dadurch getrocknet. Der bei der Trocknung entstehende Wasserdampf wird anschließend abgezogen und mittels Kondensation gesammelt. Das Prinzip einer Kontaktstrocknung wird in Abbildung 6 gezeigt.

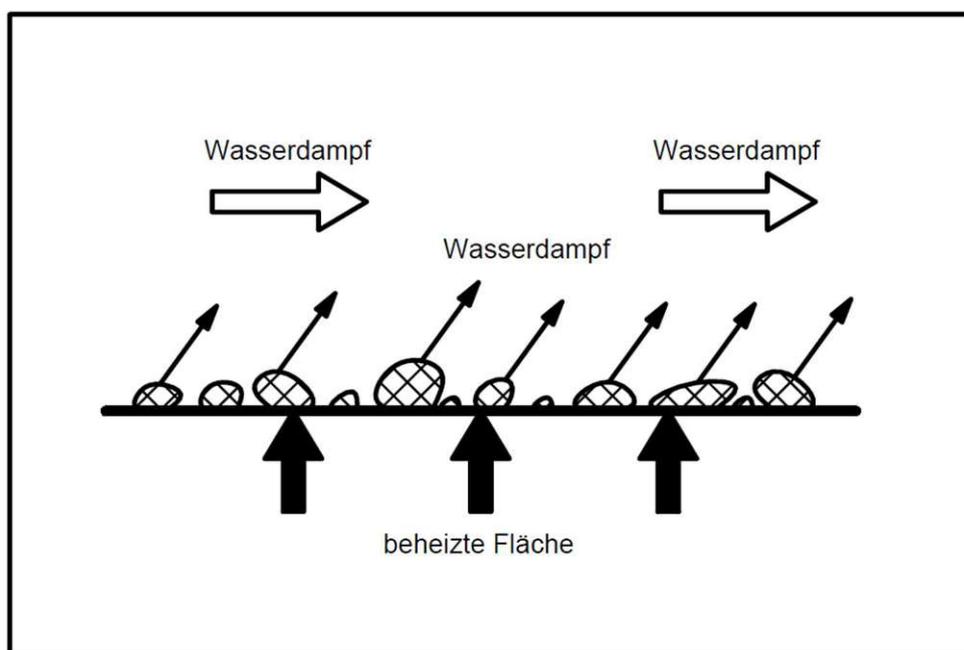


Abbildung 6: Prinzip der Kontaktstrocknung (Abwassertechnische Vereinigung e. V., 1996)

Thermischer Energiebedarf einer Schlammstrocknung

Für Klärschlammstrocknung in Kombination mit der Verwendung von Energie aus dem Abwasser kommt nur eine Niedertemperaturtrocknung ($< 100^{\circ}\text{C}$) in Frage. Die maximale Temperatur, die mittels einer Wärmepumpe in Verbindung mit Abwasser

erreicht werden kann, liegt bei einem Temperaturniveau von 85°C. Soll mit einem höheren Temperaturniveau von über 85°C getrocknet werden, muss die restliche benötigte thermische Energie aus einer anderen Energiequelle bezogen werden. Für eine Niedertemperaturtrocknung mit der Energie aus Abwasser bietet sich die Verwendung eines Bandrockners an. Bei diesem Verfahren kommt es zu einer Teiltrocknung des Klärschlammes und es kann ein Trockenrückstand bis 90% erreicht werden. Dies ist für eine Monoverbrennungsanlage, welche im Hinblick auf die Phosphorrückgewinnung einen wesentlichen Verfahrensschritt darstellt, ausreichend. Um beim Klärschlamm eine selbstständige Verbrennung zu erreichen, ist ein Heizwert zwischen 4,0 – 4,2 MJ/kg notwendig. Dafür ist bei einem Klärschlamm aus dem Faulturm ein Trockenrückstand von 40 – 48% erforderlich. Klärschlämme mit einem TR-Gehalt von über 85% haben einen Heizwert zwischen 10,0 – 12,0 MJ/kg. (DWA-M 379, 2021)

Klärschlamm-trocknungsanlagen werden üblicherweise mit vorher entwässerten Klärschlämmen beschickt. Dies erfolgt über eine maschinelle Entwässerung mit der ein Trockenrückstand zwischen 20% und 35% erreicht werden kann. Bei der maschinellen Entwässerung von Klärschlamm mit 5% Trockensubstanz zu einem TS-Gehalt von 30% kommt es zu einer Volumenreduktion von zirka 83%. (DWA-M 379, 2021)

Für die Berechnung des thermischen Energiebedarfs einer Klärschlamm-trocknung wird die Verdampfungsenthalpie von Wasser benötigt. Wasser hat bei 373 K (100°C) eine Verdampfungsenthalpie von 40,6 kJ mol⁻¹ (Schulze and Seidel, 2018). Bei geringerer Temperatur sinkt dieser Wert und kann mit folgender empirisch ermittelter Formel berechnet werden.

Formel 4: Verdampfungsenthalpie von Wasser [kJ mol⁻¹]

$$H_v = \left(50,09 - 0,9298 * \frac{T}{1000} - 65,19 * \left(\frac{T}{1000} \right)^2 \right) \left[\frac{kJ}{mol} \right]$$

H_v Verdampfungsenthalpie [kJ/mol]

T Temperatur [K]

Bei Hochtemperaturwärmepumpen ist in Kombination mit Abwasser ein Temperaturniveau von 85°C möglich. Bei dieser Temperatur hat nach Formel 4 Wasser eine Verdampfungsenthalpie von 41,4 kJ mol⁻¹. Über die molare Masse von Wasser mit einem Wert von 18,02 g/mol wird die Verdampfungsenthalpie auf 2298 kJ/kg umgerechnet. (Schulze and Seidel, 2018; Wikipedia, 2024)

Klärschlamm-trocknungsanlagen werden über die Wasserverdampfungsleistung dimensioniert. Diese wird über drei Eingangswerte berechnet.

Formel 5: Wasserverdampfungsleistung [kg/h] (DWA-M 379, 2021)

$$\dot{m}_{\text{Verdampfung}} = \dot{m}_{TR} * \left(\frac{100\%}{TR_{KS}} - \frac{100\%}{TR_{TKS}} \right)$$

$\dot{m}_{\text{Verdampfung}}$ Wasserverdampfungsleistung [kg/h]

\dot{m}_{TR} Durchsatzleistung der Trockenmasse [kg/h]

TR_{KS} Trockenrückstand des Klärschlamms bei Eintritt [%]

TR_{TKS} Trockenrückstand des Klärschlamms bei Austritt [%]

Für die weiteren Berechnungen wird noch der Massenstrom des Dickschlamms bei Eintritt benötigt.

Formel 6: Durchsatzleistung des Klärschlamms bei Eintritt [kg/h] (DWA-M 379, 2021)

$$\dot{m}_{KS} = \dot{m}_{TR} * \left(\frac{100\%}{TR_{KS}} \right)$$

\dot{m}_{KS} Durchsatzleistung des Klärschlamms bei Eintritt [kg/h]

\dot{m}_{TR} Durchsatzleistung der Trockenmasse [kg/h]

TR_{KS} Trockenrückstand des Klärschlamms bei Eintritt [%]

Die erforderliche thermische Energie für die Klärschlamm-trocknung setzt sich im Großteil aus drei Teilen zusammen. Das ist die benötigte Energie, um den Klärschlamm auf die Trocknungstemperatur zu erhitzen, das Wasser zu verdampfen und die im Prozess auftretenden Wärmeverluste.

Formel 7: Wärmemenge Trocknung [kW] (DWA-M 379, 2021)

$$\dot{Q}_{\text{Trocknung}} = \dot{Q}_{\text{Erw}} + \dot{Q}_{\text{Verdampfung}} + \dot{Q}_{\text{Verluste}}$$

$\dot{Q}_{\text{Trocknung}}$ gesamte benötigte Wärmemenge Trocknung [kW]

\dot{Q}_{Erw} Wärmemenge für die Erwärmung [kW]

$\dot{Q}_{\text{Verdampfung}}$ Wärmemenge für die Wasserverdampfung [kW]

$\dot{Q}_{\text{Verluste}}$ Wärmemenge der Verluste [kW]

Die benötigte Wärmemenge, um den Klärschlamm auf die erforderliche Trocknungstemperatur zu erhitzen, wird folgendermaßen berechnet.

Formel 8: Wärmemenge für die Erwärmung des Klärschlammes [kW] (DWA-M 379, 2021)

$$\dot{Q}_{Erw} = \dot{m}_{KS} * c_{KS} * \Delta T * \frac{1 h}{3600 s}$$

\dot{Q}_{Erw}	Wärmemenge für die Erwärmung [kW]
\dot{m}_{KS}	Durchsatzleistung des Klärschlammes bei Eintritt [kg/h]
c_{KS}	Wärmekapazität des Klärschlammes [kJ/(kg*K)]
ΔT	Temperaturunterschied [°C]

Für die Berechnung von Formel 8 ist die Wärmekapazität des Klärschlammes unbekannt und muss gesondert berechnet werden. Diese wird wie folgt berechnet.

Formel 9: Wärmekapazität des Klärschlammes [kJ/(kg*K)] (DWA-M 379, 2021)

$$c_{KS} = \frac{TR_{KS}}{100\%} * c_{TR} + \frac{100\% - TR_{KS}}{100\%} * c_{Wasser}$$

c_{KS}	Wärmekapazität des Klärschlammes [kJ/(kg*K)]
TR_{KS}	Trockenrückstand des Klärschlammes bei Eintritt [%]
c_{TR}	Wärmekapazität Trockenrückstand [kJ/(kg*K)]
c_{Wasser}	Wärmekapazität Wasser [kJ/(kg*K)]

Nach der Berechnung der benötigten Wärmemenge für die Klärschlammaufheizung folgt die thermische Energie für die Wasserverdampfung. Dafür wird die zuvor berechnete Verdampfungsenthalpie des Wassers benötigt.

Formel 10: Wärmemenge für die Wasserverdampfung [kW] (DWA-M 379, 2021)

$$\dot{Q}_{Verdampfung} = \dot{m}_{Verdampfung} * H_v * \frac{1 h}{3600 s}$$

$\dot{Q}_{Verdampfung}$	Wärmemenge für die Wasserverdampfung [kW]
$\dot{m}_{Verdampfung}$	Wasserverdampfungsleistung [kg/h]
H_v	Verdampfungsenthalpie Wasser [kJ/kg]

Der Wärmeverlust der Anlage wird mit 5% des thermischen Energieverbrauchs, der Summe der Erwärmung und der Wasserverdampfung abgeschätzt.

Formel 11: Wärmemenge der Verluste [kW] (DWA-M 379, 2021)

$$\dot{Q}_{\text{Verluste}} = (\dot{Q}_{\text{Erw}} + \dot{Q}_{\text{Verdampfung}}) * 5\%$$

$\dot{Q}_{\text{Verluste}}$ Wärmemenge der Verluste [kW]

\dot{Q}_{Erw} Wärmemenge für die Erwärmung [kW]

$\dot{Q}_{\text{Verdampfung}}$ Wärmemenge für die Wasserverdampfung [kW]

2.4.4 Beheizte Räumlerlaufbahn

Um die Beckenkronen der Nachklärbecken im Winter schnee- und eisfrei zu halten, wird diese oft beheizt ausgeführt. Dies ist in Kombination mit dem Räumler sehr wichtig, da dieser auf der Beckenkronen aufgelagert ist und darauf fährt. Die Heizung erfolgt in der Regel mit elektrisch betriebenen Heizschlangen, die in die oberste Betonschicht eingearbeitet sind. Jede elektrisch betriebene Heizung ist sowohl ökologisch als auch wirtschaftlich nicht vertretbar. In diesem Fall kann die thermische Energie aus dem Abwasser genutzt werden, um die Beckenkronen schnee- und eisfrei zu halten. Dafür kommen mit warmem Wasser durchflossene Stahlprofile zum Einsatz, auf denen sich der Räumler bewegt. Bei den Stahlprofilen ist aufgrund der Temperaturunterschiede mit Dehnungen zu rechnen, daher müssen diese in regelmäßigen Abständen unterbrochen sein. Es hat sich bewährt, die Unterbrechungen mit einem Silikonschlauch zu überbrücken. Die Energie aus Abwasser stellt in diesem Anwendungsfall eine sehr einfache Methode dar, um elektrische Energie einzusparen. (DWA, ÖWAV and VSA, 2009; DWA, 2017)

2.5 Auswirkungen auf den Vorfluter

Die Auswirkungen auf den Vorfluter sind in der Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer genau geregelt. Die Temperaturgrenzwerte sind in der Anlage H (physikalisch-chemische Qualitätskomponenten) zu finden. Grundsätzlich ist die Erwärmung von Gewässern kritischer als die Abkühlung. Das heißt, die Nutzung für Kühlzwecke ist problematischer zu betrachten, als die Nutzung für Heizzwecke. Nach der Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer sind die Temperaturänderungen bezogen auf die Wassertemperatur des Gewässers sowie die Maximaltemperaturen für die Einleitung geregelt. Dabei muss zusätzlich auf die verschiedenen Fischregionen geachtet werden. Für Salmonidengewässer darf die Temperatur des eingeleiteten Wassers ein Delta von 1,5°C auf die typischen jahreszeitlichen Wassertemperaturen des Gewässers nicht überschreiten. Zusätzlich ist es nicht erlaubt, die Maximaltemperatur von 20 bis 21,5°C zu überschreiten. Bei Cyprinidengewässern darf der Unterschied auf die typischen jahreszeitlichen

Wassertemperaturen des Gewässers nicht mehr als $3,0^{\circ}\text{C}$ betragen. Die Maximaltemperatur liegt zwischen $26,0$ und $28,0^{\circ}\text{C}$. (BGBl. II Nr. 99/2010, idgF)

2.6 Verteilsysteme der rückgewonnenen Wärme

Nachdem die Wärme über einen Wärmetauscher dem Abwasser entzogen wird, muss diese mittels einer Wärmepumpe auf ein höheres Niveau gebracht werden. Dabei kommen zwei Systeme für die Verteilung in Frage. Es kann entweder ein kaltes oder ein warmes Fernwärmenetz eingesetzt werden. Beim kalten Fernwärmenetz wird das über den Wärmetauscher erwärmte Medium über ein Leitungsnetz in die zu versorgenden Häuser geleitet. Jedes Gebäude besitzt eine eigene Heizzentrale mit einer Wärmepumpe. Ein warmes Fernwärmenetz besitzt eine große Heizzentrale nach dem Wärmetauscher und die Gebäude werden mit heißem Wasser versorgt. In Abbildung 7 sind die beiden Systeme schematisch dargestellt.

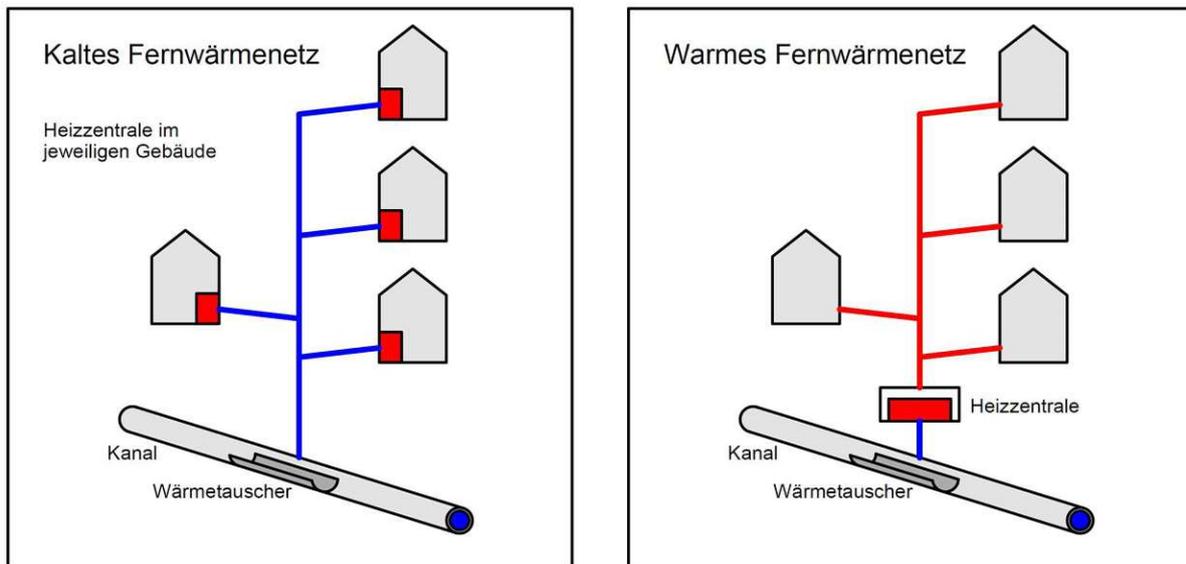


Abbildung 7: Verteilsysteme der rückgewonnenen Wärme (AWEL, 2010)

Kaltes Fernwärmenetz

Bei dem System des kalten Fernwärmenetzes wird der Energietransport mit einem tiefen Temperaturniveau durchgeführt. Dabei werden Temperaturen von $7 - 17^{\circ}\text{C}$ verwendet. Dieses System wird verwendet, wenn die Abnehmer der Energie weit entfernt von der Energiegewinnungsstelle situiert sind. Dies kann zum Beispiel bei der Energiegewinnung aus dem Kläranlagenablauf der Fall sein. (AWEL, 2010)

Vorteile:

- Geringerer Wärmeverlust beim Transport
- Die Leitungen müssen nicht gedämmt ausgeführt sein (kostengünstiger)
- Die wirtschaftlich überwindbare Distanz ist hoch (>1 km)

Warmes Fernwärmenetz

Im Fall eines warmen Fernwärmenetzes wird eine Heizzentrale in unmittelbarer Nähe zum Wärmetauscher eingesetzt. Dort werden Temperaturen von 65 – 85°C erzeugt und über wärmegeämmte Leitungen zum Energienutzer gebracht. Die gedämmten Leitungen ziehen hohe Investitionen für den Bau mit sich. Dieses System findet bei kurzen Wegen zwischen den Energienutzern oder einem nahegelegenen bestehenden Fernwärmenetz Anwendung. (AWEL, 2010)

Vorteile:

- Einfache und kostengünstige Wartung durch zentrale Lösung
- Geringer Platzbedarf in den angeschlossenen Häusern

2.7 Mischungsrechnung

Für eine Abschätzung der Wärmemenge, die dem Abwasser ohne negative Auswirkungen auf die Kläranlage entzogen werden kann, bedient man sich dem Prinzip der Mischungsrechnung. Dadurch kann die Temperatur im Kläranlagenzulauf bei Temperaturentzug am Wärmetauscher in Abhängigkeit vom Durchfluss berechnet werden. Bei der Mischungsrechnung geht man von einem linearen Zusammenhang zwischen den Durchflüssen und den Temperaturänderungen aus. Mit folgender Formel 12 kann die maximale Temperaturänderung am Wärmetauscherstandort berechnet werden.

