

Unser Wasser macht gutes Klima

Investitionen der Siedlungswasserwirtschaft in die erneuerbare
Energieversorgung

Wien, 2022

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft,
Stubenring 1, 1010 Wien

Autorinnen und Autoren: DI Dr. Franz Zach

Gesamtumsetzung: DI Dr. Franz Zach, Österreichische Energieagentur

Fotonachweis: BML/Paul Gruber (S. 3)



Wien, 2022. Stand: 15. November 2022

Copyright und Haftung:

Auszugsweiser Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet, alle sonstigen Rechte sind ohne schriftliche Zustimmung des Medieninhabers unzulässig.

Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft und des Autors ausgeschlossen ist. Rechtausführungen stellen die unverbindliche Meinung des Autors dar und können der Rechtsprechung der unabhängigen Gerichte keinesfalls vorgreifen.

Unser Wasser macht gutes Klima



Mag. Norbert Totschnig, MSc
Bundesminister

Der Klimawandel zählt zu den größten Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Wir stellen uns dieser Aufgabe auch in der Siedlungswasserwirtschaft mit aller Entschlossenheit und sehen es nicht nur als eine moralische Verpflichtung, sondern auch als eine große Chance. Wer sich schon früh als internationaler Vorreiter positioniert, schafft zukunftssichere Arbeitsplätze und neue Exportmöglichkeiten.

Die Siedlungswasserwirtschaft benötigt zur Erfüllung ihrer Aufgaben Energie, sie stellt aber auch eine wichtige Energieressource dar. Die vorliegende Studie zeigt auf, dass im Bereich der österreichischen Trinkwasserversorgung wie auch der Abwasserentsorgung vielfältige Optionen zur Energieeinsparung sowie auch wesentliche Möglichkeiten zur klimaschonenden Energieerzeugung bestehen. Bei optimaler Nutzung aller Möglichkeiten könnte die Siedlungswasserwirtschaft einen weiteren wesentlichen Beitrag zur Minimierung der Treibhausgase leisten und letztendlich sogar zu einer Treibhausgassenke werden.

Verantwortungsbewusst mit unseren natürlichen Ressourcen wie Wasser, Boden und Energie umzugehen, ist ein Gebot der Stunde. Die Ergebnisse der Studie zeigen deutlich, dass dadurch auch ein wesentlicher Beitrag zum Klimaschutz geleistet werden kann.

Mag. Norbert Totschnig, MSc
Bundesminister

Inhalt

Kurzfassung	8
1 Einleitung	9
2 Methodik	11
2.1 Betrachtete energetische Beiträge.....	11
2.2 Analyse der Barrieren	11
2.3 Entwicklung von zwei Szenarien.....	11
2.4 Abschätzung der Investitionskosten.....	12
2.5 Abschätzung der Betriebskosten	12
2.6 Abschätzung Treibhausgasemissionen	14
2.7 Abschätzung Arbeitsplatzeffekte.....	14
3 Betrachtete energetische Beiträge	15
4 Ergebnisse – Energieeinsparpotenziale	16
4.1 Pumpenstrom in der Wasserversorgung.....	16
4.1.1 Barrieren	16
4.1.2 Energiepotenzial	17
4.1.3 Investitionskosten.....	18
4.1.4 Betriebskosten	18
4.1.5 Treibhausgasbilanz.....	19
4.1.6 Arbeitsplatzeffekte	19
4.2 Pumpenstrom im Kanalnetz	19
4.2.1 Barrieren	19
4.2.2 Energiepotenzial	20
4.2.3 Investitionskosten.....	21
4.2.4 Betriebskosten	21
4.2.5 Treibhausgasbilanz.....	22
4.2.6 Arbeitsplatzeffekte	22
4.3 Strom für Belüftung, Rührwerke, Pumpen auf der Kläranlage	22
4.3.1 Barrieren	23
4.3.2 Energiepotenzial	26
4.3.3 Investitionskosten.....	27
4.3.4 Betriebskosten	28
4.3.5 Treibhausgasbilanz.....	28
4.3.6 Arbeitsplatzeffekte	28
4.4 Faulturmdämmung	28

4.4.1	Barrieren	29
4.4.2	Energiepotenzial	29
4.4.3	Investitionskosten	30
4.4.4	Betriebskosten	31
4.4.5	Treibhausgasbilanz.....	31
4.4.6	Arbeitsplatzeffekte	31
4.5	Reduzierung des Klärschlamm-Wassergehalts vor dem Faulturn.....	31
4.5.1	Barrieren	32
4.5.2	Energiepotenzial	32
4.6	Dämmung von Betriebsgebäuden und eingehauste Anlagen.....	33
4.6.1	Barrieren	33
5	Ergebnisse – Energieerzeugungspotenziale.....	34
5.1	Klärgas zur Einspeisung ins Erdgasnetz	34
5.1.1	Barrieren	34
5.1.2	Energiepotenzial	35
5.2	Klärgas zur Stromerzeugung.....	35
5.2.1	Barrieren	35
5.2.2	Energiepotenzial	36
5.2.3	Investitionskosten.....	37
5.2.4	Betriebskosten	38
5.2.5	Treibhausgasbilanz.....	39
5.2.6	Arbeitsplatzeffekte	39
5.3	Klärgas zur Wärmeerzeugung.....	39
5.3.1	Barrieren	40
5.3.2	Energiepotenzial	40
5.3.3	Investitionskosten.....	42
5.3.4	Betriebskosten	42
5.3.5	Treibhausgasbilanz.....	42
5.3.6	Arbeitsplatzeffekte	43
5.4	Photovoltaik auf Wasserversorgungsanlagen, Pumpwerken und Kläranlagen	43
5.4.1	Barrieren	43
5.4.2	Energiepotenzial	44
5.4.3	Investitionskosten.....	46
5.4.4	Betriebskosten	47
5.4.5	Treibhausgasbilanz.....	47
5.4.6	Arbeitsplatzeffekte	47
5.5	(Mit-)Verbrennung von Klärschlamm	48

5.5.1	Barrieren	48
5.5.2	Energiepotenzial	49
5.5.3	Investitionskosten.....	50
5.5.4	Betriebskosten	50
5.5.5	Treibhausgasbilanz.....	51
5.5.6	Arbeitsplatzeffekte	51
5.6	Wärmenutzung aus Abwasser	51
5.6.1	Barrieren	51
5.6.2	Energiepotenzial	54
5.6.3	Investitionskosten.....	56
5.6.4	Betriebskosten	57
5.6.5	Treibhausgasbilanz.....	58
5.6.6	Arbeitsplatzeffekte	58
5.7	Wärmenutzung aus Trink- und Nutzwasser	58
5.7.1	Barrieren	58
5.7.2	Energiepotenzial	59
6	Zusammenfassung der Szenarienergebnisse.....	60
6.1	Energiepotenzial	60
6.1.1	Einordnung des erzielbaren Energiepotenzials im Gesamtkontext	61
6.2	Investitionskosten.....	65
6.3	Betriebskosten	66
6.4	Treibhausgasemissionen.....	67
6.4.1	Einordnung der erzielbaren Einsparungen von Treibhausgas-Emissionen im Gesamtkontext.....	68
6.5	Inländische Arbeitsplatzeffekte	70
7	Weitere energie- und emissionsrelevante Aspekte.....	72
7.1	Detailbetrachtung thermische Abwassernutzung.....	72
7.1.1	Ökologische Analyse	73
7.1.2	Wirtschaftliche Analyse	73
7.1.3	Wirtschaftliche Analyse für Haushalte	75
7.2	Vierte Reinigungsstufe für Kläranlagen	75
7.3	Lageenergie durch Trinkwasserkraftwerke	76
7.4	Lachgas- und Methanverluste sowie der Anteil an nicht biogenem, fossilem organischem Kohlenstoff in Abwässern.....	76
7.5	Wertstoffe im Abwasser	78
7.6	Energieoptimierte Abwasserreinigung.....	78
7.7	Power to Gas auf der Kläranlage	80