Formel 12: Mischungsrechnung (Huber *et al.*, 2020)

$$\Delta T_{WT} = \frac{Q_{KA} * \Delta T_{KA}}{Q_{WT}}$$

ΔT_{WT}	Temperaturänderung am Wärmetauscher [°C]
Q_{WT}	Abwasserdurchfluss bei Wärmetauscher [l/s]
ΔT_{KA}	Temperaturänderung am Kläranlagenzulauf [°C]
Q_{KA}	Abwasserdurchfluss im Kläranlagenzulauf [l/s]

Für die weiteren Berechnungen in der Potenzial- sowie der Machbarkeitsstudie, ist die Abschätzung über eine Mischungsrechnung absolut ausreichend. Soll die Temperaturentwicklung in einem Kanalabschnitt genauer betrachtet werden, wurde dafür eine Software namens TEMPEST entwickelt (Dürrenmatt and Wanner, 2008). Dabei werden die Lufttemperaturen im Kanal sowie die Bodentemperatur mitberücksichtigt.

2.8 Potenzielle Wärmeentzugsleistung

Die potenzielle Wärmeentzugsleistung des Abwassers lässt sich aus der zulässigen Temperaturentnahme, der spezifischen Wärmekapazität des Abwassers multipliziert mit der Dichte und dem Durchfluss am Entnahmeort berechnen.

Formel 13: Potenzielle Wärmeentzugsleistung (Kretschmer et al., 2015)

$$P_{AW} = V_{AW} * c_{AW} * \rho_{AW} * \Delta T$$

P_{AW}	potenzielle Wärmentzugsleistung [kW]
V_{AW}	Volumenstrom des Abwassers [l/s]
c_{AW}	spezifische Wärmekapazität Abwasser [kJ/kg*K]
ρ_{AW}	Dichte des Abwassers [kg/l]
ΔT	mögliche Temperaturabsenkung [K]

3 Kanalnetz und Kläranlage Guntramsdorf

Als Beispiel wird in dieser Diplomarbeit das Kanalnetz und die Kläranlage der Marktgemeinde Guntramsdorf verwendet. Alle Abwässer der Marktgemeinde Guntramsdorf werden im eigenen Kanalnetz gesammelt und zur Kläranlage geleitet. Das Einzugsgebiet umfasst viele Wohnbauten, aber auch ein großflächiges Gewerbegebiet mit einer Vielzahl unterschiedlicher Betriebe.

Guntramsdorf

Die Marktgemeinde Guntramsdorf befindet sich im Industrieviertel in Niederösterreich und hat in etwa 10.000 Einwohner. Das Gemeindegebiet erstreckt sich über 14,85 km² und liegt auf 193 m Seehöhe (Marktgemeinde Guntramsdorf, 2025). Die Fläche teilt sich in Wohnbauland, Betriebsgebiet, Industriegebiet und Grünland auf. Das Kanalnetz und die Kläranlage werden durch den eigenen Abwasser Service Betrieb Guntramsdorf betrieben.

Kanalnetz

Das Kanalnetz teilt sich in zwei unterschiedliche Entwässerungssysteme. Der südliche Teil der Marktgemeinde wird mittels Mischwassersystem entwässert. Nur in kleineren neu errichteten Bereichen kommt ein Trennsystem zum Einsatz. Der nördliche Teil des Gemeindegebiets wird ausschließlich im Trennsystem entwässert. Beide Bereiche werden im Hauptpumpwerk der Gemeinde zusammengeführt und über eine 2,5 km lange Druckleitung (Hauptsammler) zur Abwasserreinigungsanlage gepumpt. Nach der Kläranlage wird das gereinigte Abwasser in die Schwechat, die als Vorfluter dient, abgeleitet. Insgesamt hat das Kanalnetz der Marktgemeinde Guntramsdorf eine Länge von ca. 90 km. Die Abbildung 8 gibt eine Übersicht über den Großteil des Kanalnetzes sowie über die Situierung der wichtigsten Anlagen.

Einen weiteren kleinen Zulauf zur Kläranlage stellt die Autobahnraststätte Guntramsdorf dar, die das anfallende Schmutzwasser direkt über eine eigene Druckleitung zur Kläranlage pumpt.

Kläranlage

Die Marktgemeinde Guntramsdorf verfügt über eine eigene Abwasserreinigungsanlage, welche eine Bemessungsgröße von 27.000 Einwohnerwerten hat. Die derzeitige Auslastung liegt bei zirka 15.000 EW, somit sind noch erhebliche Reserven vorhanden. Die Anlage wird mittels einstufigem Belebungsverfahren ohne Vorklärung betrieben.

Die Kläranlage besteht in der mechanischen Reinigungsstufe aus zwei Kompaktanlagen mit Feinrechen. Im Anschluss gelangt das Abwasser zum belüfteten

Sandfang und Fettfang. Diese Anlagenteile sind in zweifacher Ausführung vorhanden, um bei Wartungsarbeiten einen uneingeschränkten Betrieb zu gewährleisten. Über eine Druckleitung wird das Abwasser weiter in den Verteilschacht der Belebungsbecken gepumpt, wo es mit dem Rücklaufschlamm vermischt wird.

Die anschließende biologische Reinigungsstufe besteht aus einem Bio-P-Becken, zwei Belebungsbecken, zwei Nachklärbecken sowie einem Rücklaufschlammumpwerk. Beide Belebungsbecken haben ein Volumen von jeweils ca. 3400 m³ und sind als Stahlbeton-Umlaufbecken ausgeführt. Diese können wahlweise hintereinander oder parallel durchflossen werden und sind mit Rührwerken sowie einem feinblasigen Belüftungssystem ausgerüstet. Die Nachklärbecken sind kreisförmige Stahlbetonbecken mit einem Durchmesser von 26 m. Der Abzug des gereinigten Abwassers erfolgt mittels getauchter Rohre, die entlang der Außenwand angeordnet sind. Der Boden ist trichterförmig ausgeführt, und ein Räumschild befördert den abgesetzten Schlamm in die Mitte, wo dieser durch die Rücklaufschlammpumpe abgesaugt wird.

Die Schlammbehandlung des anfallenden Überschussschlamms erfolgt über eine mechanische Eindickung, welche den Trockensubstanzgehalt auf 5% erhöht. Anschließend wird dieser in den Schlammstabilisierungsbecken aerob stabilisiert und zum Schluss mittels Entwässerung auf einen TS-Gehalt von >35% gebracht. Der entwässerte Schlamm wird in Muldencontainern gesammelt und auf eine Klärschlammdeponie gebracht.

Weiters verfügt die Kläranlage über ein Betriebsgebäude sowie eine Betriebshalle. Im Betriebsgebäude befinden sich im Erdgeschoß ein Labor, ein Erste-Hilfe-Raum und Garderoben für das Personal. Im Obergeschoß sind Verwaltungs- und Aufenthaltsräume untergebracht. Die Betriebshalle besteht aus einer großen Garage für Betriebsfahrzeuge zur Kanalwartung, dem Rechenraum mit Rechen und Sandfang sowie einem Raum für die Entwässerungsanlage.

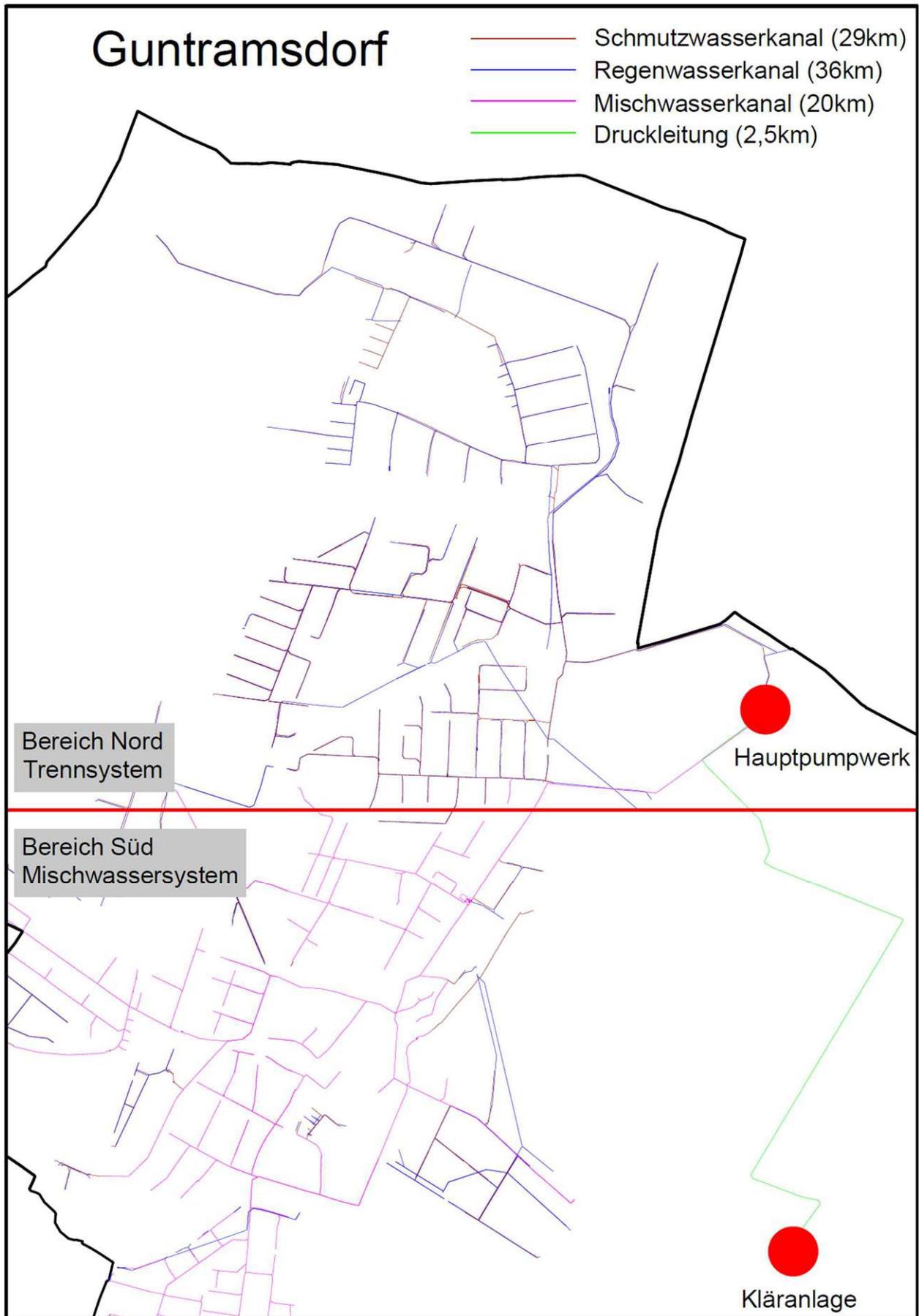


Abbildung 8: Übersichtskarte Guntramsdorf

4 Ergebnisse der Studien

In weiterer Folge sind eine Potenzialstudie sowie eine Machbarkeitsstudie für Energie aus Abwasser am Beispiel der Kläranlage Guntramsdorf ausgeführt. Die beiden Studien wurden im Auftrag der Marktgemeinde Guntramsdorf durchgeführt.

4.1 Potenzialstudie

Um die Dekarbonisierung in Österreich voranzutreiben, gibt es für die Betreiber von Abwasserkanälen und Kläranlagen ein Förderungsprogramm, welches die Finanzierung von Potenzialstudien und in weiterer Folge von Machbarkeitsstudien erleichtert.

In einer Potenzialstudie wird das gesamte Einzugsgebiet einer Kläranlage im Hinblick auf das thermische Potenzial im Abwasser untersucht. Dabei werden das öffentliche Kanalnetz und der Kläranlagenablauf auf bestimmte Aspekte geprüft. Dies dient als Basis für gezielte Projektentwicklungen, die in weiterer Folge in einer Machbarkeitsstudie ausgearbeitet werden.

4.1.1 Themen einer Potenzialstudie

- Auswahlverfahren an geeigneten Standorten im Kanalnetz
- Trockenwettermessungen von Durchfluss, Temperatur und Geschwindigkeit für Tagesganglinie (24 – Stunden Messung)
- Auswertung von Zu- und Ablaufdaten (Durchfluss und Temperatur) der Kläranlage
- Erstellung einer Energiepotenzialkarte des Kanalnetzes
- Auflistung von potenziellen Abnehmern an geeigneten Standorten
- Darstellung der Ergebnisse in einem technischen Bericht (Potenzialstudie) (Klima- und Energiefonds, 2023)

4.1.2 Vorbeurteilung des Kanalnetzes

Im Zuge der Vorbeurteilung des Kanalnetzes wurden über den Kanalkataster alle Kanalstränge mit einem Mindestdurchmesser von DN 400 identifiziert, die eine Restfließstrecke zur Abwasserbeseitigungsanlage von mindestens 1 km aufweisen. Aufgrund der 2,5 km langen Kanalleitung nach dem Hauptpumpwerk ist die Auflage für die Restfließstrecke im gesamten Gemeindegebiet erfüllt. Anschließend wurden die potenziellen Kanalstränge über die angeschlossenen Einwohner abgeschätzt und beurteilt, ob der erforderliche Trockenwetterabfluss von 10 l/s erreicht wird.

4.1.3 Daten der Kläranlage Guntramsdorf

Als Grundlage für die Abschätzung des thermischen Potenzials aus dem Abwasser wurden die Daten der Kläranlageneigenüberwachung verwendet. Von den Jahren 2020 bis 2023 wurden Durchflüsse und Temperatur ausgewertet und daraus Monatsmittelwerte berechnet. Aus den Zulaufdaten wurden Rückschlüsse für das thermische Potenzial aus dem Kanalnetz gezogen. Abbildung 9 verdeutlicht, dass in den Wintermonaten die mittlere Abwassertemperatur im Kanalnetz nie unter 12°C fällt. Die Kläranlage ist auf eine Bemessungstemperatur in der biologischen Reinigungsstufe von 10°C ausgelegt, wodurch sich eine mögliche Absenkung der Abwassertemperatur auch in den Wintermonaten ergibt. In weiterer Folge wird untersucht, an welchen Standorten dieses thermische Potenzial am besten genutzt werden kann.

Die nachfolgenden Tabelle 1 und Tabelle 2 zeigen die Ermittlung der Monatsmittelwerte der Zulauftemperatur und der Zuflussmenge der Kläranlage aus den Jahren 2020 bis 2023. Die Daten stammen aus der Kläranlageneigenüberwachung. Zugehörig zu den Tabellen werden in Abbildung 9 und Abbildung 10 die monatlichen Änderungen im Zulauf über einen Jahresverlauf dargestellt.

Tabelle 1: Monatsmittelwerte der Temperatur [°C] im Zulauf der Kläranlage

Monatsmittel Temperatur im Zulauf [°C]					
Monat	2023	2022	2021	2020	Mittelwert
Jänner	13,3	13,2	13,2	13,5	13,3
Februar	12,5	12,6	12,4	12,7	12,6
März	13,2	13	12,5	13,2	13,0
April	12,9	13,2	13	13,8	13,2
Mai	14,1	14,7	14,2	14,7	14,4
Juni	16,0	16,3	16,3	16,1	16,2
Juli	17,6	18,3	18,4	18,1	18,1
August	18,1	19,5	18,8	19,3	18,9
September	18,6	19,2	18,7	19,1	18,9
Oktober	17,7	17,9	17,8	17,4	17,7
November	15,0	16,3	16,1	16,5	16,0
Dezember	12,3	14,4	14,3	14,8	14,0
Mittelwert	15,1	15,7	15,5	15,8	15,5
Min	12,3	12,6	12,4	12,7	12,5
Max	18,6	19,5	18,8	19,3	19,1
Min Monat	Dezember	Februar	Februar	Februar	Februar

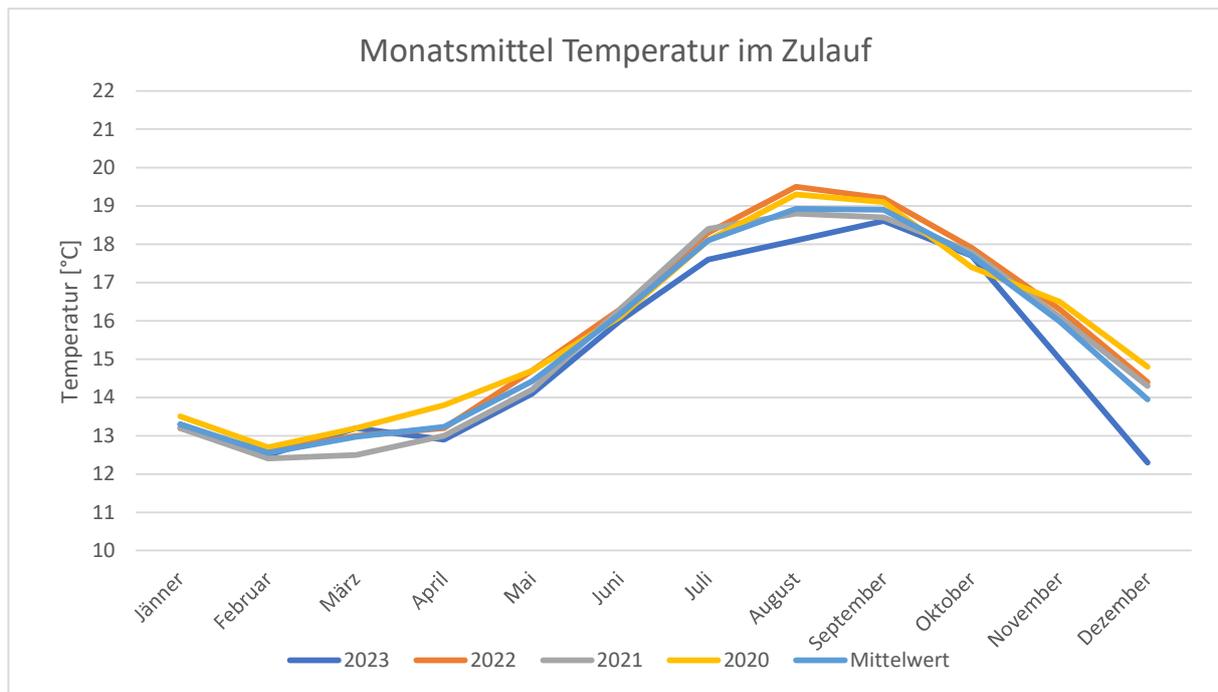


Abbildung 9: Monatsmittelwerte der Temperatur [°C] im Zulauf der Kläranlage

Tabelle 2: Monatsmittel Zufluss Q [l/s] zur Kläranlage

Monatsmittel Zufluss Q im Zulauf [l/s]					
Monat	2023	2022	2021	2020	Mittelwert
Jänner	40,7	40,5	47,4	37,5	41,5
Februar	45,7	43	51,1	44,6	46,1
März	36,9	36,4	42	38,6	38,5
April	60,1	42,7	42	33,0	44,5
Mai	68	39,7	43,7	40,4	48,0
Juni	53,1	51,1	37,6	53,2	48,8
Juli	36	30,1	41,1	36,3	35,9
August	43,4	26,4	58,5	35,6	41,0
September	32,2	31,3	38,7	42,4	36,2
Oktober	35,6	31,1	35,1	51,5	38,3
November	53,1	38,4	39,3	38,7	42,4
Dezember	69,7	37,9	40,8	38,7	46,8
Mittelwert	47,9	37,4	43,1	40,9	42,3
Min	32,2	26,4	35,1	33,0	31,7
Max	69,7	51,1	58,5	53,2	58,1
Min Monat	September	August	Oktober	April	-