7.8 Eingehauste Anlagen	81
8 Zusammenfassung.....	82
Tabellenverzeichnis.....	88
Literaturverzeichnis	89
Abkürzungen.....	93

Kurzfassung

Auf den Anlagen der österreichischen Siedlungswirtschaft bestehen vielfältige Optionen zur Einsparung elektrischer und thermischer Energie sowie ungenutzte Potenziale zu deren Erzeugung. Die Möglichkeiten reichen vom Austausch von Pumpen in der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung, Optimierungen auf Kläranlagen und Dämmung von Faultürmen auf der Einsparungsseite bis zur optimierten Nutzung von Klärgas zur Strom- oder Wärmeerzeugung, der verstärkten Nutzung von Photovoltaik sowie der thermischen Nutzung von Abwasser auf der Erzeugungsseite. Dieser Bericht untersucht das Umsetzungspotenzial bis 2027.

Es zeigt sich, dass die thermische Nutzung des Abwassers nach der Kläranlage das bei weitem größte Potenzial darstellt. Diese verbraucht zwar elektrische Energie, hat aber massive positive Effekte auf die Wärmebilanz und die Treibhausgasbilanz.

Der elektrische Nettoenergieverbrauch in der Siedlungswasserwirtschaft von derzeit 282 GWh/a (637 GWh/a Verbrauch und 355 GWh/a Eigenerzeugung) würde durch Umsetzung aller Optionen auf 221 GWh/a reduziert, ohne thermische Nutzung des Abwassers (welche Strom für Wärmepumpen benötigt) sogar auf 0 GWh/a.

Derzeit betragen der thermische Energieverbrauch und die thermische Erzeugung in der Siedlungswasserwirtschaft jeweils etwa 300 GWh/a. Bis 2027, vor allem durch thermische Nutzung des Abwassers, könnte ein Überschuss von bis zu 883 GWh/a entstehen.

Die Investitionskosten belaufen sich bei Umsetzung aller Maßnahmen auf etwa 804 Millionen Euro. Dadurch könnten die Energiekosten um 35,6 Millionen Euro jährlich sinken. Dabei sind allerdings zukünftige Energiepreissteigerungen nicht berücksichtigt.

Der Treibhausgasausstoß in der Siedlungswasserwirtschaft beträgt derzeit 277.714 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr. Durch Umsetzung aller Optionen würde sich die Bilanz auf minus 31.662 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr verbessern und somit die Siedlungswasserwirtschaft zu einer Treibhausgasenke werden. Ohne thermische Nutzung des Abwassers würden Nettoemissionen von 158.719 Tonnen CO₂-Äquivalenten bleiben.

Weiters ergäbe sich ein Beschäftigungseffekt von über 4.000 Jahresvollzeitäquivalenten.

1 Einleitung

Die sichere Versorgung mit Wasser in guter Qualität ist eine der Lebensgrundlagen der Menschheit. Österreich hat das große Glück über ausreichende Wasserressourcen zu verfügen. 90 % der Bevölkerung, das sind circa acht Millionen Einwohner:innen, werden durch zentrale Wasserversorgungsanlagen bedient.

Rund 5.500 Wasserversorgungsunternehmen kümmern sich täglich darum, eine durchgehende, ungestörte und vor allem sichere Wasserversorgung zu gewährleisten. Genauso ist die Sicherstellung einer geordneten umweltverträglichen Abwasserentsorgung eine wesentliche Aufgabe im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft, um flächendeckend eine gute Wasserqualität zu sichern. Diese Aufgabe wird österreichweit von rund 2.200 öffentlichen Abwasserentsorgungsbetrieben wahrgenommen. Die Bedeutung dieser Themen wird auch dadurch unterstrichen, dass sie im aktuellen Regierungsprogramm 2020 bis 2024 mehrfach angesprochen werden.

Um die nationalen Energieziele und die klimapolitischen Ziele zu erreichen, insbesondere ein klimaneutrales Österreich bis 2040, müssen die Produktion von erneuerbarer Energie massiv und auf allen Ebenen ausgebaut und Potenziale zur Energieeinsparung realisiert werden. Auf Anlagenstandorten der Siedlungswirtschaft gibt es beträchtliche und vielfach ungenutzte Potenziale zur Bereitstellung von Energie aus nicht-fossilen Ressourcen. Auf der anderen Seite existieren ebenso Möglichkeiten zur Energieeinsparung. Dabei betreffen die Erzeugungs- und Einsparpotenziale sowohl elektrische als auch thermische Energie. Die Siedlungswasserwirtschaft ist daher einerseits durch den Klimawandel – Stichwort zunehmende Trockenperioden, aber auch Starkregen-Problematik – gefordert, kann aber andererseits selbst einen Beitrag zum Schutz unseres Klimas leisten.

Die Siedlungswasserwirtschaft war in der Vergangenheit ein relevanter Investor: Im Zeitraum 1959 bis 2020 wurden insgesamt 64 Milliarden Euro in Wasser- und Abwassersysteme investiert. Die gesetzten Maßnahmen trugen vor allem zu einer sicheren Wasserversorgung und zu einer umweltverträglichen Abwasserentsorgung bei. Zum Teil waren die Investitionen auch bereits auf die Nutzung von Energiepotenzialen und die effiziente Nutzung elektrischer und thermischer Energie gerichtet. Diesen Fokus gilt es in Zukunft stärker auszubauen. Dies muss jedoch im Einklang mit den wirtschaftlichen Möglichkeiten der Akteure geschehen. Daher ist es auch eine zentrale Aufgabe dieses Berichts, die wirtschaftlichen Auswirkungen optimierter Energienutzung zu analysieren.

Verstärkte Investitionen in erneuerbare Energien und in Energieeffizienz in der Siedlungswasserwirtschaft wirken positiv auf die inländische beziehungsweise regionale Wertschöpfung und bringen Beschäftigung für tausende Menschen in Österreich.

Vor diesem Hintergrund sind die Ziele des gegenständlichen Vorhabens die Potenziale für Energieeinsparungen und die Erzeugung erneuerbarer Energie auf Anlagenstandorten der Siedlungswasserwirtschaft aufzuzeigen und

- das hierfür notwendige Investitionsvolumen,
- die damit verbundenen Arbeitplatzeffekte,
- die aus diesen Investitionen resultierende Betriebskostenreduktion (Reduktion der Energiekosten beziehungsweise Erlöse aus dem Verkauf von Energie)
- und die dadurch ausgelösten Umwelteffekte (CO₂-Reduktion) abzuschätzen.

Mit den Ergebnissen dieser Studie erhalten Entscheidungsträger in Verwaltung und Politik abgeschätzte Zahlen, Daten und Fakten zu den Effekten der Erzeugung erneuerbarer Energie und von Energieeinsparungsmaßnahmen in der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft. Die erarbeiteten Inhalte dienen als Basis, um Bewusstsein für die ganzheitlichen Leistungen der Branche zu schaffen und in weiterer Folge geeignete Anreizsysteme und einen ordnungspolitischen Rahmen zu schaffen.

Die Datenlage (zu spezifischen Kosten, Mengen et cetera) erlaubt generell nur eine grobe Bilanzierung von Durchschnittswerten. Die Ergebnisse in dieser Studie weisen daher Unschärfen und Unsicherheiten auf und sagen im Besonderen nichts über die Verhältnisse im Einzelfall aus. Daher ist diese Studie ausschließlich zur Einordnung von gesamt-österreichischen Potenzialen heranzuziehen und jedenfalls nicht als Grundlage für eine Machbarkeit oder das Potenzial einer konkreten Anlage.

2 Methodik

Im Folgenden wird auf die methodischen Grundlagen eingegangen, die im Rahmen dieses Berichtes zur Anwendung kommen. Das Kapitel gliedert sich entlang der in der Einleitung dargestellten Themengebiete.