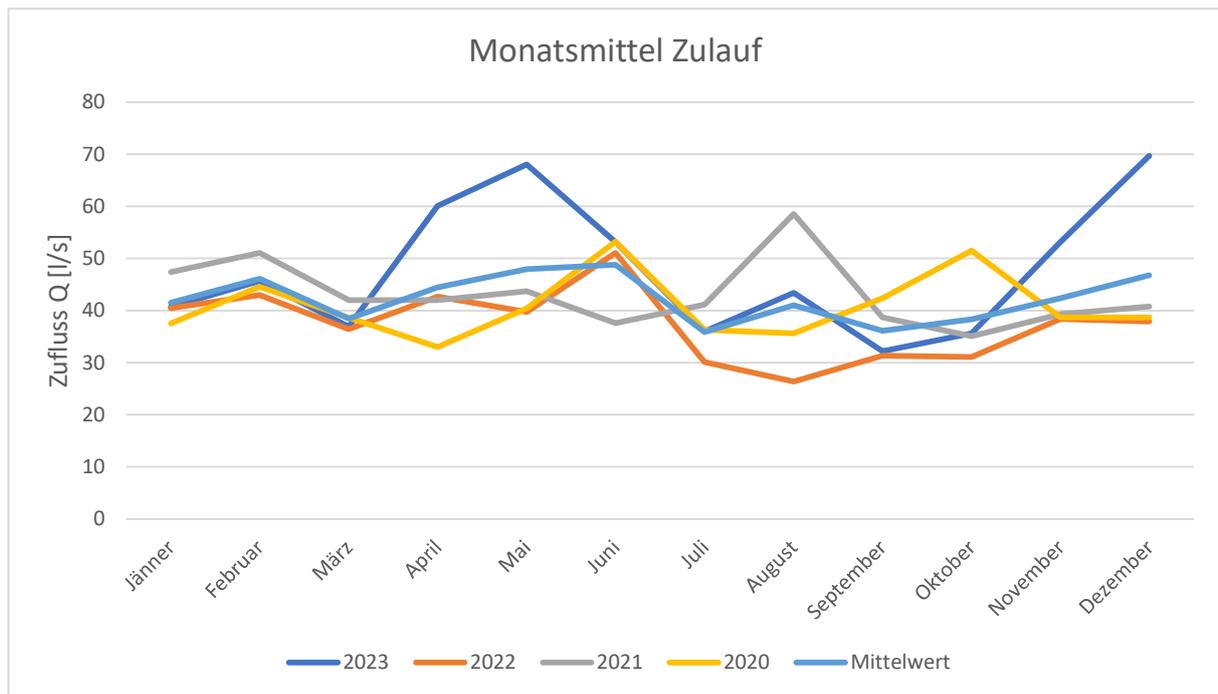


Abbildung 10: Monatsmittel Zufluss Q [l/s] zur Kläranlage

Analog zu den Zulaufdaten der Kläranlage, die für die Ermittlung des thermischen Potenzials im Kanalnetz herangezogen werden, werden die Daten des Kläranlagenablaufs für eine Nutzung der Energie aus dem Abwasser auf der Kläranlage untersucht.

Wie bereits bei den Zulaufdaten zeigen Tabelle 3 und Tabelle 4 die Ermittlung der Monatsmittelwerte der Abflusstemperatur und der Abflussmenge der Kläranlage aus den Jahren 2020 bis 2023. Die Daten stammen aus der Kläranlageneigenüberwachung. Zugehörig zu den Tabellen werden in Abbildung 11 und Abbildung 12 die monatlichen Änderungen im Kläranlagenablauf über einen Jahresverlauf dargestellt.

Tabelle 3: Monatsmittelwerte der Temperatur [°C] im Ablauf der Kläranlage

Monatsmittel Temperatur im Ablauf [°C]					
Monat	2023	2022	2021	2020	Mittelwert
Jänner	11,9	11,0	11,3	12,2	11,6
Februar	11,0	11,2	11,1	11,9	11,3
März	12,3	11,8	11,6	12,7	12,1
April	12,8	13,1	12,8	15,1	13,5
Mai	15,3	16,7	14,9	16,9	16,0
Juni	17,8	18,8	18,9	18,1	18,4
Juli	20,5	20,8	20,7	20,1	20,5
August	20,4	21,7	19,8	21,2	20,8
September	20,6	19,6	19,2	19,6	19,8
Oktober	18,6	17,8	16,8	16,6	17,5
November	14,8	15,2	14,3	15,0	14,8
Dezember	12,7	12,6	12,2	12,8	12,6
Mittelwert	15,7	15,9	15,3	16,0	15,7
Min	11,0	11,0	11,1	11,9	11,3
Max	20,6	21,7	20,7	21,2	21,1
Min Monat	Februar	Jänner	Februar	Februar	Februar

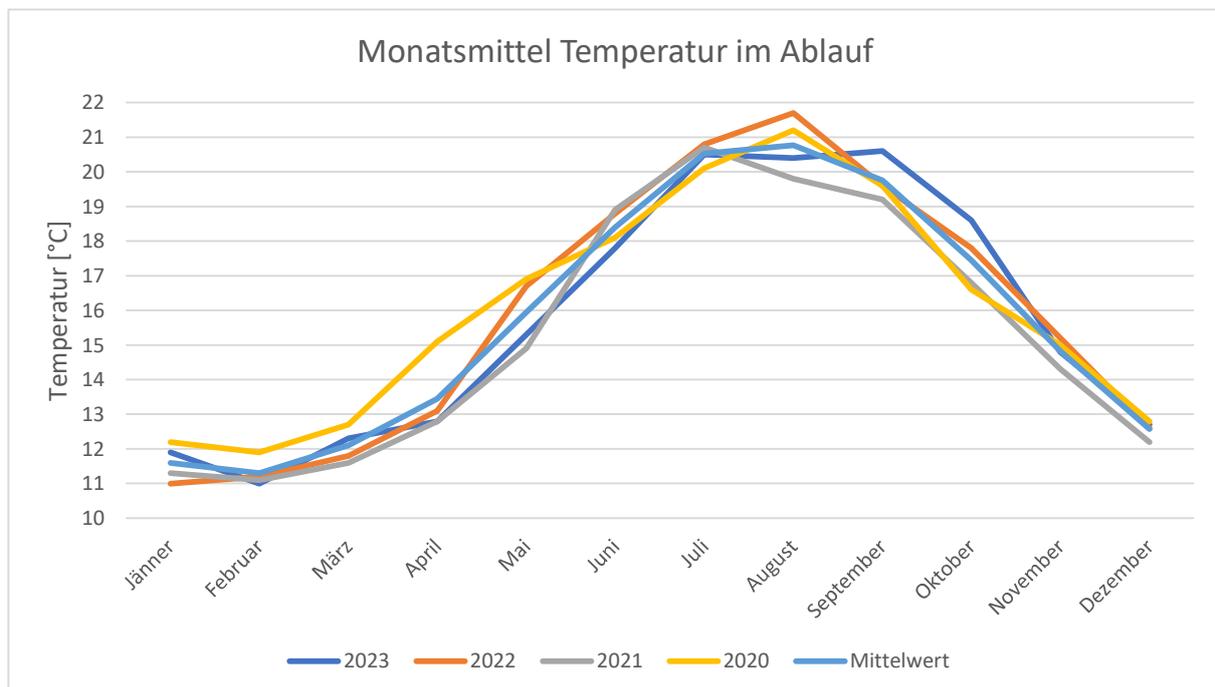


Abbildung 11: Monatsmittelwerte der Temperatur [°C] im Ablauf der Kläranlage

Tabelle 4: Monatsmittel Abfluss Q [l/s] aus der Kläranlage

Monatsmittel Abfluss Q im Ablauf [l/s]					
Monat	2023	2022	2021	2020	Mittelwert
Jänner	41,5	41,6	47,5	37,9	42,1
Februar	47,1	44	51,7	44,8	46,9
März	38,2	37,3	42,5	39,0	39,3
April	61,5	43,7	42,5	33,2	45,2
Mai	70,0	40,4	44,3	40,7	48,9
Juni	55,1	52,2	38,4	53,8	49,9
Juli	37,9	30,6	41,5	36,7	36,7
August	45,3	26,4	59,5	35,8	41,8
September	33,8	31,4	39,5	42,9	36,9
Oktober	37,6	32,7	36,0	52,1	39,6
November	54,6	39,2	40,1	38,9	43,2
Dezember	70,1	39,2	41,7	38,9	47,5
Mittelwert	49,4	38,2	43,8	41,2	43,2
Min	33,8	26,4	36,0	33,2	32,4
Max	70,1	52,2	59,5	53,8	58,9
Min Monat	September	August	Oktober	April	-

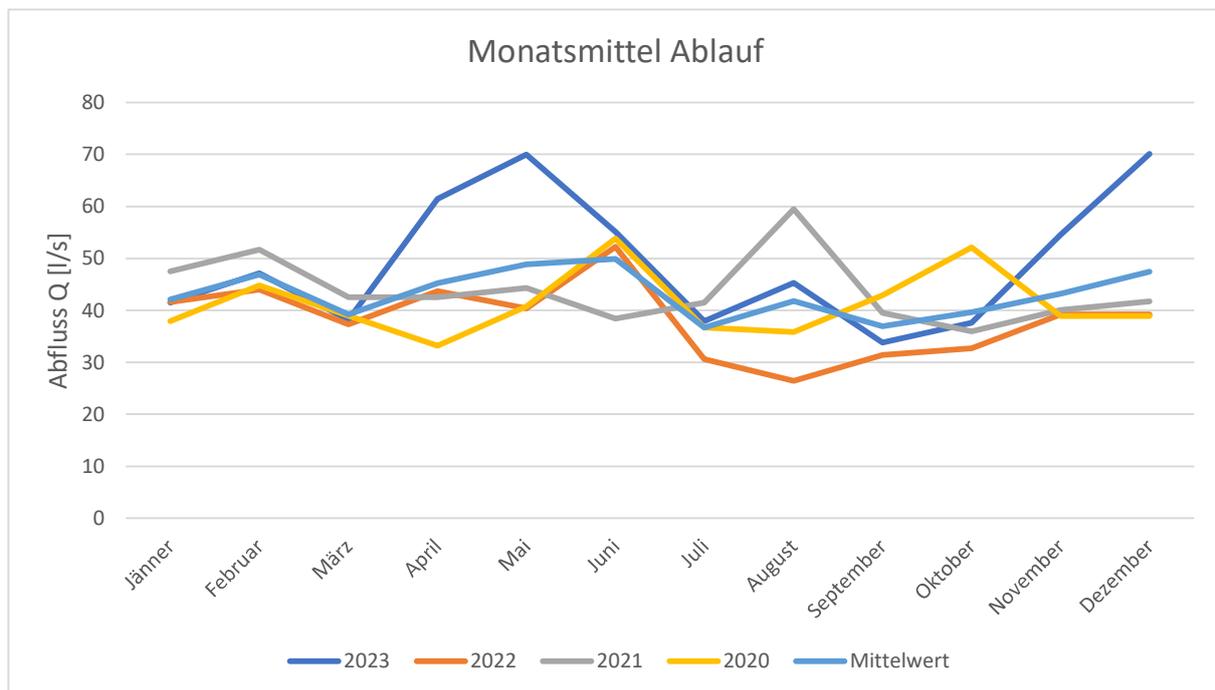


Abbildung 12: Monatsmittel Abfluss Q [l/s] aus der Kläranlage

4.1.4 Nutzung des thermischen Potenzials im Kanalnetz

Das Einzugsgebiet der Kläranlage wurde in Abschnitte unterteilt. Anhand der Anzahl der angeschlossenen Einwohner zuzüglich der betrieblichen Abwässer wurde ein Trockenwetterabfluss abgeschätzt. Anschließend wurden maßgebliche Punkte in den

Hauptsammelleitungen festgelegt. Dabei musste darauf geachtet werden, dass sich in unmittelbarer Nähe zu den Punkten potenzielle Abnehmer der Energie befinden. Im gegebenen Beispiel sind potenzielle Abnehmer größere Firmen beziehungsweise ein Schulkomplex.

Aus der Vorabschätzung geht hervor, dass bei einem Schmutzwasseranfall von 150 l/(EW*d) der geforderte minimale Trockenwetterabfluss von 10 l/s in den Hauptsammelleitungen unmittelbar vor dem Hauptpumpwerk erreicht wird (ÖNORM B 2502-1, 2012). Um den tatsächlichen Trockenwetterabfluss und die jeweilige Abwassertemperatur in diesen Strängen zu ermitteln, ist eine Kanalmessung erforderlich.

Kanalmessung

Aus den bisher erläuterten Anforderungen eines geeigneten Standorts für die Nutzung der Energie aus dem Abwasser wurden zwei Punkte im Kanalnetz für eine 48-Stunden-Messung ausgewählt. Aus der Messung ergaben sich die Daten für den Durchfluss, die Fließgeschwindigkeit, die Füllhöhe und die Temperatur. Anhand dieser Werte kann das Energiepotenzial an den ausgewählten Standorten genau bestimmt werden. Gleichzeitig können die Daten der Kläranlage und die Abschätzung aus den Einwohnern kontrolliert werden. Mit den genauen Daten aus der Kanalmessung können mit Hilfe des Prinzips der Mischungsrechnung die Auswirkungen auf die biologischen Prozesse in der Kläranlage abgeleitet werden.

Die Messkampagne wurde an zwei geeigneten Schächten über 48-Stunden im Trockenwetterfall durchgeführt. Die Dauer von 48 Stunden wurde gewählt, um zumindest über 24 Stunden zusammenhängende Messergebnisse zu erhalten, auch wenn es zu einem unvorhergesehenen Ereignis kommt.

Für Messpunkt 1 (M1) wurde ein Kontrollschacht im Trennsystem neben dem Hauptpumpwerk Guntramsdorf ausgewählt. An diesem Punkt wird das Wasser des nördlichen Siedlungsgebiets und der angrenzenden Industriezone im Trennsystem gesammelt. Die Temperaturmessung lieferte lediglich vom 08.04.2024, 09:57 Uhr bis 09.04.2024, 15:27 Uhr verwendbare Daten der Trockenwettermessung. Der mittlere Durchfluss an diesem Punkt betrug 12,15 l/s und wurde aus Kostengründen über die Daten der Pumpe im Hauptpumpwerk ermittelt. Die mittlere Temperatur über diesen Zeitraum betrug 14,1°C.

In Abbildung 13 ist der Durchfluss für den angegebenen Zeitraum für den Messpunkt M1 ersichtlich. Die Abbildung 14 zeigt den Temperaturverlauf für die Periode der Messung für den Messpunkt 1.

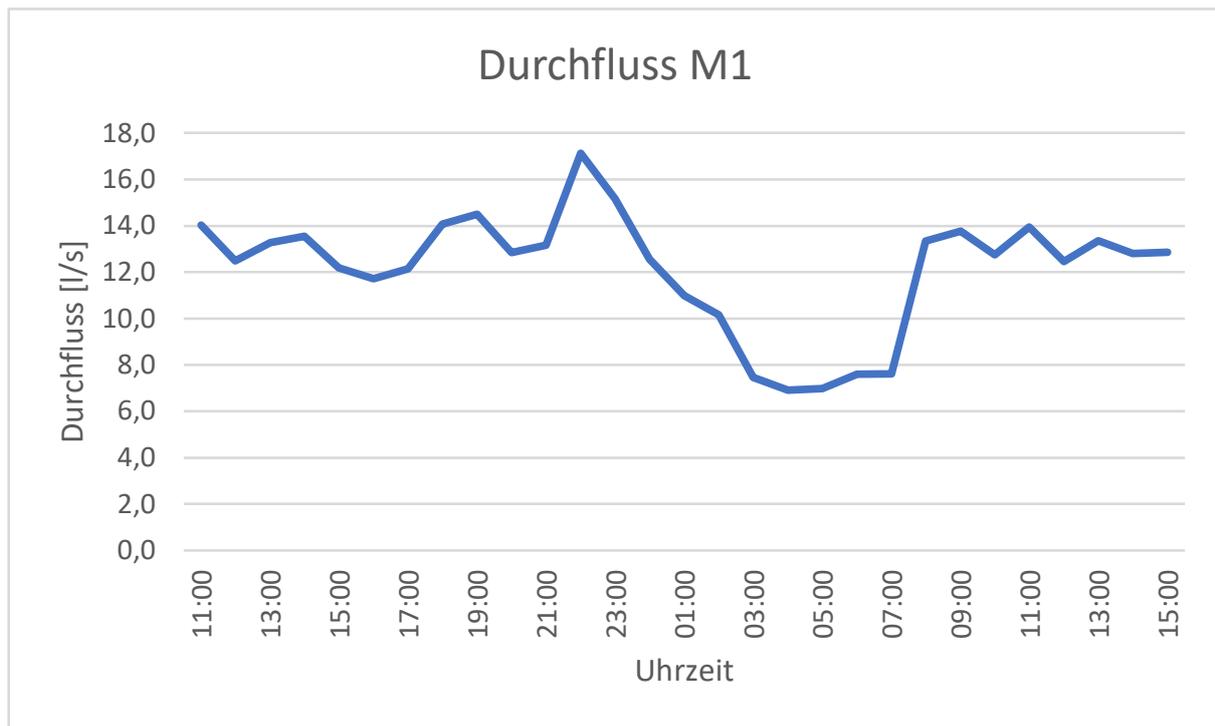


Abbildung 13: Durchfluss bei Messpunkt M1 [l/s]

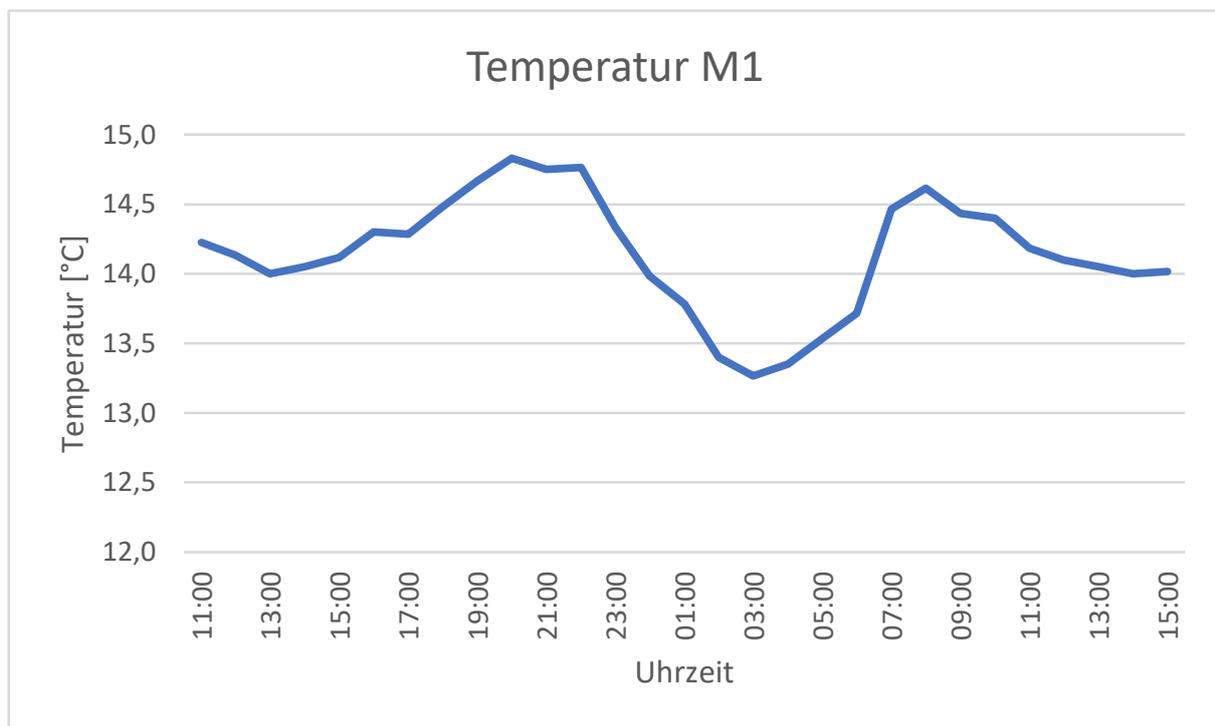


Abbildung 14: Temperatur bei Messpunkt M1 [°C]

Wie in Abbildung 13 ersichtlich, ist der Durchfluss durchwegs konstant und fällt nur in der Nacht für einen kurzen Zeitraum unter die 10 l/s Marke. In dieser Zeitperiode

kommt es zu einem Schmutzwasserabfluss mit einem Minimum von ca. 7 l/s, welcher ebenfalls noch für die Energiegewinnung genutzt werden kann.