2.1 Betrachtete energetische Beiträge

In der Siedlungswasserwirtschaft existiert eine Vielzahl von Optionen zur Energieeinsparung und zur verstärkten Erzeugung von Energie aus nicht-fossilen, lokal verfügbaren Quellen. Diese Studie fokussiert dabei auf die wichtigsten Hebel, die hier zur Verfügung stehen. Die betrachteten energetischen Beiträge wurden basierend auf einer umfangreichen Literaturrecherche sowie durch Expert:innenwissen festgelegt und werden in dieser Studie anhand der in den folgenden Absätzen beschriebenen Gesichtspunkte analysiert.

2.2 Analyse der Barrieren

Aufbauend auf der Auswahl der betrachteten energetischen Beiträge erfolgt die Darstellung der technischen, ökonomischen und rechtlichen Barrieren. Die Ergebnisse leiten sich aus der Expertise des Auftragnehmers in Projekten, speziell zum Thema Energie aus Abwasser, einer Literaturrecherche sowie Expert:innenwissen ab. Diese Analyse ist rein qualitativ. Dabei werden technische Hürden, die bei der Implementierung von Energieeffizienztechnologien und der Nutzung nicht-fossiler Ressourcen zu beachten sind, sowie auch mögliche rechtliche Aspekte im derzeitigen Rechtsrahmen beleuchtet. Dies erlaubt eine möglichst ganzheitliche Beurteilung der Umsetzbarkeit solcher energierelevanten Maßnahmen.

2.3 Entwicklung von zwei Szenarien

In diesem Bericht wird das Energiepotenzial der betrachteten energetischen Beiträge für den Zeitraum bis 2027 erhoben. Dies geschieht im Rahmen von zwei Szenarien. Szenario 1

beschreibt dabei eine Entwicklung in einem weniger ambitionierten Umfeld (vor allem hinsichtlich des rechtlichen Rahmens und Förderungen). Szenario 2 steht für eine ambitionierte Entwicklung, welche auch die notwendigen Investitionssummen sicherstellt. Bei den energetischen Beiträgen handelt es sich zum einen Teil um Einsparungspotenziale und zum anderen Teil um Erzeugungspotenziale. Diese Potenziale betreffen dabei teils elektrische und teils thermische Energie. Einige weitere Aspekte im Bezug auf Energieverbrauch, Energieproduktion beziehungsweise Treibhausgasemissionen, die nicht unter den „betrachteten energetischen Beiträgen“ zu finden sind, werden am Ende dieses Berichts erwähnt, aber keiner Potenzialanalyse unterzogen. Bei der Analyse einiger energetischer Beiträge war eine sinnvolle Quantifizierung aufgrund der Datenlage oder einer unsicheren Prognostizierbarkeit nicht möglich.

2.4 Abschätzung der Investitionskosten

Eine Frage, die bei diesem Thema besonders zentral ist, ist jene nach den Investitionskosten. Dieser Bericht soll dabei helfen, den finanziellen Aufwand in der Siedlungswasserwirtschaft im Hinblick auf Energieoptimierung besser einschätzen zu können und dementsprechende Förderungen sicherzustellen, damit die Siedlungswasserwirtschaft diesen zukünftigen Aufgaben beziehungsweise Erwartungen auch entsprechen kann.

Derartige Kosten hängen natürlich stark vom Einzelfall ab und daher ist die Aufgabe, einen spezifischen (z. B. pro kW oder pro Stück) Durchschnittssatz zu ermitteln, mit Unsicherheiten behaftet. Eine Literaturrecherche lieferte die Ansätze für die benötigten spezifischen Kostenansätze. Sowohl die Investitionskosten als auch die Betriebskosten werden exklusive Umsatzsteuer (USt) berechnet.

2.5 Abschätzung der Betriebskosten

Diese Studie fasst die möglichen Einsparungen an Betriebskosten in der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft zusammen, die durch die Realisierung der definierten Einspar- und Erzeugungsoptionen zu erwarten sind. In dieser Studie werden dabei nur die Veränderungen der Energiekosten berücksichtigt. Anderweitige Änderungen von Betriebskosten (Personal et cetera), die durch energierelevante Investitionen in die Siedlungswasserwirtschaft auftreten, werden nicht betrachtet.