Wird die Temperaturganglinie mit der des Durchflusses verglichen, wird ersichtlich, dass auch in den Abflussspitzen am Morgen und am Abend die Temperaturen am höchsten sind. Zwischen dem Tiefst- und Höchstwert der Abwassertemperatur liegen zirka 1,5°C.

Für Messpunkt 2 (M2) wurde ein Kontrollschacht im Mischwassersystem ausgewählt. Dieser befindet sich am Ende des Hauptsammelkanals des gesamten südlichen Gemeindegebiets vor dem Hauptpumpwerk. Die Kanalmessung fand von 08.04.2024, 13:45 Uhr bis 10.04.2024, 13:45 Uhr bei Trockenwetter statt. Der mittlere Durchfluss betrug 25,3 l/s und die mittlere Temperatur betrug 13,6°C.

In Abbildung 15 ist der Durchfluss für den angegebenen Zeitraum für den Messpunkt M2 ersichtlich. Zudem beinhaltet diese Abbildung die Tagesganglinie der Messung auf der Kläranlage. Die Abbildung 16 zeigt den Temperaturverlauf für die Periode der Messung für den Messpunkt M2.

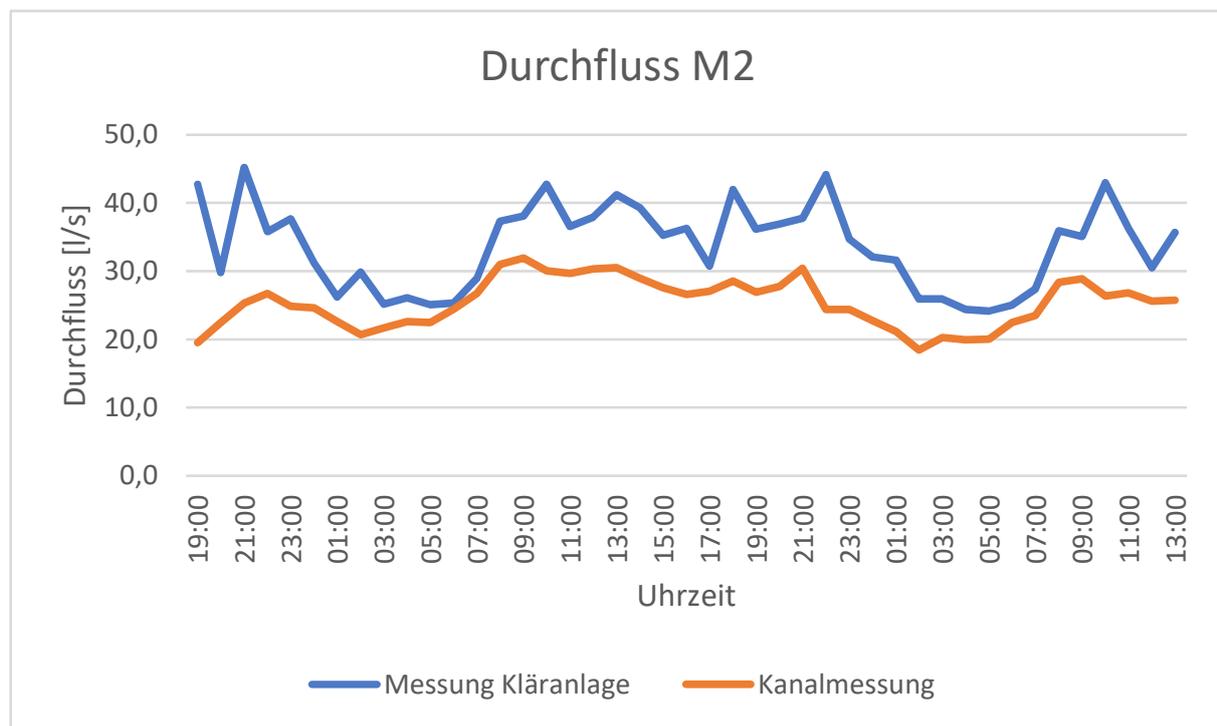


Abbildung 15: Durchfluss bei Messpunkt M2 [l/s]

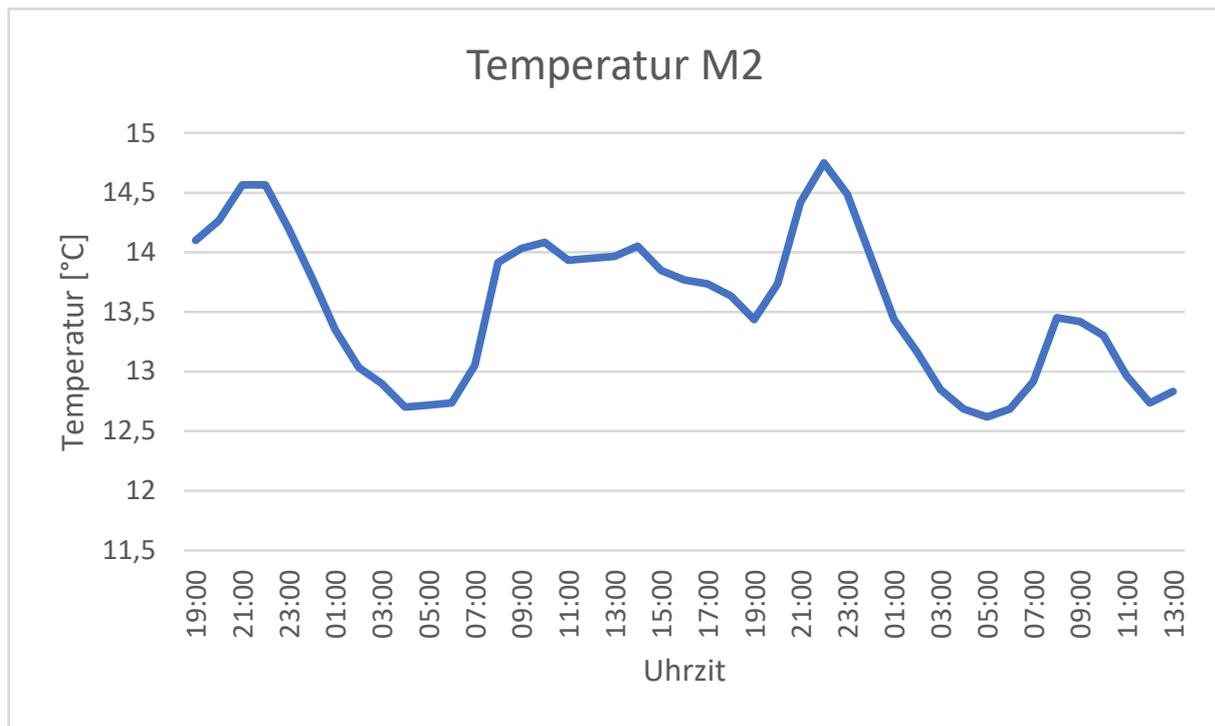


Abbildung 16: Temperatur bei Messpunkt M2 [°C]

Daraus lässt sich ableiten, dass die Abwässer aus dem nördlichen Gemeindegebiet geringfügig wärmer sind, als die im südlichen Bereich. Dieses Ergebnis ist auf die unterschiedlich langen Fließstrecken in den jeweiligen Teileinzugsgebieten zurückzuführen (vgl. Abbildung 14 und Abbildung 16). Auch bei Regenwetter ist ein größerer Temperaturunterschied zwischen dem Trennsystem und dem Mischsystem zu erwarten.

Vergleich der Ergebnisse der Messkampagne mit den Daten der Kläranlage

Die Daten der Messkampagne wurden mit den Daten der Eigenüberwachung der Kläranlage verglichen und auf ihre Plausibilität geprüft. An den Messtagen betrug die durchschnittliche Zuflussmenge zur Kläranlage 45 l/s. Im nördlichen Teil, in dem ein Trennsystem vorhanden ist, wurden im Durchschnitt zirka 12 l/s gemessen. Somit fallen in etwa 25% des gesamten Kläranlagenzuflusses auf die Messstelle 1 und zirka 75% auf die Messstelle 2. Beide Messpunkte liegen über dem Grenzwert von 10 l/s und werden in weiterer Folge auf ihr thermisches Potenzial untersucht.

Der Tagesgang des Durchflusses der Messung der Kläranlage und der Kanalmessung an Messstelle 2 (Abbildung 15) zeigen denselben Verlauf. Der leichte Versatz der beiden Linien lässt sich auf Messungsungenauigkeiten zurückführen. Daraus lässt sich ableiten, dass sich die Daten der Kläranlage für die weiteren Berechnungen gut eignen und plausible Ergebnisse berechnet werden.

Mischungsrechnung

In weiterer Folge wird mittels der in Kapitel 2.7 beschriebenen Mischungsrechnung die mögliche Temperaturabsenkung an den beiden Messstellen M1 und M2 berechnet. Da sich die gemessenen Daten sehr gut mit den Daten der Kläranlage decken, wurden die Berechnungen auf Grundlage der Monatsmittelwerte der Jahre 2020 bis 2023 ausgeführt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Temperatur im Kläranlagenzulauf nie unter 10°C fällt, da dies den Grenzwert der Kläranlagenbemessung darstellt. Die Monate Mai bis September wurden in der Potenzialstudie ausgenommen, da in diesen Monaten nicht geheizt werden muss. Eine Nutzung für Kühlzwecke und somit eine Erwärmung der Abwassertemperatur auf Grund der in Kapitel 2.5 beschriebenen Grenzwerte für den Vorfluter ist nicht möglich. Genaueres kann in Form einer Machbarkeitsstudie untersucht werden. In den Tabelle 5 und Tabelle 6 sind die Ergebnisse der Mischungsrechnung ersichtlich.

Tabelle 5: Mischungsrechnung für den Messpunkt M1

Mischungsrechnung Messpunkt M1:						
Monat	Durchfluss Schmutzwasser [l/s]	Durchfluss Kläranlagenzulauf [l/s]	Temperatur Kläranlagenzulauf [°C]	ΔT_{ARA} [°C]	$\Delta T_{WT,m\ddot{o}glich}$ [°C]	$\Delta T_{WT,gew\ddot{a}hlt}$ [°C]
Jänner	11,2	41,5	13,3	3,3	12,3	9,3
Februar	11,6	46,1	12,6	2,6	10,1	8,6
März	10,9	38,5	13,0	3,0	10,5	9,0
April	11,2	44,5	13,2	3,2	12,8	9,2
Mai	11,8	48,0	14,4			
Juni	12,9	48,8	16,2			
Juli	10,7	35,9	18,1			
August	10,9	41,0	18,9			
September	10,4	36,2	18,9			
Oktober	10,8	38,3	17,7	7,7	27,4	13,7
November	11,3	42,4	16,0	6,0	22,4	12,0
Dezember	11,8	46,8	14,0	4,0	15,6	10,0

Tabelle 6: Mischungsrechnung für den Messpunkt M2

Mischungsrechnung Messpunkt M2:						
Monat	Durchfluss Mischwasser [l/s]	Durchfluss Kläranlagenzulauf [l/s]	Temperatur Kläranlagenzulauf [°C]	ΔT_{ARA} [°C]	$\Delta T_{WT,m\ddot{o}glich}$ [°C]	$\Delta T_{WT,gew\ddot{a}hlt}$ [°C]
Jänner	30,3	41,5	13,3	3,3	4,5	4,5
Februar	34,5	46,1	12,6	2,6	3,4	3,4
März	27,5	38,5	13,0	3,0	4,2	4,2
April	33,2	44,5	13,2	3,2	4,3	4,3
Mai	36,1	48,0	14,4			
Juni	35,8	48,8	16,2			
Juli	25,1	35,9	18,1			
August	30,1	41,0	18,9			
September	25,7	36,2	18,9			
Oktober	27,5	38,3	17,7	7,7	10,7	10,7
November	31,1	42,4	16,0	6,0	8,1	8,1
Dezember	35,0	46,8	14,0	4,0	5,3	5,3

Mittels der Mischungsrechnung wurde die maximal mögliche Temperaturabsenkung ($\Delta T_{WT,m\ddot{o}glich}$) an den beiden Messpunkten so ermittelt, dass die Zulauftemperatur zur

Kläranlage genau 10°C beträgt. Bei Messpunkt M1 wäre der rechnerische Wert höher als die eigentliche Abwassertemperatur. In diesem Fall wurde darauf geachtet, dass die Abwassertemperatur nie unter 4°C fällt, um betriebliche Störungen zu vermeiden. Für die weiteren Berechnungen wurde die korrigierte Temperatur ($\Delta T_{WT, \text{gewählt}}$) verwendet.

Potenzielle Wärmeentzugsleistung

Die potenzielle Wärmeentzugsleistung wird in weiterer Folge wie in Kapitel 2.8 beschrieben, berechnet. Für die spezifische Wärmekapazität wird ein Wert von 4,19 kJ/kg*K für reines Wasser angenommen. Für die Dichte des Abwassers wird der Wert 1,0 kg/l verwendet. Unten stehend sind die Berechnungen für beide Messstellen M1 und M2 angeführt.

Tabelle 7: Potenzielle Wärmeentzugsleistung für den Messpunkt M1

Potenzielle Wärmeentzugsleistung Messpunkt M1					
Monat	ΔT_{WT} [°C]	ρ_{AW} [kg/l]	c_{AW} [kJ/kg.K]	V_{AW} [l/s]	P_{AW} [kW]
Jänner	9,3	1	4,19	11,2	436
Februar	8,6	1	4,19	11,6	417
März	9,0	1	4,19	10,9	412
April	9,2	1	4,19	11,2	434
Mai	Keine Heizperiode				
Juni					
Juli					
August					
September					
Oktober	13,7	1	4,19	10,8	619
November	12,0	1	4,19	11,3	566
Dezember	10,0	1	4,19	11,8	493

Tabelle 8: Potenzielle Wärmeentzugsleistung für den Messpunkt M2

Potenzielle Wärmeentzugsleistung Messpunkt M2					
Monat	ΔT_{WT} [°C]	ρ_{AW} [kg/l]	c_{AW} [kJ/kg.K]	V_{AW} [l/s]	P_{AW} [kW]
Jänner	4,5	1	4,19	30,3	574
Februar	3,4	1	4,19	34,5	493
März	4,2	1	4,19	27,5	480
April	4,3	1	4,19	33,2	601
Mai	Keine Heizperiode				
Juni					
Juli					
August					
September	Keine Heizperiode				
Oktober					
November					
Dezember					

Beide Messpunkte haben ein gutes Potenzial für die Gewinnung von Energie aus dem Abwasser. Auch in den kalten Monaten von Dezember bis Februar ist es möglich, Energie zu gewinnen und zum Beispiel für Heizanlagen von Gebäuden zu nutzen.

4.1.5 Nutzung des thermischen Potenzials im Kläranlagenablauf

Vorfluter

Die Kläranlage Guntramsdorf leitet die gereinigten Abwässer in die Schwechat ein. An der Einleitstelle ist dieser Fluss der Fischregion der Salmonidengewässer zugeordnet (BMLFUW, 2016). Damit ist, wie in Kapitel 2.5 beschrieben, eine Temperaturänderung bezogen auf die jahreszeitlich typischen Wassertemperaturen des Gewässers um maximal 1,5°C zulässig. Es ist jedenfalls die Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer einzuhalten (BGBl. II Nr. 99/2010, idgF).

Für die Berechnung der maximalen Absenkung der Temperatur im Ablauf der Kläranlage, sind in Tabelle 9 die jahreszeitlich typischen Wassertemperaturen in der Schwechat ersichtlich. Für die weiteren Berechnungen wurden die Mittelwerte der Jahre 2020 bis 2023 verwendet (Land Niederösterreich, 2023).

Tabelle 9: Jahreszeitlich typische Wassertemperaturen in der Schwechat [°C] (Land Niederösterreich, 2023)

Typische Wassertemperaturen Schwechat [°C]					
Monat	2023	2022	2021	2020	Mittelwert
Jänner	6,5	4,6	4,5	4,8	5,1
Februar	5,5	5,8	5,1	6,5	5,7
März	8,5	7,2	7,0	8,4	7,8
April	9,6	10,7	9,5	12,5	10,6
Mai	13,8	16,5	13,7	14,8	14,7
Juni	18,1	19,6	19,6	16,4	18,4
Juli	20,7	20,4	20,6	19,5	20,3
August	19,8	20,4	19,0	20,2	19,9
September	18,6	16,5	17,1	16,5	17,2
Oktober	14,7	14,1	12,3	12,2	13,3
November	9,3	9,9	8,3	9,2	9,2
Dezember	5,7	6,3	5,4	6,5	6,0

Potenzielle Wärmeentzugsleistung

Die potenzielle Wärmeentzugsleistung im Kläranlagenablauf errechnet sich wie in Kapitel 2.8 beschrieben. Als zulässige Temperaturentnahme wurde gemäß Kapitel 2.5 eine Temperaturänderung auf die jahreszeitlich typischen Wassertemperaturen des Gewässers von maximal 1,5°C angesetzt. In Tabelle 10 wird die maximale potenzielle Wärmeentzugsleistung monatsweise dargestellt.

Tabelle 10: Potenzielle Wärmeentzugsleistung im Kläranlagenablauf [kW]

Potenzielle Wärmeentzugsleistung Ablauf Kläranlage							
Monat	Temperatur Ablauf [°C]	Temperatur Schwechat [°C]	ΔT [°C]	ρ_{AW} [kg/l]	c_{AW} [kJ/kg.K]	V_{AW} [l/s]	P_{AW} [kW]
Jänner	11,6	5,1	8,0	1	4,19	42,1	1410
Februar	11,3	5,7	7,1	1	4,19	46,9	1390
März	12,1	7,8	5,8	1	4,19	39,3	956
April	13,5	10,6	4,4	1	4,19	45,2	830
Mai	16,0	14,7	2,8	1	4,19	48,9	566
Juni	18,4	18,4	1,5	1	4,19	49,9	305
Juli	20,5	20,3	1,7	1	4,19	36,7	266
August	20,8	19,9	2,4	1	4,19	41,8	424
September	19,8	17,2	4,1	1	4,19	36,9	632
Oktober	17,5	13,3	5,6	1	4,19	39,6	935
November	14,8	9,2	7,2	1	4,19	43,2	1296
Dezember	12,6	6,0	8,1	1	4,19	47,5	1609

Im Kläranlagenablauf besteht ein großes Potenzial, Energie aus dem Abwasser zu gewinnen, da hier große Temperaturdifferenzen möglich sind und gleichzeitig ein hoher Durchfluss besteht.