Die relevanten Energieformen im Rahmen dieses Berichtes sind Wärme (hier sind im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft Kläranlagen mit Klärschlammfäulung am bedeutendsten) und elektrischer Strom.

Durch energierelevante Maßnahmen in der Siedlungswasserwirtschaft, sowohl im Sinne gesteigerter Produktion als auch eines verringerten Verbrauchs, kann es bei Strom zu verringerten Bezügen aus dem Netz oder zu höheren Einspeisungen in selbiges kommen. Bei Wärme können Effizienzmaßnahmen zu geringerer Wärmenachfrage führen, womit etwa weniger Erdgas aus dem Netz bezogen werden muss. Die Erhöhung der Wärmeerzeugungsmenge ist ebenso möglich; die Nutzbarkeit von Überschusswärme ist jedoch oft limitiert.

Es gilt die spezifischen Strom- und Erdgaspreise sowohl für Netzbezug als auch für Netzeinspeisung zu definieren. Für die Bezugskosten werden die Strom- und Gaspreiserhebungen der Energie-Control Austria herangezogen.

Strombezug: Laut [E-Control, 2021a] beträgt der Strompreis im zweiten Halbjahr 2020 (das sind die letzten verfügbaren Daten) für Nicht-Haushaltskunden mit einem jährlichen Verbrauch zwischen 500.000 kWh und 2.000.000 kWh 14,21 Cent/kWh inklusive aller Steuern und Abgaben, somit 11,84 Cent/kWh ohne USt.

Wärmebezug (Annahme: Erzeugung mit Erdgas): Laut [E-Control, 2021b] beträgt der Erdgaspreis im zweiten Halbjahr 2020 (das sind die letzten verfügbaren Daten) für Nicht-Haushaltskunden mit einem jährlichen Verbrauch zwischen 400.000 kWh und 2.778.000 kWh 4,62 Cent/kWh inklusive aller Steuern und Abgaben, somit 3,85 Cent/kWh ohne USt.

Netzeinspeisung Strom: Laut [PV Austria, 2022] ist bei Einspeisung ins Stromnetz mit einer Vergütung von 7,00 Cent/kWh zu rechnen.

Netzeinspeisung Wärme: Für die Vergütung von Wärme-Einspeisung in Wärmenetze liegen keine repräsentativen Untersuchungen vor. In dieser Studie wird mit einem Schätzwert von 4,00 Cent/kWh gerechnet. Dieser hängt allerdings stark von den lokalen Gegebenheiten (vorhandene Wärmeerzeuger, Preisgestaltung des Anbieters, konkrete Verhandlungsergebnisse et cetera) ab.

2.6 Abschätzung Treibhausgasemissionen

Aus den Energieerzeugungs- und Energieeinsparpotenzialen ergeben sich reduzierte Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) in der Siedlungswasserwirtschaft, die in diesem Bericht ausgewiesen werden.

Wärme: Für die THG-Beurteilung von Wärme muss ein bestimmter alternativer Wärmeerzeugungsprozess unterstellt werden, der substituiert wird. Zum Teil wird auf Kläranlagen Wärmeenergie aus Klärgas gewonnen, zum Teil muss Erdgas oder ein anderer Energieträger zugekauft werden. Für auf der Kläranlage selbst genutzte Wärme wird angenommen, dass die eingesparte oder zusätzlich produzierte Wärme zu 50 % Klärgas und zu 50 % Erdgas substituiert, sonst (bei externer Versorgung) wird unterstellt, dass zu 100 % Erdgas substituiert wird. Der Jahresnutzungsgrad der Umwandlung von Erdgas in Wärme wird mit 80 % angesetzt. Für die Berechnung der THG-Emissionen werden die Werte der direkten Emissionen gemäß der aktuellen OIB6-Richtlinie aus 2019 [OIB, 2019] herangezogen. Demnach verursacht 1 kWh Erdgas (Endenergie) 247 g/kWh THG-Emissionen. Für den hier skizzierten Wärmeprozess ergeben sich somit auf Kläranlagen wärmebezogene Emissionen von $247 * 0,5 / 0,8 = 154$ g/kWh (50 % Erdgas und 80 % Nutzungsgrad) und für andere Einsatzzwecke $247 / 0,8 = 308$ g/kWh.

Strom: Nach [OIB, 2019] verursacht 1 kWh elektrischer Strom THG-Äquivalentemissionen in Höhe von 227 g/kWh.

Es ist zu berücksichtigen, dass gemäß Klimaschutzgesetz (KSG) einige der hier angeführten Energieeinsparungspotenziale nicht zum Sektor „Abfallwirtschaft“, zu dem auch die Siedlungswasserwirtschaft gehört, zugerechnet werden. So würde etwa die Reduktion von THG-Emissionen, die sich durch den Betrieb einer Photovoltaikanlage bei einer Kläranlage ergibt, dem KSG-Sektor „Energie und Industrie“ zugerechnet werden und somit ergäbe sich für die Abfallwirtschaft keine THG-Reduktion.

2.7 Abschätzung Arbeitsplatzeffekte

Für die inländische Wirtschaft ist die Frage nach der Schaffung von Arbeitsplätzen, die mit den hier analysierten Investitionen verbunden sind, von besonders wichtiger Bedeutung. Gemäß [BMK, 2020] ist pro Million Euro Nettoinvestitionskosten mit fünf Beschäftigten zu rechnen. Dieser Wert wird für die Analysen in diesem Bericht übernommen.

3 Betrachtete energetische Beiträge

Wie erwähnt, sind die Optionen zur Energiegewinnung und zur Energieeinsparung in der Siedlungswasserwirtschaft vielfältig. Bei der Quantifizierung dieser Potenziale konzentriert sich der Bericht auf die bedeutendsten Beiträge. Im Folgenden findet sich eine Auflistung der analysierten Energieeinspar- und Energieerzeugungspotenziale, getrennt nach Strom und Wärme beziehungsweise Klärgas als Option zur Strom- und Wärmeerzeugung.

- Betrachtete Energieeinsparpotenziale:
 - Strom:
 - Wasserversorgung: Pumpen
 - Kanalnetz: Pumpen
 - Kläranlage: Belüftung, Rührwerke, Pumpen
 - Wärme (nur auf Kläranlage relevant):
 - Thermische Faulturmdämmung
 - Reduzierung des Wassergehalts im Klärschlamm vor dem Faulturm
 - Dämmung der Betriebsgebäude sowie eingehauste Anlagen (qualitativ)

- Betrachtete Energieerzeugungspotenziale:
 - Klärgas zur
 - Einspeisung ins Erdgasnetz
 - Stromerzeugung
 - Wärmeerzeugung
 - Strom: Photovoltaik (PV) auf Flächen von und für
 - Wasserversorgungsanlagen (Behälter)
 - Pumpwerke
 - Kläranlagen
 - Wärme
 - Klärschlamm: Mitverbrennung
 - Thermische Nutzung des Abwassers (Kanal und Ablauf Kläranlage) mit Wärmepumpen
 - Thermische Nutzung des Wassers mit Wärmepumpen

Darüber hinaus werden einige andere Aspekte mit Energie- oder Treibhausgasbezug qualitativ untersucht. Diese werden in Kapitel 7 näher ausgeführt.

4 Ergebnisse – Energieeinsparpotenziale

Dieses Kapitel stellt die grundlegenden Annahmen und die Ergebnisse für die Energieeinsparpotenziale gemäß Kapitel 3 dar. Jedem energetischen Beitrag ist ein Abschnitt gewidmet. Die Unterabschnitte beschäftigen sich nacheinander mit den Aspekten Barrieren, Energiepotenzial, Investitionskosten, Betriebskosten, Treibhausgaspotenzial und Arbeitsplatzeffekte.