4.1.6 Energiepotenzialkarte

Für das Gemeindegebiet Guntramsdorf wurde im Zuge der Potenzialstudie eine Energiepotenzialkarte erstellt. In dieser sind geeignete Kanalstränge und ihre potenzielle Wärmeentzugsleistung eingezeichnet. Dabei wurden für verschiedene Niveaus der Wärmeentzugsleistung unterschiedliche Farben eingesetzt. Zudem sind noch relevante Punkte sowie potenzielle Abnehmer in der Karte eingetragen. In Abbildung 17 ist ein Ausschnitt aus der Energiepotenzialkarte ersichtlich.

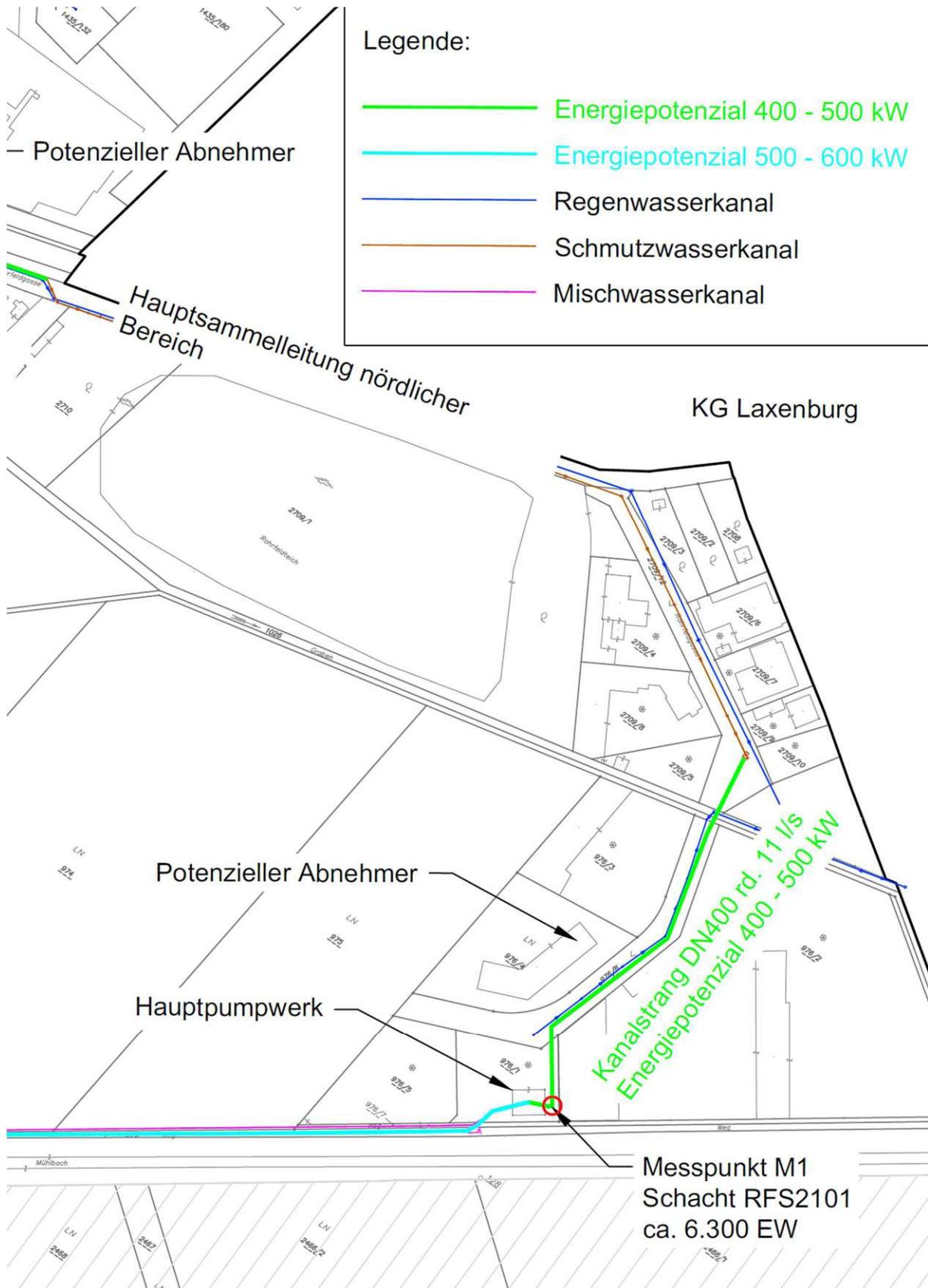


Abbildung 17: Ausschnitt der Energiepotenzialkarte

4.2 Machbarkeitsstudie

Ist durch die Potenzialstudie zumindest ein geeigneter Standort für die Gewinnung von thermischer Energie aus Abwasser ermittelt worden, kann dieser mittels einer Machbarkeitsstudie genauer betrachtet werden. Eine Machbarkeitsstudie wird immer für ein bestimmtes Projekt erstellt und behandelt nur einen bestimmten Standort im Kanalnetz oder auf der Kläranlage. Darin wird dargestellt, wie die Umsetzung des Projekts in technischer und wirtschaftlicher Hinsicht ausgeführt werden kann. Die Detaillierungsebene befindet sich dabei in der Entwurfsplanung.

4.2.1 Themen einer Machbarkeitsstudie

- Projektbeschreibung allgemein zusammengefasst
- Gesamtheitliche Bewertung des gewählten Standorts im Kanalnetz
- Auswahl der Anlagengröße und Ermittlung des Nutzungspotenzials
- Beschreibung der Wärmeversorgungsinfrastruktur in der Umgebung des Standorts
- Darstellung der Auswirkungen in wasserwirtschaftlicher Hinsicht (z.B. biologische Reinigungsprozesse in der Kläranlage, Gewässer)
- Kostenschätzung
- Wirtschaftlichkeitsberechnung
- Technische Beschreibung anhand eines Umsetzungsplans
- Darstellung der Ergebnisse in einem technischen Bericht (Machbarkeitsstudie) (Klima- und Energiefonds, 2023)

4.2.2 Allgemein

Das Kanalnetz und die Kläranlage Guntramsdorf wurden im Zuge einer Potenzialstudie (Kapitel 4.1) auf eine mögliche Nutzung des thermischen Potenzials des Abwassers zu Heiz- und Kühlzwecken geprüft. Etwaige Entnahmestellen vor und nach der Kläranlage wurden identifiziert. Dabei spielen wirtschaftliche Faktoren, die Auswirkungen auf Gewässer und Reinigungsleistung sowie hydraulische Kennwerte eine maßgebende Rolle.

Die Potenzialstudie ergab drei mögliche Standorte mit thermischem Potenzial und geeigneten Standortbedingungen. Zwei der untersuchten Standorte betreffen das Kanalnetz, der dritte befindet sich direkt am Kläranlagenstandort im Ablauf. Die Marktgemeinde Guntramsdorf entschied sich für eine mögliche Nutzung der Wärmeenergie in der eigenen Abwasserreinigungsanlage.

Diese Machbarkeitsstudie befasst sich mit einer möglichen Umsetzung der Nutzung der thermischen Energie im Kläranlagenablauf. Es wird untersucht, wie die Wärmeenergie aus dem Kläranlagenablauf aus ökonomischer und ökologischer Sicht am besten eingesetzt werden kann.

4.2.3 Bewertung des Standortes

Die Kläranlage der Marktgemeinde Guntramsdorf ist im Osten des Gemeindegebiets situiert. Sie liegt direkt an der Schwechat, die als Vorfluter dient. Die Kläranlage hat eine Bemessungsgröße von 27.000 Einwohnerwerten und die momentane Auslastung liegt bei ca. 15.000 EW. Es sind noch erhebliche Reserven im Hinblick auf die Reinigungsleistung vorhanden. Diese Reserven bedeuten, dass die durchschnittliche Schmutzwassermenge in Zukunft erhöht sein kann. Durch eine Erhöhung der Ablaufmenge wird auch die vorhandene potenzielle Wärmeenergie in Zukunft gesteigert.

Die Kläranlage Guntramsdorf verfügt über eine Betriebshalle und ein Betriebsgebäude, die als Energieabnehmer fungieren. Beide Gebäude werden momentan mit Gas als Energieträger betrieben. Es wird jedoch eine Umstellung auf eine ökologische Variante angestrebt.

Derzeit gibt es noch keinen Faulturm auf der Kläranlage des Abwasser Service Betriebs Guntramsdorf. Jedoch ist dieser in Zukunft nicht auszuschließen. In einem Faulturm wird eine Prozesswärme von 38°C benötigt, damit die Abbauprozesse effizient ablaufen. Für diese Anwendung könnte die Energie aus dem Kläranlagenablauf sehr effizient genutzt werden.

Für eine Schlamm Trocknung gibt es auf der Kläranlage im Moment keinen Bedarf. Doch im Hinblick auf die Phosphorrückgewinnung aus dem Klärschlamm, die ab 2033 gesetzlich vorgeschrieben wird, wird in dieser Studie auf diese Option als Eventualität eingegangen. Die Schlamm Trocknung stellt einen wesentlichen Schritt in diesem Prozess dar und benötigt dabei eine große Wärmemenge.

Bei einer energetischen Nutzung des thermischen Potentials im Ablauf der Kläranlage besteht kein Einfluss auf die biologische Reinigungsleistung. Positiv hervorzuheben ist in diesem Zusammenhang auch die Wärmerückgewinnung aus gereinigtem Abwasser, da hier andere Bauteile als bei Schmutzwasser mit Fremdstoffen eingesetzt werden können. Bei gereinigtem Abwasser ist die Auswahl an Pumpen und Wärmetauschern wesentlich größer und in weiterer Folge dadurch kostengünstiger.

4.2.4 Potenzielle Wärmeentzugsleistung im Kläranlagenablauf

In der Potenzialstudie wurde in Kapitel 4.1.5 dargestellt, dass ein großes Potenzial im Kläranlagenablauf gegeben ist. In Tabelle 10 ist die potenzielle Wärmeentzugsleistung

nach Monaten aufgelistet und in weiterer Folge werden in Tabelle 11 Tageswerte, Monatswerte und ein Jahreswert berechnet.

Tabelle 11: Potenzielle Wärmeentzugsleistung im Kläranlagenablauf pro Tag, pro Monat bzw. pro Jahr

Potenzielle Wärmeentzugsleistung Ablauf Kläranlage				
Monat	Tage	P_{AW} [kW]	P_{AW} [kWh/d]	P_{AW} [kWh/M]
Jänner	31	1 410	33 851	1 049 385
Februar	28	1 390	33 359	934 060
März	31	956	22 943	711 246
April	30	830	19 908	597 243
Mai	31	566	13 572	420 743
Juni	30	305	7 310	219 300
Juli	31	266	6 380	197 771
August	31	424	10 164	315 088
September	30	632	15 164	454 927
Oktober	31	935	22 432	695 387
November	30	1 296	31 094	932 807
Dezember	31	1 609	38 620	1 197 221
			SUMME:	7 725 180 [kWh/a]

Bei den vorliegenden Gegebenheiten wird eine Nutzung des energetischen Potenzials im Kläranlagenablauf als wirtschaftlich eingestuft. In den Wintermonaten kann aufgrund der hohen Temperaturunterschiede zur Wassertemperatur der Schwechat wesentlich mehr Wärmeenergie gewonnen werden als in den Sommermonaten. Auf ein gesamtes Jahr gesehen können rechnerisch maximal 7,725 GWh mit den derzeitigen Ablaufmengen an thermischer Energie gewonnen werden.

4.2.5 Nutzungspotenzial auf Abnehmerseite

Auf der Kläranlage Guntramsdorf gibt es mehrere Möglichkeiten, die Wärmeenergie zu nutzen. Darüber hinaus wird hier auch auf mögliche zukünftige Projekte eingegangen. In den weiteren Unterkapiteln wird der benötigte thermische Energieverbrauch der einzelnen Bauteile ermittelt und dadurch ein Gesamtverbrauch für die Kläranlage Guntramsdorf errechnet.

Betriebsgebäude und Betriebshalle

Für die Ermittlung der benötigten Wärmemenge im vorhandenen Betriebsgebäude und der dazugehörigen Betriebshalle wurden die Jahresabrechnungen des Gasverbrauchs herangezogen. Demnach verbrauchten die Gebäude der Kläranlage 2022 zirka 397 kWh/d (144.905 kWh/a) und 2023 zirka 343 kWh/d (125.195 kWh/a) an Wärmeenergie für Heizung und Warmwasser. In Tabelle 12 wurde der dadurch errechnete Jahresverbrauch auf die einzelnen Monate abgeschätzt. Es wurde angenommen, dass in den Monaten Dezember, Jänner und Februar zirka 50% der Heizenergie benötigt werden. In den Monaten März, April, Oktober und November

zirka 40%, in den Monaten Mai und September zirka 8% und in den Monaten Juni, Juli und August zirka 2% der gesamten Heizenergie verbraucht werden.

Tabelle 12: Gasverbrauch der Kläranlage Guntramsdorf pro Monat bzw. pro Jahr

Gasverbrauch der Kläranlage Guntramsdorf [kWh/M]				
Monat	Anteil am Gesamtverbrauch	2023	2022	Mittelwert
Jänner	50%	21561,4	24955,9	23258,6
Februar		19474,8	22540,8	21007,8
März	40%	12724,7	14728,0	13726,4
April		12314,3	14253,0	13283,6
Mai	8%	5089,9	5891,2	5490,6
Juni		816,5	945,0	880,8
Juli	2%	843,7	976,5	910,1
August		843,7	976,5	910,1
September	8%	4925,7	5701,2	5313,4
Oktober		12724,7	14728,0	13726,4
November	40%	12314,3	14253,0	13283,6
Dezember	50%	21561,4	24955,9	23258,6
	Summe:	125195,0	144905,0	135050,0

Klärschlammfäulung

Die Kläranlage der Marktgemeinde Guntramsdorf besitzt zum jetzigen Zeitpunkt keine Klärschlammfäulung. Da diese aber in Zukunft nicht ausgeschlossen ist, wird eine Fäulung in dieser Machbarkeitsstudie mitberücksichtigt, da eine Klärschlammfäulungsanlage einen erheblichen Wärmebedarf hat. Eine Klärschlammfäulung in Kombination mit einem Blockheizkraftwerk erzeugt Strom und Wärme. Die über das Blockheizkraftwerk erzeugte thermische Energie ist aber nicht ausreichend, um ganzjährig den Bedarf für den Faulturn zu decken. Die restliche benötigte thermische Energie kann über die Nutzung der Energie aus dem Abwasser erzeugt werden.

Im folgenden Abschnitt wird die benötigte Wärmemenge für eine Klärschlammfäulungsanlage abgeschätzt. Dafür wird zuerst analog zu Kapitel 2.4.2 der thermische Energiebedarf für die Schlammaufheizung berechnet. Der Rohschlamm besteht hauptsächlich aus Wasser (95%), daher wird in weiterer Folge die Wärmekapazität von Wasser mit 1,16 Wh/kg/K für die Berechnung herangezogen.

Die Ermittlung der Schlammmenge erfolgt über die Monatsprotokolle der Kläranlage. Dafür wurden aus den Jahren 2020 – 2023 die Monatsmittelwerte der Menge des Überschussschlammes verwendet und daraus ein Mittelwert gebildet. In Tabelle 13 sind die Mengen des Überschussschlammes ersichtlich.

Tabelle 13: Überschussschlamm der Kläranlage Guntramsdorf [m³/d]

Überschussschlamm Mittelwerte [m ³ /d] ca.2,1% TS					
Monat	2023	2022	2021	2020	Mittelwert
Jänner	36,4	32,5	30,0	29,4	32,1
Februar	47,8	54,6	34,1	28,9	41,4
März	48,8	42,0	29,8	35,7	39,1
April	23,6	34,4	41,9	33,0	33,2
Mai	35,1	20,1	41,1	31,5	32,0
Juni	58,0	58,1	43,8	36,3	49,1
Juli	38,4	35,8	44,0	29,8	37,0
August	40,8	49,9	43,6	35,6	42,5
September	51,6	45,6	37,7	32,3	41,8
Oktober	55,8	42,4	37,2	25,4	40,2
November	39,1	41,3	21,7	37,1	34,8
Dezember	33,9	35,5	35,9	20,2	31,4

Der Überschussschlamm wird in der Kläranlage Guntramsdorf mit einer Trockensubstanz von zirka 2,1% abgezogen. Für die Schlammfäulungsanlage wird jedoch eine Trockensubstanz von 5% gefordert. Daher muss der Schlamm vor der Fäulung eingedickt werden. Bei der Eindickung von Klärschlamm mit 2,1% Trockensubstanz auf 5% Trockensubstanz kommt es zu einer Volumenreduktion von zirka 60%. In Tabelle 14 wird der Wärmebedarf für die Schlammaufheizung für jedes Monat berechnet.

Tabelle 14: Berechnung des Wärmebedarfs für die Schlammaufheizung [kWh/d]

Wärmebedarf für die Schlammaufheizung							
Monat	2,1% TS ÜSS [m ³ /d]	5% TS ÜSS [m ³ /d]	t _{FR} [°C]	t _{RS} [°C]	c [Wh/kg/K]	Q _s [kWh/d]	Q _s [kWh/M]
Jänner	32,1	12,8	38,0	11,6	1,16	392,9	12180,1
Februar	41,4	16,5	38,0	11,3	1,16	512,3	14343,8
März	39,1	15,6	38,0	12,1	1,16	469,6	14557,2
April	33,2	13,3	38,0	13,5	1,16	378,5	11354,2
Mai	32,0	12,8	38,0	16,0	1,16	326,9	10133,5
Juni	49,1	19,6	38,0	18,4	1,16	446,1	13382,4
Juli	37,0	14,8	38,0	20,5	1,16	300,0	9300,3
August	42,5	17,0	38,0	20,8	1,16	339,5	10523,8
September	41,8	16,7	38,0	19,8	1,16	354,0	10618,9
Oktober	40,2	16,1	38,0	17,5	1,16	383,3	11882,8
November	34,8	13,9	38,0	14,8	1,16	374,2	11226,3
Dezember	31,4	12,6	38,0	12,6	1,16	370,1	11474,3

Wie in Kapitel 2.4.2 beschrieben, werden in weiterer Folge die Transmissionsverluste des Faulbehälters berechnet. Der U-Wert ist abhängig vom verwendeten Baumaterial des Faulbehälters. Dieser Wert kann sehr stark variieren. Üblicherweise befindet sich der U-Wert zwischen 0,3 – 1,3 W/m²/K. Für dieses Beispiel wurde ein isolierter Behälter aus Stahlbeton mit einem U-Wert von 0,5 W/m²/K angenommen. Weiters wurde ein zylindrischer Behälter mit folgender Geometrie abgeschätzt.

Behältergeometrie:

Volumen:	ca. 700 m ³
Durchmesser:	10,0 m
Höhe Zylinder:	10,0 m
Bodenfläche:	78,5 m ²
Mantelfläche:	314,2 m ²
Deckenfläche:	78,5 m ²

In der nachfolgenden Tabelle 15 werden die Transmissionsverluste für den angenommenen Behälter berechnet. Dafür wurden durchschnittliche Luft- bzw. Bodentemperaturen in der Region angenommen. ΔT_1 und ΔT_2 sind die Temperaturunterschiede zur Lufttemperatur bzw. zur Bodentemperatur im jeweiligen Monat (Kachelmannwetter, 2024; Statista, 2024).

Tabelle 15: Berechnung der Transmissionsverluste des Faulbehälters [kWh/d]

Transmissionsverluste Faulturnm							
Monat	Lufttemperatur [°C]	Bodentemperatur [°C]	t _{FR} [°C]	ΔT_1 [°C]	ΔT_2 [°C]	Q _T [kWh/d]	Q _T [kWh/M]
Jänner	-1,0	5,0	38,0	39,0	33,00	214,9	6661,0
Februar	5,0	6,0	38,0	33,0	32,00	185,7	5198,3
März	6,0	7,0	38,0	32,0	31,00	180,0	5580,0
April	9,0	10,0	38,0	29,0	28,00	163,0	4891,1
Mai	12,0	13,0	38,0	26,0	25,00	146,1	4528,2
Juni	16,0	16,0	38,0	22,0	22,00	124,4	3731,9
Juli	19,0	19,0	38,0	19,0	19,00	107,4	3330,4
August	19,0	20,0	38,0	19,0	18,00	106,5	3301,2
September	16,0	16,0	38,0	22,0	22,00	124,4	3731,9
Oktober	11,0	15,0	38,0	27,0	23,00	148,9	4615,9
November	3,0	10,0	38,0	35,0	28,00	191,3	5739,3
Dezember	1,0	6,0	38,0	37,0	32,00	204,5	6339,6

Der dritte Teilbereich des Wärmebedarfs sind die Speicher-, Erzeugungs- und Verteilungsverluste, die mit 10% der Summe des vorher berechneten Wärmebedarfs für die Schlammaufheizung und der Transmissionsverluste abgeschätzt werden. Diese werden in Tabelle 16 berechnet.

Tabelle 16: Speicher-, Erzeugungs- und Verteilungsverluste [kWh/d]

Erzeugungs-, Speicher- und Verteilungsverluste					
Monat	Q _s [kWh/d]	Q _T [kWh/d]	Q _s + Q _T [kWh/d]	Q _v [kWh/d]	Q _v [kWh/M]
Jänner	392,9	214,9	607,8	60,8	1884,1
Februar	512,3	185,7	697,9	69,8	1954,2
März	469,6	180,0	649,6	65,0	2013,7
April	378,5	163,0	541,5	54,2	1624,5
Mai	326,9	146,1	473,0	47,3	1466,2
Juni	446,1	124,4	570,5	57,0	1711,4
Juli	300,0	107,4	407,4	40,7	1263,1
August	339,5	106,5	446,0	44,6	1382,5
September	354,0	124,4	478,4	47,8	1435,1
Oktober	383,3	148,9	532,2	53,2	1649,9
November	374,2	191,3	565,5	56,6	1696,6
Dezember	370,1	204,5	574,6	57,5	1781,4

Die Summe der benötigten Wärmemenge für den im gegebenen Fall angenommenen Faulbehälter wird in Tabelle 17 monatsweise aufgelistet.

Tabelle 17: Benötigte Wärmemenge des Faulbehälters [kWh/M]

Summe Wärmebedarf Faulturn				
Monat	Q _s [kWh/M]	Q _T [kWh/M]	Q _v [kWh/M]	Q _s + Q _T + Q _v [kWh/M]
Jänner	12180,1	6661,0	1884,1	20725,1
Februar	14343,8	5198,3	1954,2	21496,2
März	14557,2	5580,0	2013,7	22150,9
April	11354,2	4891,1	1624,5	17869,8
Mai	10133,5	4528,2	1466,2	16127,9
Juni	13382,4	3731,9	1711,4	18825,7
Juli	9300,3	3330,4	1263,1	13893,9
August	10523,8	3301,2	1382,5	15207,5
September	10618,9	3731,9	1435,1	15785,9
Oktober	11882,8	4615,9	1649,9	18148,6
November	11226,3	5739,3	1696,6	18662,2
Dezember	11474,3	6339,6	1781,4	19595,2
				218488,9
				[kWh/a]

Klärschlamm-trocknung

Die Klärschlamm-trocknung wird in dieser Machbarkeitsstudie mitberücksichtigt, obwohl die Kläranlage Guntramsdorf diese zum derzeitigen Zeitpunkt nicht betreibt. Im Hinblick auf die Phosphorrückgewinnung, die in Zukunft gesetzlich vorgeschrieben ist, wird diese Eventualität als Wärmeabnehmer mit in die Studie aufgenommen. Eine Klärschlamm-trocknung stellt einen erheblichen Anteil der benötigten Wärmemenge, wenn diese auf einer Kläranlage vorhanden ist.

Für die weiteren Berechnungen wird ein Trockenrückstand von 30% für die Beschickung des Klärschlamm-trockners angenommen. Weiters wird angenommen,

dass die thermische Energie zur Gänze aus der Temperaturentnahme aus dem Abwasser erfolgt und somit mit einem Temperaturniveau von 85°C getrocknet wird.

Bei der Erhöhung der Trockensubstanz von 5% auf 30% kommt es zu einer Volumenreduktion von zirka 83%. Die Kläranlage Guntramsdorf hat derzeit einen mittleren Schlammanfall von 16 m³/d mit einem TS-Gehalt von 5%. Umgerechnet beträgt der Schlammanfall im gegebenen Fall 16.000 kg/d. Nach der maschinellen Entwässerung bleiben noch 2720 kg/d mit einem Trockenrückstand von 30% übrig.

Die erforderliche thermische Energiemenge für die Klärschlamm-trocknung wird wie in Kapitel 2.4.3 beschrieben, abgeschätzt. Zuerst wird die Wasserverdampfungsleistung sowie die Durchsatzleistung des Klärschlamm berechnet. Dies erfolgt mittels Formel 5 und Formel 6. Für die Durchsatzleistung des Trockenrückstands (\dot{m}_{TR}) werden 50 kg/h für den gegebenen Fall abgeschätzt. Getrocknet wird auf einen TS-Gehalt von 80% um einen guten Heizwert des Klärschlamm zu erreichen.

$$\dot{m}_{Verdampfung} = 50 * \left(\frac{100\%}{30} - \frac{100\%}{80} \right) = 104 \text{ kg/h}$$

$\dot{m}_{Verdampfung}$ Wasserverdampfungsleistung [kg/h]

$$\dot{m}_{KS} = 50 * \left(\frac{100\%}{30} \right) = 167 \text{ kg/h}$$

\dot{m}_{KS} Durchsatzleistung des Klärschlamm bei Eintritt [kg/h]

Weiters wird die thermische Energie für die Erwärmung des Klärschlamm mit Formel 8 und Formel 9 berechnet. Zuerst wird die Wärmekapazität des Klärschlamm benötigt, wobei für die Wärmekapazität des Trockenrückstands (c_{TR}) ein Wert von 1,2 kJ/(kg*K) und für die Wärmekapazität des Wassers (c_{Wasser}) ein Wert von 4,2 kJ/(kg*K) verwendet wird. Der Klärschlamm kommt mit einer Temperatur von 38°C aus dem Faulturm und wird auf 85°C erwärmt. Somit ergibt sich ein Temperaturunterschied von 47°C.

$$c_{KS} = \frac{30\%}{100\%} * 1,2 + \frac{100\% - 30\%}{100\%} * 4,2 = 3,3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}}$$

c_{KS} Wärmekapazität des Klärschlamm [kJ/(kg*K)]

$$\dot{Q}_{Erw} = 167 * 3,3 * 47 * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 7,2 \text{ kW}$$

\dot{Q}_{Erw} Wärmemenge für die Erwärmung [kW]

Die erforderliche Wärmemenge für die Wasserverdampfung wird mit Formel 10 aus dem Kapitel 2.4.3 berechnet. Die Verdampfungsenthalpie von Wasser bei einer Temperatur von 85°C beträgt 2298 kJ/kg.

$$\dot{Q}_{\text{Verdampfung}} = 104 * 2298 * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} = 66,4 \text{ kW}$$

$\dot{Q}_{\text{Verdampfung}}$ Wärmemenge für die Wasserverdampfung [kW]

Als letzten Anteil werden mit 5% der Summe aus der Wärmemenge für die Erwärmung und der Wasserverdampfung die Verluste abgeschätzt.

$$\dot{Q}_{\text{Verluste}} = (7,2 + 66,4) * 5\% = 3,7 \text{ kW}$$

$\dot{Q}_{\text{Verluste}}$ Wärmemenge der Verluste [kW]

Somit ergibt sich ein erforderlicher thermischer Energiebedarf für die Klärschlamm Trocknung von 77,3 kW. Wenn die Anlage 24h am Tag betrieben wird, bedeutet das einen Wärmebedarf von 1855,2 kWh/d.

$$\dot{Q}_{\text{Trocknung}} = 7,2 + 66,4 + 3,7 = 77,3 \text{ kW}$$

$\dot{Q}_{\text{Trocknung}}$ gesamte benötigte Wärmemenge Trocknung [kW]

In Tabelle 18 wird die benötigte Wärmemenge auf die einzelnen Monate aufgerechnet, um in weiterer Folge den gesamten zukünftigen Wärmebedarf der Kläranlage Guntramsdorf berechnen zu können.

Tabelle 18: Benötigte Wärmemenge für die Klärschlamm Trocknungsanlage [kWh/M]

Wärmemenge Klärschlamm Trocknungsanlage			
Monat	Tage	Qtrocknung [kWh/d]	Qtrocknung [kWh/M]
Jänner	31	1855,2	57511,2
Februar	28	1855,2	51945,6
März	31	1855,2	57511,2
April	30	1855,2	55656,0
Mai	31	1855,2	57511,2
Juni	30	1855,2	55656,0
Juli	31	1855,2	57511,2
August	31	1855,2	57511,2
September	30	1855,2	55656,0
Oktober	31	1855,2	57511,2
November	30	1855,2	55656,0
Dezember	31	1855,2	57511,2
			677148,0
			[kWh/a]

4.2.6 Wärmebedarf der Kläranlage Guntramsdorf

Alle Anlagenteile werden in weiterer Folge in Bezug auf den thermischen Energiebedarf der Kläranlage Guntramsdorf zusammengerechnet. Es wird zuerst der derzeitige Zustand gezeigt, im Anschluss werden die möglichen zukünftigen Zustände

ermittelt. Zum Schluss dieses Kapitels wird noch der Wärmeüberschuss nach den verschiedenen Ausbaustufen berechnet.

Derzeitiger Zustand

Zum momentanen Zeitpunkt sind auf der Kläranlage Guntramsdorf das Betriebsgebäude und die zugehörige Betriebshalle die einzigen zwei Verbraucher an thermischer Energie. Die Ermittlung des derzeitigen Verbrauchs an thermischer Energie wurde über die Jahresabrechnung der Jahre 2022 und 2023 durchgeführt. In Tabelle 19 wird der thermische Energiebedarf für das Betriebsgebäude und die Betriebshalle monatsweise aufgelistet.

Tabelle 19: Wärmebedarf des derzeitigen Zustands [kWh/M]

Derzeitiger Zustand	
Monat	Q_B [kWh/M]
Jänner	23 258,6
Februar	21 007,8
März	13 726,4
April	13 283,6
Mai	5 490,6
Juni	880,8
Juli	910,1
August	910,1
September	5 313,4
Oktober	13 726,4
November	13 283,6
Dezember	23 258,6
Summe	135 050,0

Zukünftige mögliche Zustände

Auf der Kläranlage Guntramsdorf ist eine Klärschlammfäulungsanlage sowie eine Schlamm Trocknung nicht auszuschließen. Deshalb werden diese als theoretische Abnehmer der thermischen Energie mitberücksichtigt. Diese beiden Anlagen können getrennt voneinander realisiert werden und sind in weiterer Folge in Tabelle 20 und Tabelle 21 in Kombination mit dem bestehenden Betriebsgebäude dargestellt.

Tabelle 20: Wärmebedarf Betriebsgebäude + Faulturm [kWh/M]

Betriebsgebäude + Faulturm			
Monat	Q_B [kWh/M]	Q_F [kWh/M]	Q_B + Q_F [kWh/M]
Jänner	23 258,6	20 725,1	43 983,8
Februar	21 007,8	21 496,2	42 504,0
März	13 726,4	22 150,9	35 877,3
April	13 283,6	17 869,8	31 153,4
Mai	5 490,6	16 127,9	21 618,5
Juni	880,8	18 825,7	19 706,5
Juli	910,1	13 893,9	14 804,0
August	910,1	15 207,5	16 117,7
September	5 313,4	15 785,9	21 099,3
Oktober	13 726,4	18 148,6	31 875,0
November	13 283,6	18 662,2	31 945,8
Dezember	23 258,6	19 595,2	42 853,8
Summe	135 050,0	218 488,9	353 538,9

Tabelle 21: Wärmebedarf Betriebsgebäude + Schlamm Trocknung [kWh/M]

Betriebsgebäude + Schlamm Trocknung			
Monat	Q_B [kWh/M]	Q_T [kWh/M]	Q_B + Q_T [kWh/M]
Jänner	23 258,6	57 511,2	80 769,8
Februar	21 007,8	51 945,6	72 953,4
März	13 726,4	57 511,2	71 237,6
April	13 283,6	55 656,0	68 939,6
Mai	5 490,6	57 511,2	63 001,8
Juni	880,8	55 656,0	56 536,8
Juli	910,1	57 511,2	58 421,3
August	910,1	57 511,2	58 421,3
September	5 313,4	55 656,0	60 969,4
Oktober	13 726,4	57 511,2	71 237,6
November	13 283,6	55 656,0	68 939,6
Dezember	23 258,6	57 511,2	80 769,8
Summe	135 050,0	677 148,0	812 198,0

Als letzte theoretische Ausbaustufe der Kläranlage wird in Tabelle 22 die maximale benötigte Wärmemenge dargestellt. Dabei wird der thermische Energieverbrauch des Betriebsgebäudes, des Faulturms und der Schlamm Trocknung summiert.

Tabelle 22: Wärmebedarf Betriebsgebäude + Faulturm + Schlamm Trocknung [kWh/M]

Betriebsgebäude + Faulturm + Schlamm Trocknung				
Monat	Q_B [kWh/M]	Q_F [kWh/M]	Q_T [kWh/M]	Q_B + Q_F + Q_T [kWh/M]
Jänner	23 258,61	20 725,15	57 511,20	101 494,96
Februar	21 007,78	21 496,25	51 945,60	94 449,62
März	13 726,39	22 150,90	57 511,20	93 388,49
April	13 283,61	17 869,77	55 656,00	86 809,38
Mai	5 490,56	16 127,91	57 511,20	79 129,67
Juni	880,76	18 825,74	55 656,00	75 362,51
Juli	910,12	13 893,85	57 511,20	72 315,17
August	910,12	15 207,54	57 511,20	73 628,86
September	5 313,44	15 785,85	55 656,00	76 755,30
Oktober	13 726,39	18 148,56	57 511,20	89 386,15
November	13 283,61	18 662,20	55 656,00	87 601,81
Dezember	23 258,61	19 595,22	57 511,20	100 365,03
Summe	135 050,00	218 488,95	677 148,00	1 030 686,95

Wärmeüberschuss

Der Wärmeüberschuss ergibt sich aus der potenziellen Wärmeentzugsleistung aus Tabelle 11, subtrahiert mit dem Verbrauch der Kläranlage. Dieser Überschuss kann beispielsweise als Fernwärme verkauft werden. Zuerst wird in Tabelle 23 bei maximaler potenzieller Wärmeentzugsleistung der derzeitige Wärmeüberschuss berechnet. Im derzeitigen Zustand kommt es zu einem theoretischen Wärmeüberschuss von über 7,5 GWh/a.

Tabelle 23: Wärmeüberschuss des derzeitigen Zustands [kWh/M]

Wärmeüberschuss derzeitiger Zustand			
Monat	P_{AW} [kWh/M]	Q_B [kWh/M]	W_B [kWh/M]
Jänner	1 049 385,4	23 258,6	1 026 126,8
Februar	934 060,2	21 007,8	913 052,4
März	711 245,8	13 726,4	697 519,4
April	597 243,2	13 283,6	583 959,6
Mai	420 743,3	5 490,6	415 252,7
Juni	219 299,7	880,8	218 418,9
Juli	197 771,0	910,1	196 860,9
August	315 088,4	910,1	314 178,3
September	454 927,4	5 313,4	449 614,0
Oktober	695 387,5	13 726,4	681 661,1
November	932 806,6	13 283,6	919 523,0
Dezember	1 197 221,4	23 258,6	1 173 962,8
Summe	7 725 180,0	135 050,0	7 590 130,0

Weiters wird in Tabelle 24 der Wärmeüberschuss bei voller Ausbaustufe der Kläranlage berechnet. Auch wenn die Kläranlage einen maximalen Verbrauch hat, kommt es trotzdem zu einem erheblichen Wärmeüberschuss von rund 6,7 GWh/a.

Tabelle 24: Wärmeüberschuss bei gesamtem Ausbau der Kläranlage [kWh/M]

Wärmeüberschuss gesamter Ausbau			
Monat	P_{AW} [kWh/M]	Q_B + Q_F + Q_T [kWh/M]	W_G [kWh/M]
Jänner	1 049 385,4	101 495,0	947 890,4
Februar	934 060,2	94 449,6	839 610,5
März	711 245,8	93 388,5	617 857,3
April	597 243,2	86 809,4	510 433,9
Mai	420 743,3	79 129,7	341 613,6
Juni	219 299,7	75 362,5	143 937,2
Juli	197 771,0	72 315,2	125 455,9
August	315 088,4	73 628,9	241 459,6
September	454 927,4	76 755,3	378 172,1
Oktober	695 387,5	89 386,2	606 001,3
November	932 806,6	87 601,8	845 204,8
Dezember	1 197 221,4	100 365,0	1 096 856,4
Summe	7 725 180,0	1 030 686,9	6 694 493,0

4.2.7 Wärmeversorgungsinfrastruktur im Umfeld

Für die Wärmeenergieversorgung auf der Kläranlage Guntramsdorf und auch im Umfeld gibt es ein bestehendes Gasversorgungsnetz. Weiters besteht noch die Option der Wärmergewinnung aus elektrischer Energie, die jedoch weder wirtschaftlich noch ökologisch vertretbar ist. Ansonsten stehen im Umkreis der Abwasserreinigungsanlage keine Optionen zur thermischen Energiebereitstellung zur Verfügung. In dem Gebiet um die Kläranlage wäre eine Wärmeversorgung mit der Energie aus dem Abwasser die ökologisch beste Variante. Mit der sauberen Energie könnte viel Erdgas eingespart werden. Es würde ein wichtiger Schritt zur Dekarbonisierung der thermischen Energie im Gemeindegebiet Guntramsdorf gesetzt werden.

4.2.8 Potenzielle Abnehmer im Umkreis der Kläranlage

Im Nordwesten der Kläranlage Guntramsdorf befindet sich ein umfassendes Industriegebiet, welches einen Abnehmer für die überschüssige thermische Energie darstellen könnte. Je nach Situierung der Betriebe sind diese zirka 800 m bis 1500 m von der Kläranlage entfernt. Ob bei Entfernungen in dieser Größenordnung eine wirtschaftliche Lösung möglich ist, muss gesondert untersucht werden. Für die Verteilung der thermischen Energie aus dem Abwasser können die zwei in Kapitel 2.6

beschriebenen Methoden Verwendung finden. Es kann sowohl ein warmes als auch ein kaltes Fernwärmenetz eingesetzt werden.

4.2.9 Ökonomische Gesichtspunkte und Auflagen

Im folgenden Kapitel wird die Wirtschaftlichkeit der Wärmepumpenanlage in Verbindung mit Abwasser beleuchtet. Dafür wird zuerst eine Kostenschätzung erstellt und anschließend mit dem derzeitigen Zustand in Form einer Wirtschaftlichkeitsanalyse verglichen. Dieses Kapitel wird mit den Behördenauflagen im gegebenen Fall abgeschlossen.

Kostenschätzung

Für die Kostenschätzung wurden Preise aus Erfahrungswerten von Experten sowie von Angeboten einschlägiger Firmen herangezogen. Zuerst wurde eine Kostenschätzung für den Wärmebedarf des derzeitigen Zustands erstellt. Es wurden eine Wärmepumpe sowie ein Wärmetauscher für das Heizen und die Warmwasserbereitstellung des Betriebsgebäudes dimensioniert. Bei dieser Auslegung der Anlage werden die Errichtungskosten auf 132.000,00€ (inkl. Ust.) geschätzt. In Tabelle 25 sind alle Positionen der Kostenschätzung ersichtlich.

Tabelle 25: Kostenschätzung für die derzeitige Ausbaustufe

Kostenschätzung

Objekt	Bauteil	Menge	Einheit	EP [€/EH]	PP [€]	
Anlagenteile	Wärmepumpe	1	PA	40 000,00	40 000,00	
	Wärmetauscher	1	PA	10 000,00	10 000,00	
Leitungsverlegung	Rohrleitungen	100	lfm	200,00	20 000,00	
Förderpumpe		1	PA	6 000,00	6 000,00	
Elektro-, mess-, regel- und steuerungstechnische Ausrüstung				1	PA	10 000,00
Zwischensumme Baukosten					86 000,00	
Nebenkosten (Planung, Statik, Bauaufsicht, etc.)					17 200,00	
Zwischensumme Baukosten + Nebenkosten					103 200,00	
Unvorhergesehenes und Rundung					6 800,00	
Errichtungskosten (exkl. Ust.)					110 000,00	
Umsatzsteuer 20%					€ 22 000,00	
<u>Errichtungskosten (inkl. Ust.)</u>					<u>€ 132 000,00</u>	

Als zweite Variante wurde der Fall angenommen, dass die Kläranlage mit einem Faulschlammreaktor sowie einer Schlamm Trocknung ausgestattet ist und die gesamte thermische Energie aus dem Abwasser bezieht. Dafür wird eine wesentlich größere Anlage mit einem eigenen Betriebsgebäude benötigt. In Tabelle 26 ist die Kostenschätzung für den angegebenen Fall ersichtlich. Die Errichtungskosten werden auf 444.000,00€ (inkl. Ust.) geschätzt.

Tabelle 26: Kostenschätzung für den vollen Ausbau

Kostenschätzung

Objekt	Bauteil	Menge	Einheit	EP [€/EH]	PP [€]
Betriebsgebäude					
	Raum Wärmetauscher	30 m ²		1 200,00	36 000,00
	Raum Wärmepumpe	20 m ²		1 000,00	20 000,00
	Vorraum	10 m ²		1 000,00	10 000,00
Summe Betriebsgebäude		60 m ²			66 000,00
Anlagenteile					
	Wärmepumpe	1 PA		150 000,00	150 000,00
	Wärmetauscher	1 PA		30 000,00	30 000,00
Leitungsverlegung	Rohrleitungen	200 lfm		200,00	40 000,00
Förderpumpe		1 PA		10 000,00	10 000,00
Elektro-, mess-, regel- und steuerungstechnische Ausrüstung		1 PA		15 000,00	15 000,00
Zwischensumme Baukosten					311 000,00
Nebenkosten (Planung, Statik, Bauaufsicht, etc.)					30 000,00
Zwischensumme Baukosten + Nebenkosten					341 000,00
Unvorhergesehenes und Rundung					29 000,00
Errichtungskosten (exkl. Ust.)					370 000,00
Umsatzsteuer 20%					€ 74 000,00
Errichtungskosten (inkl. Ust.)					<u>€ 444 000,00</u>

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurde für die beiden Varianten der Kostenschätzung durchgeführt. Als Grundlage der Berechnungen diente die ÖNORM M 7140. Für die Berechnungen wurde Folgendes im Vorhinein festgelegt:

- Betrachtungszeitraum: 20 Jahre
- Preisentwicklungsrate für Energiekosten: 2,7%
- Bei allen Kosten ist die Umsatzsteuer inkludiert (brutto) (ÖNORM M 7140, 2021)

Als Ausgangswerte der betrieblichen Kosten wurden die derzeitigen Strom- und Gaspreise der Kläranlage Guntramsdorf herangezogen. Der Strompreis beträgt derzeit 0,2246 €/kWh (inkl. Ust.) und der Gaspreis beträgt 0,1072 €/kWh (inkl. Ust.).

Variante 1:

Tabelle 27: Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 1

Wirtschaftlichkeitsanalyse

	Derzeitiger Zustand [€]	Ausbau mit Wärmepumpe [€]	Differenz [€]
Kapitalgebundene Kosten			
Investitionskosten	0,00	132 000,00	-132 000,00
Verbrauchsgebundene Kosten			
jährliche Energiekosten (Gas/Strom)	14 477,36	5 000,00	9 477,36
Betriebsgebundene Kosten			
jährliche Wartungskosten	430,00	300,00	130,00
Summe	14 907,36	137 300,00	-122 392,64
10 Jahre Betrachtungszeitraum	167 991,90	191 533,75	-23 541,86
20 Jahre Betrachtungszeitraum	385 956,02	268 326,26	117 629,77

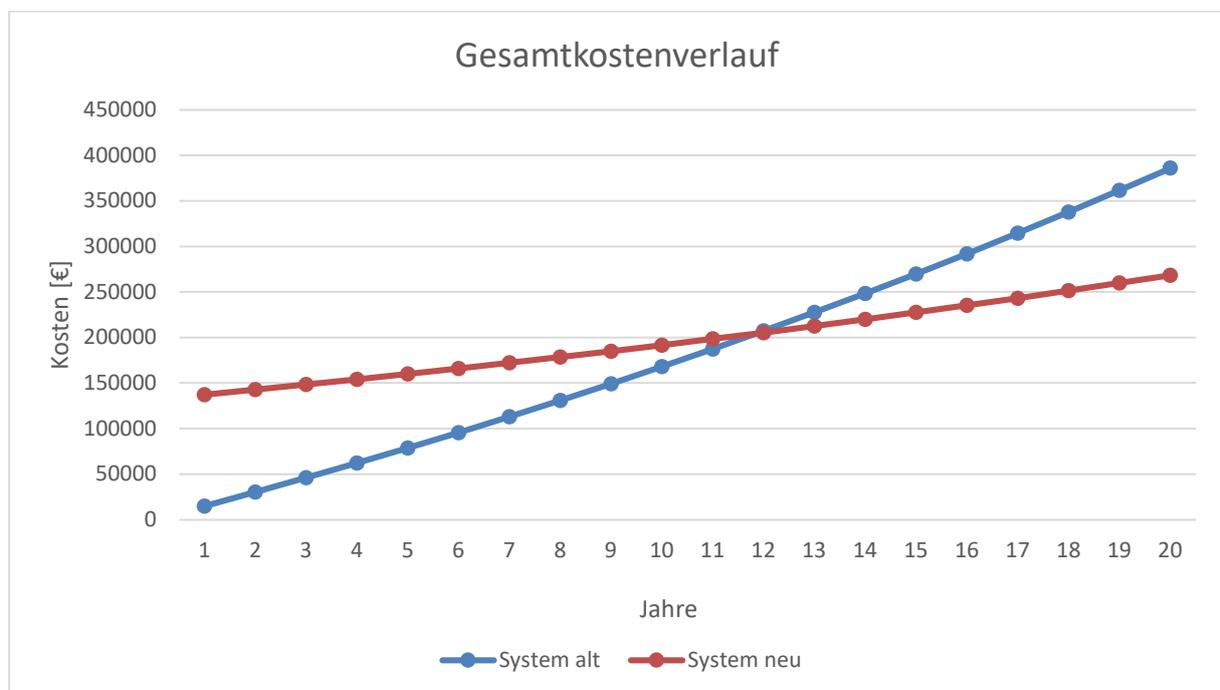


Abbildung 18: Gesamtkostenverlauf und Amortisationsdauer Variante 1

Variante 2:

In dieser Variante wurde angenommen, dass der Faulturm sowie die Schlamm-trocknung im derzeitigen Zustand mit Erdgas als Energiequelle betrieben werden. Im Fall der Ausbauvariante mit der Wärmepumpe würde die gesamte thermische Energie aus dem Kläranlagenablauf gezogen.

Tabelle 28: Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 2

Wirtschaftlichkeitsanalyse

	Derzeitiger Zustand [€]	Ausbau mit Wärmepumpe [€]	Differenz [€]
Kapitalgebundene Kosten			
Investitionskosten	0,00	444 000,00	-444 000,00
Verbrauchsgebundene Kosten			
Betriebsgebäude	14 477,36	10 110,74	4 366,62
Faulturm	23 422,02	16 357,54	7 064,48
Schlamm-trocknung	72 590,27	50 695,81	21 894,45
jährliche Energiekosten (Gas/Strom)	110 489,64	77 164,10	33 325,54
Betriebsgebundene Kosten			
jährliche Wartungskosten	430,00	600,00	-170,00
1 Jahr Betrachtungszeitraum	110 919,64	521 764,10	-410 844,46
10 Jahre Betrachtungszeitraum	1 253 578,79	1 322 475,18	-68 896,38
20 Jahre Betrachtungszeitraum	2 888 540,24	2 467 301,55	421 238,69

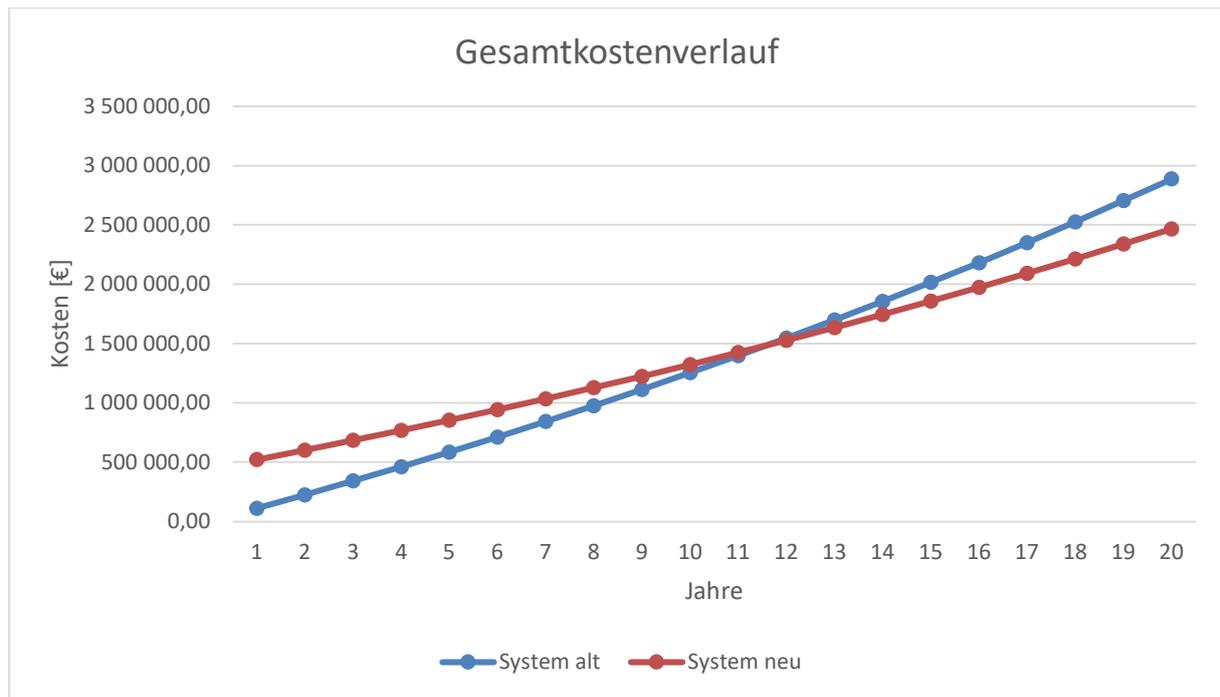


Abbildung 19: Gesamtkostenverlauf und Amortisationsdauer Variante 2

Sensitivitätsanalyse

Nach der ÖNORM M 7140 sollte eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt werden. Bei dieser sollten Parameter verändert werden, um deren Auswirkung auf die Wirtschaftlichkeit zu zeigen. Der Betrachtungszeitraum der Analyse ist im gegebenen Fall bei 20 Jahren und beide Varianten amortisieren sich bereits nach zirka 12 Jahren Laufzeit. Auch wenn sich die angenommenen Parameter stark verändern, wird die Anlage, auf 20 Jahre gesehen, wirtschaftlich laufen. Daher wurde im gegebenen Fall auf eine genauere Sensitivitätsanalyse der beiden Ausführungsvarianten verzichtet.

Behördenaufgaben

Die Kläranlage Guntramsdorf will die thermische Energie aus dem Kläranlagenablauf grundsätzlich selbst nutzen. Solange sich dabei der Inhalt und Umfang des Konsenses der Abwassereinleitung nicht ändert, muss aus rechtlicher Sicht nichts beachtet werden. Die Menge und Konzentrationen im Ablauf werden nicht verändert. Es ändert sich lediglich die Abwassertemperatur, diese bleibt aber immer im vorgeschriebenen Bereich der Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer. Würde es zu einer Änderung kommen, müsste eine Konsensänderung, beziehungsweise Anlagenänderung nach § 32 Abs. 2 eingereicht werden (ÖWAV-Arbeitsbehelf 65, 2021).

5 Zusammenfassung

5.1 Potenzialstudie

Temperaturentnahme entlang der Fließstrecke

Die mittlere Abwassertemperatur im Zulauf der Kläranlage unterschreitet im Jahresgang 10°C nicht, wodurch eine Temperaturentnahme grundsätzlich möglich ist. Die Grundvoraussetzungen für den Einbau eines Wärmetauschers (vgl. Kapitel 2.2.2) werden im Kanalnetz allerdings nur in wenigen Bereichen erreicht. An diesen Standorten wurden potenzielle Abnehmer identifiziert.

Um den Messpunkt M1 befindet sich ein Industriegebiet, in dem verschiedene Unternehmen ansässig sind und potenzielle Abnehmer darstellen. In diesem Bereich ist auch eine Sanierung des Kanalstrangs geplant, die einen gleichzeitigen Einbau eines Wärmetauschers begünstigt. Aus der Vorabschätzung wäre in diesem Bereich eine potenzielle Wärmeentzugsleistung von 400 bis 500 kW möglich. Bei einer saisonalen Nutzung entspricht das einem Energiepotenzial von über 2 GWh pro Jahr (vgl. Kapitel 4.1.4).

Unmittelbar an den Messpunkt M2 grenzt eine große Freifläche, die als Industriegebiet gewidmet ist und auf der zukünftig Betriebsgebäude die Energie aus dem Abwasser nutzen könnten. An diesem Kanalstrang wurden als weitere potenzielle Abnehmer rund 800 m oberhalb die Mittelschule Guntramsdorf sowie das BORG Guntramsdorf festgestellt. Für diesen Bereich ist eine potenzielle Wärmeentzugsleistung von 500 bis 600 kW abgeschätzt, welche bei saisonaler Nutzung ein Energiepotenzial von über 2,5 GWh pro Jahr ergibt. Die beiden Schulen liegen in zirka 300 m Entfernung zum untersuchten Kanalstrang. Laut ÖWAV-Arbeitsbehelf 65 ist als überbrückbare Größenordnung 100 m pro 100 kW Leistungsbedarf möglich. Die Anforderung wird im gegebenen Fall erfüllt.

Temperaturentnahme im Kläranlagenablauf

Bei den vorliegenden Gegebenheiten wird eine Nutzung des energetischen Potenzials im Kläranlagenablauf als wirtschaftlich eingestuft. Aus der Vorabschätzung nach den örtlichen Gegebenheiten wird die potenzielle Wärmeentzugsleistung im Kläranlagenablauf auf zirka 1300 bis 1400 kW geschätzt. Bei saisonaler Nutzung entspricht das Energiepotenzial über 6,5 GWh pro Jahr (vgl. Kapitel 4.1.5).

Mögliche Nutzung an der Kläranlage Guntramsdorf wären das Heizen der Betriebsgebäude oder die Beheizung eines zukünftigen Faulschlammreaktors. Die ARA Guntramsdorf besitzt zurzeit keine Klärschlamm-trocknungsanlage. Diese ist für die Zukunft nicht ausgeschlossen und stellt auch einen potenziellen Abnehmer für die gewonnene Energie dar.

Die einzelnen Untersuchungen beziehen sich jeweils nur auf die Energiegewinnung ausschließlich an den gewählten Standorten. Wird im Kanalnetz Energie entnommen, darf die Zulauftemperatur zur Kläranlage die Bemessungsgrenze von 10°C nicht unterschreiten. Dadurch ist, bezogen auf die typische jahreszeitliche Wassertemperatur der Schwechat, auch bei einer Temperaturentnahme im Kanalnetz Potenzial im Kläranlagenablauf vorhanden. Diese Untersuchung übersteigt den Rahmen einer Potenzialstudie und muss in einer Machbarkeitsstudie untersucht werden.

5.2 Machbarkeitsstudie

Wärmeüberschuss

Wird der Wärmebedarf mit den berechneten maximalen Wärmeentzugsleistungen verglichen, ist ein sehr deutlicher Wärmeüberschuss vorhanden. Dieser Wärmeüberschuss kann jedoch nie zu 100% ausgeschöpft werden, da eine Wärmepumpe für eine gewisse Heizleistung ausgelegt ist und diese nicht so stark variieren kann. Der Wärmeüberschuss kann zudem nur wirtschaftlich verkauft werden, wenn die Abnehmer direkte Nachbarn der Kläranlage sind. Gibt es, wie auf der Kläranlage Guntramsdorf, keine Abnehmer im direkten Umfeld ist eine wirtschaftliche Nutzung nur durch die Kläranlage selbst möglich.

Kostenschätzung

Im gegebenen Fall der Kläranlage Guntramsdorf wurden zwei Szenarien erstellt und jeweils dafür Kosten abgeschätzt. Je nach Anwendung variieren die Kosten der Anlagenteile sehr stark. Dabei ist immer die Wärmepumpe der größte kostentreibende Faktor. Die Wärmepumpe in der Variante 2 ist aufgrund der Schlamm Trocknung auf ein Temperaturniveau von 85°C ausgelegt. Wird beispielsweise die Wärmepumpe nur für einen Faulturn mit einem Temperaturniveau von 40°C ausgelegt, halbieren sich die Anschaffungskosten sowie die Stromkosten bei gleicher Heizleistung. Eine Wärmepumpe muss dementsprechend immer genau auf ihr Einsatzgebiet abgestimmt sein. Es ist nicht sinnvoll eine Wärmepumpe auf zukünftige Eventualitäten auszulegen.

Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wirtschaftlichkeitsanalysen der beiden Varianten zeigen, dass bei richtiger Auslegung der Anlagen, die Energie aus dem Abwasser wirtschaftlich eine sehr gute Alternative zu den herkömmlichen Energieträgern ist. Zudem ist diese Energiegewinnung aus ökologischer Sicht immer zu bevorzugen. Beide Varianten würden sich bei den angenommenen Preisen schon nach 12 Jahren amortisieren und dabei ein hohes Maß an fossilen Energieträgern einsparen. Für die Berechnungen wurden die derzeitigen Gas- und Strompreise verwendet und mit einer jährlichen Preissteigerung von 2,7% versehen. Diese Annahmen der Preisentwicklung sind sehr ungewiss, doch da sich die Anlage bereits nach etwa 12 Jahren amortisieren, besteht

eine hohe Sicherheit, dass eine solche Anlage auf 20 Jahre gesehen, wirtschaftlich betrieben werden kann.

5.3 Ausblick

Die Energie aus dem Abwasser ist eine ökologische Variante zur Bereitstellung von Wärmeenergie, die mit richtiger Anwendung wirtschaftlich genutzt werden kann. Gibt es an den potenziellen Standorten Abnehmer der thermischen Energie, wird nicht nur Geld gespart, sondern auch ein wichtiger Schritt bei der Dekarbonisierung der österreichischen Energiebereitstellung gesetzt. Im Fall der Kläranlage Guntramsdorf könnte die gesamte benötigte thermische Energie aus dem Kläranlagenablauf gezogen werden. Wichtig ist, dass die Anlage für die thermische Energiegewinnung nur für den tatsächlichen Verbrauch ausgelegt ist, um einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb zu gewährleisten.

Eine solche Anlage sollte in Verbindung eines Faulturms bzw. einer Klärschlamm-trocknungsanlage nicht nur einzeln betrachtet werden, sondern in das Energiekonzept der Kläranlage eingearbeitet sein. Beispielsweise könnte die thermische Energie zum Heizen des Faulturms sehr effizient mit einem Temperaturniveau von 40°C aus dem Abwasser erfolgen. In Verbindung mit einem Blockheizkraftwerk könnte dann die Abwärme der Gasverbrennung gut für die Schlamm-trocknung eingesetzt werden, da hier sehr hohe Temperaturen erreichbar sind und die Schlamm-trocknungsanlage mit höheren Temperaturen besser arbeitet. Diese Temperaturen sind mit der Energie aus dem Abwasser technisch nicht möglich. Durch etwaige Kombinationen wird eine Anlage zur Abwasserenergiegewinnung wirtschaftlicher eingesetzt als diese einzeln betrachtet.

Durch die exponierte Lage der Kläranlage Guntramsdorf ist die beste Variante am Kläranlagenstandort nur die Kläranlage mit „eigener“ thermischer Energie zu versorgen. Um die thermische Energie aus dem Abwasser trotzdem bestmöglich zu nutzen, wäre eine Teilentnahme an mehreren Standorten von Vorteil. Dafür könnten die aus der Potenzialstudie ermittelten Standorte im Kanalsystem herangezogen werden. Wichtig bei der Standortwahl ist, immer darauf zu achten, dass sich in unmittelbarer Nähe ein Abnehmer befindet.

Im Hinblick auf die Energie aus dem Abwasser gibt es in Österreich noch sehr viel Potenzial. Nur an wenigen Standorten wird eine Anlage zur Energierückgewinnung bereits eingesetzt. Auf dem Weg zur Dekarbonisierung der thermischen Energiebereitstellung in Österreich kann die alternative Energie aus dem Abwasser einen wichtigen Beitrag leisten.

6 Literaturverzeichnis

Abwassertechnische Vereinigung e. V. (1996) 'Klärschlamm - 4. Auflage'. Hennef, S 408-409.

AWEL (2010) 'Heizen und Kühlen mit Abwasser - Leitfaden für die Planung, Bewilligung und Realisierung von Anlagen zur Abwasserenergienutzung'. Available at: <https://www.zh.ch/de/planen-bauen/bauvorschriften/energienutzung-untergrundwasser/abwasser.html> (Accessed: 16 October 2024).

BGBI. I Nr. 8/2024 (idgF) *Bundesgesetz über die erneuerbare Wärmebereitstellung in neuen Baulichkeiten (Erneuerbare-Wärme-Gesetz – EWG)*. Available at: <https://ris.bka.gv.at/eli/bgbl/I/2024/8> (Accessed: 16 September 2024).

BGBI. II Nr. 99/2010 (idgF) *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des ökologischen Zustandes für Oberflächengewässer (Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer – QZV Ökologie OG)*. Available at: <https://www.ris.bka.gv.at/Dokument.wxe?ResultFunctionToken=4425dbe2-b7de-4b44-bf57-ed06f18bfeba&Position=1&Abfrage=Bundesnormen&Kundmachungsorgan=&Index=&Titel=qzv+%c3%b6kologie&Gesetzesnummer=&VonArtikel=&BisArtikel=&VonParagraf=&BisParagraf=&VonAnlage=&BisAnlage=&Typ=&Kundmachungsnummer=&Unterzeichnungsdatum=&FassungVom=01.07.2019&VonInkrafttredatum=&BisInkrafttredatum=&VonAusserkrafttredatum=&BisAusserkrafttredatum=&NormabschnittnummerKombination=Und&ImRisSeitVonDatum=&ImRisSeitBisDatum=&ImRisSeit=Undefined&ResultPageSize=100&Suchworte=&Dokumentnummer=NOR40117046> (Accessed: 20 October 2024).

BGBI. II Nr. 118/2024 (idgF) *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft, Familie und Jugend über die Verbrennung von Abfällen (Abfallverbrennungsverordnung – AVV)*. Available at: <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/II/2024/118> (Accessed: 16 September 2024).

BGBI. Nr. 186/1996 (idgF) *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die allgemeine Begrenzung von Abwasseremissionen in Fließgewässer und öffentliche Kanalisationen (Allgemeine Abwasseremissionsverordnung – AAEV)*. Available at: <https://www.ris.bka.gv.at/eli/bgbl/1996/186/P0/NOR40219194> (Accessed: 23 September 2024).

BGBI. Nr. 210/1996 (idgF) *Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft über die Begrenzung von Abwasseremissionen aus Abwasserreinigungsanlagen für Siedlungsgebiete (1. AEV für kommunales Abwasser)*. Available at: <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=10010980> (Accessed: 28 October 2024).

BMLFUW (2016) 'Nationaler Gewässerbewirtschaftungsplan 2015 - Gewässertypologie von Oberflächengewässern: Fischregionen'. Available at: https://info.bml.gv.at/dam/jcr:8bf0b41c-3be9-44c7-85f7-08e8408fbf68/KarteO_TYP2_NGP15.pdf (Accessed: 20 October 2024).

Buri, R. and Kobel, B. (2004) 'Wärmenutzung aus Abwasser - Leitfaden für Inhaber, Betreiber und Planer von Abwasserreinigungsanlagen und Kanalisation'. Bern/Zürich.

Dürrenmatt, D.J. and Wanner, O. (2008) 'Simulation of the wastewater temperature in sewers with TEMPEST'. Zürich, Duebendorf.

Dürrenmatt, D.J. and Wanner, O. (2014) 'A mathematical model to predict the effect of heat recovery on the wastewater temperature in sewers'. Dübendorf.

DWA (2017) 'Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen. DWA-Themen'. Hennef.

DWA, ÖWAV and VSA (2009) 'Betriebs - Info, Informationen für das Betriebspersonal von Abwasseranlagen'. Hennef.

DWA-M 114 (2022) 'Abwasserwärmenutzung. DWA-Merkblatt'. Hennef.

DWA-M 368 (2014) 'Biologische Stabilisierung von Klärschlamm. DWA-Merkblatt'. Hennef.

DWA-M 379 (2021) 'Klärschlamm-trocknung. DWA-Merkblatt'. Hennef.

Huber, F. *et al.* (2020) 'Suitability Pre-Assessment of in-Sewer Heat Recovery Sites Combining Energy and Wastewater Perspectives'. Basel.

Kachelmannwetter (2024) *Bodentemperatur -1m*, *Kachelmannwetter.com*. Available at: <https://kachelmannwetter.com/de/messwerte/deutschland/bodentemperatur-1m/20231213-1300z.html> (Accessed: 5 November 2024).

Klima- und Energiefonds (2023) 'Leitfaden - Energie aus Abwasser'. Wien.

Kretschmer, F. *et al.* (2015) 'Resource recovery from wastewater in Austria: wastewater treatment plants as regional energy cells'. Wien, Graz.

Land Niederösterreich (2023) *Wasserstandsrichten und Hochwasserprognosen*. Available at: <https://www.noel.gv.at/wasserstand/#/de/Messstellen/Details/209718/Wassertemperatur/Jahr> (Accessed: 20 October 2024).

Lebensministerium (2008) 'Leitfaden für die Erstellung eines Energiekonzeptes kommunaler Kläranlagen'. Wien.

Marktgemeinde Guntramsdorf (2025) 'Angaben über die Marktgemeinde Guntramsdorf'. Guntramsdorf. Available at: <https://www.guntramsdorf.at/cgi-bin/ONLWYSIWYG2008/ONL.cgi?WHAT=INFOSHOW&INFONUMMER=18419205&ONLFA=GUN> (Accessed: 20 January 2025).

Müller-Rechberger, H. *et al.* (2024) 'Kommunales Abwasser - Lagebericht 2024, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft'. Wien. Available at: https://info.bml.gv.at/dam/jcr:2900fd1e-5347-4fdc-9f7e-fc9162778c20/UWWTD_Lagebericht_2024_2024_v3.pdf (Accessed: 16 September 2024).

ÖNORM B 2502-1 (2012) 'Kleinkläranlagen (Hauskläranlagen) für Anlagen bis 50 Einwohnerwerte (EW) - Vor Ort hergestellte Anlagen - Anwendung, Bemessung, Bau und Betrieb'. Wien: Austrian Standards International.

ÖNORM M 7140 (2021) 'Betriebswirtschaftliche Vergleichsrechnung für Energiesysteme nach dynamischen Rechenmethoden'. Wien: Austrian Standards International.

ÖWAV-Arbeitsbehelf 65 (2021) 'Energetische Nutzung des thermischen Potenzials von Abwasser'. Wien.

Projektteam 'Energie aus Abwasser' (2012) 'Energie aus Abwasser - Abwasserwärme- und -kältenutzung mittels hocheffizienter Großwärmepumpen'. Wien.

Rabmer Management & Beteiligungs GmbH (2024) *Rabmer - Energie aus Abwasser für Heizung/Kühlung nützen!, webpaket*. Available at: <https://www.rabmer.at/produkteleistungen/umwelttechnik/energie-aus-abwasser-alt/> (Accessed: 15 December 2024).

RABTHERM AG (2024) 'Energie aus Abwasser - Die regenerative Energiequelle zur Wärmeerzeugung und Kühlung'. Zürich. Available at: https://www.rabtherm.com/images/stories/Flyer_DE.pdf (Accessed: 15 December 2024).

Riccabona, C. and Bednar, T. (2010) 'Baukonstruktionslehre 4 - Bauphysik'. Wien, S 23-30.

Schulze, M. and Seidel, P. (2018) 'Verdampfungsgleichgewicht und Dampfdruck - Grundlagen, Methoden und Anwendungen'. Freiberg, S 43-45.

Statista (2024) *Temperatur Österreich Statistik 2024*, *Statista.com*. Available at: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/973219/umfrage/temperatur-in-oesterreich-nach-monaten/> (Accessed: 5 November 2024).

Umweltbundesamt GmbH (2022) "'CIRCULAR ECONOMY" im Abfallbereich – Evaluierung im Hinblick auf Klärschlammkompost'. Wien.

Wikipedia (2024) *Verdampfungsenthalpie*, *Wikipedia.org*. Available at: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Verdampfungsenthalpie&oldid=247400375> (Accessed: 8 November 2024).

Wirtschaftskammer Österreich (2024) *Wärme | Energie effizient nutzen*, *wko.at*. Available at: <https://www.wko.at/netzwerke/infopoint-energie-waerme> (Accessed: 14 September 2024).

7 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Nachträglich in den Kanalquerschnitt eingebauter Wärmetauscher (Rabmer Management & Beteiligungs GmbH, 2024)	8
Abbildung 2: Rohr mit integriertem Wärmetauscher (RABTHERM AG, 2024).....	9
Abbildung 3: Externer Wärmetauscher (Rabmer Management & Beteiligungs GmbH, 2024)	10
Abbildung 4: Funktionsprinzip einer Wärmepumpe (DWA-M 114, 2022)	11
Abbildung 5: Prinzip der Konvektionstrocknung (Abwassertechnische Vereinigung e. V., 1996).....	15
Abbildung 6: Prinzip der Kontaktstrocknung (Abwassertechnische Vereinigung e. V., 1996)	15
Abbildung 7: Verteilsysteme der rückgewonnenen Wärme (AWEL, 2010).....	20
Abbildung 8: Übersichtskarte Guntramsdorf	25
Abbildung 9: Monatsmittelwerte der Temperatur [°C] im Zulauf der Kläranlage	28
Abbildung 10: Monatsmittel Zufluss Q [l/s] zur Kläranlage.....	29
Abbildung 11: Monatsmittelwerte der Temperatur [°C] im Ablauf der Kläranlage	30
Abbildung 12: Monatsmittel Abfluss Q [l/s] aus der Kläranlage	31
Abbildung 13: Durchfluss bei Messpunkt M1 [l/s]	33
Abbildung 14: Temperatur bei Messpunkt M1 [°C]	33
Abbildung 15: Durchfluss bei Messpunkt M2 [l/s]	34
Abbildung 16: Temperatur bei Messpunkt M2 [°C]	35
Abbildung 17: Ausschnitt der Energiepotenzialkarte	41
Abbildung 18: Gesamtkostenverlauf und Amortisationsdauer Variante 1	57
Abbildung 19: Gesamtkostenverlauf und Amortisationsdauer Variante 2.....	59

8 Formelverzeichnis

Formel 1: Wärmeübertragungsleistung Wärmetauscher [kW] (Buri and Kobel, 2004)	7
Formel 2: Berechnung Schlammaufheizung (Lebensministerium, 2008)	13
Formel 3: Berechnung der Transmissionsverluste (Lebensministerium, 2008)	13
Formel 4: Verdampfungsenthalpie von Wasser [kJ mol ⁻¹]	16
Formel 5: Wasserverdampfungsleistung [kg/h] (DWA-M 379, 2021)	17
Formel 6: Durchsatzleistung des Klärschlammes bei Eintritt [kg/h] (DWA-M 379, 2021)	17
Formel 7: Wärmemenge Trocknung [kW] (DWA-M 379, 2021)	17
Formel 8: Wärmemenge für die Erwärmung des Klärschlammes [kW] (DWA-M 379, 2021)	18
Formel 9: Wärmekapazität des Klärschlammes [kJ/(kg*K)] (DWA-M 379, 2021)	18
Formel 10: Wärmemenge für die Wasserverdampfung [kW] (DWA-M 379, 2021)	18
Formel 11: Wärmemenge der Verluste [kW] (DWA-M 379, 2021)	19
Formel 12: Mischungsrechnung (Huber <i>et al.</i> , 2020)	21
Formel 13: Potenzielle Wärmeentzugsleistung (Kretschmer <i>et al.</i> , 2015)	22

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Monatsmittelwerte der Temperatur [°C] im Zulauf der Kläranlage	27
Tabelle 2: Monatsmittel Zufluss Q [l/s] zur Kläranlage.....	28
Tabelle 3: Monatsmittelwerte der Temperatur [°C] im Ablauf der Kläranlage	30
Tabelle 4: Monatsmittel Abfluss Q [l/s] aus der Kläranlage	31
Tabelle 5: Mischungsrechnung für den Messpunkt M1	36
Tabelle 6: Mischungsrechnung für den Messpunkt M2	36
Tabelle 7: Potenzielle Wärmeentzugsleistung für den Messpunkt M1.....	37
Tabelle 8: Potenzielle Wärmeentzugsleistung für den Messpunkt M2.....	38
Tabelle 9: Jahreszeitlich typische Wassertemperaturen in der Schwechat [°C] (Land Niederösterreich, 2023)	39
Tabelle 10: Potenzielle Wärmeentzugsleistung im Kläranlagenablauf [kW]	39
Tabelle 11: Potenzielle Wärmeentzugsleistung im Kläranlagenablauf pro Tag, pro Monat bzw. pro Jahr	44
Tabelle 12: Gasverbrauch der Kläranlage Guntramsdorf pro Monat bzw. pro Jahr...	45
Tabelle 13: Überschussschlamm der Kläranlage Guntramsdorf [m ³ /d]	46
Tabelle 14: Berechnung des Wärmebedarfs für die Schlammaufheizung [kWh/d]	46
Tabelle 15: Berechnung der Transmissionsverluste des Faulbehälters [kWh/d]	47
Tabelle 16: Speicher-, Erzeugungs- und Verteilungsverluste [kWh/d].....	48
Tabelle 17: Benötigte Wärmemenge des Faulbehälters [kWh/M].....	48
Tabelle 18: Benötigte Wärmemenge für die Klärschlamm-trocknungsanlage [kWh/M]	50
Tabelle 19: Wärmebedarf des derzeitigen Zustands [kWh/M]	51
Tabelle 20: Wärmebedarf Betriebsgebäude + Faulturm [kWh/M].....	52
Tabelle 21: Wärmebedarf Betriebsgebäude + Schlamm-trocknung [kWh/M]	52
Tabelle 22: Wärmebedarf Betriebsgebäude + Faulturm + Schlamm-trocknung [kWh/M]	53
Tabelle 23: Wärmeüberschuss des derzeitigen Zustands [kWh/M]	53
Tabelle 24: Wärmeüberschuss bei gesamtem Ausbau der Kläranlage [kWh/M]	54
Tabelle 25: Kostenschätzung für die derzeitige Ausbaustufe	55
Tabelle 26: Kostenschätzung für den vollen Ausbau.....	56
Tabelle 27: Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 1.....	57
Tabelle 28: Wirtschaftlichkeitsanalyse Variante 2.....	58

10 Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
Abs.	Absatz
AEV	Abwasseremissionsverordnung
AWEL	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Kanton Zürich
BHKW	Blockheizkraftwerk
°C	Grad Celsius
ca.	zirka
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
d	Tag
DN	Nenndurchmesser
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
EW	Einwohnerwert
g	Gramm
GWh	Gigawattstunde
h	Stunde
H ₂ S	Schwefelwasserstoff
K	Kelvin
kg	Kilogramm
kJ	Kilojoule
km	Kilometer
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
l	Liter
M	Monat
m	Meter
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
MJ	Megajoule
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
S	Seite
s	Sekunde
t	Tonne
TS	Trockensubstanz
vgl.	vergleiche

VSA	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute
W	Watt
Wh	Wattstunde
z.B.	zum Beispiel
%	Prozent
€	Euro
§	Paragraf