4.1 Pumpenstrom in der Wasserversorgung

Im Bereich der Wasserversorgung befinden sich, je nach Topographie, mehr oder weniger Pumpwerke. Diese stellen den weitaus größten Stromverbraucher innerhalb der Wasserversorgung dar [BOKU Wien, 2012]. Die Anzahl der Pumpen in der Wasserversorgung wird mit 3.500 abgeschätzt [TU Wien und BOKU Wien, 2012]. Der Begriff Wasserversorgung umfasst in diesem Bericht die Trink- und die Nutzwasserversorgung. Durch Austausch alter Pumpen gegen neuere, energieeffiziente Modelle kann ein Beitrag zur Reduktion des elektrischen Energieverbrauchs in der Siedlungswasserwirtschaft geleistet werden. Da Pumpen ohnehin eine beschränkte Lebensdauer haben, ist in vielen Fällen kein vorzeitiger Austausch notwendig, um bis 2027 einen Energiespareffekt zu erzielen. Wichtig ist jedoch, bei der Auswahl neuer Pumpen auf die Energieeffizienz zu achten.

4.1.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Der Austausch veralteter Pumpen durch neuere Produkte ist bei entsprechend passender Dimensionierung des neuen Pumpenmodells mit keinen nennenswerten technischen Barrieren verbunden.

Ökonomische Barrieren:

Da Pumpen eine beschränkte Lebensdauer haben, ist deren Tausch, speziell älterer, besonders ineffizienter Modelle, ohnehin notwendig. Mehrkosten für besonders

energieeffiziente Modelle sind meist verhältnismäßig gering. Inwieweit sich ein vorgezogener Tausch auszahlt, ist im Einzelfall zu beurteilen, aber im Normalfall für größere Pumpen wirtschaftlicher als für kleinere, da die Investitionskosten bei größeren Pumpen im Verhältnis zu den durch sie verursachten Energiekosten geringer sind (Economies of Scale).

Rechtliche Barrieren:

Keine

4.1.2 Energiepotenzial

Nach [ÖVGW, 2018] beträgt der derzeitige elektrische Energieverbrauch von Pumpen im Bereich der Wasserversorgung 177 GWh/a. Die Literaturanalyse zeigte hier durchaus unterschiedliche Annahmen zum elektrischen Energieeinsparpotenzial durch Austausch von Pumpen. Während in [BOKU Wien, 2012], ab Seite 53, basierend auf einer Auswahl verschiedener untersuchter Pumpen, von circa 27 % beziehungsweise 47 GWh/a Einsparpotenzial bei Pumpen ausgegangen wird, sind in [Neunteufel et alii, 2012], ab Seite 30 wesentlich geringere Werte genannt: Pumpen mit Wirkungsgrad unter 40 % (Unterwasserpumpen) beziehungsweise 45 % (trocken aufgestellte Pumpen) können laut konservativer Annahme 40 % beziehungsweise 45 % Wirkungsgrad erreichen; ambitionierte Annahme: 50 % Wirkungsgrad. Daraus wird eine Einsparung von 4 % bis 12 % beziehungsweise 7,5 GWh/a bis 20 GWh/a errechnet. Dies gilt jeweils für den Fall, dass alle Pumpen, die noch keinen ausreichenden Energieeffizienzstandard aufweisen, auf energieeffiziente Modelle umgestellt werden. Es ist also für die Erreichung des Potenzials nicht notwendig, dass alle Pumpen ausgetauscht werden.

Das Stromeinsparpotenzial kann dementsprechend nur als Bandbreite angegeben werden, welche die Unterschiede zwischen den angeführten Quellen widerspiegelt.

Szenario 1: Aufgrund der ohnehin niedrigen Lebensdauer und geringen Investitionskosten scheint eine Realisierung von 25 % des ausgewiesenen Gesamtpotenzials (das heißt bei Austausch aller Pumpen) im weniger ambitionierten Szenario 1 realistisch.

Szenario 2: Im ambitionierteren Szenario 2 wird eine 50%ige Umsetzung des Potenzials angenommen.

Da die Literaturangaben hier in einem weiten Bereich variieren, kann das Gesamtpotenzial (das heißt bei Austausch aller Pumpen) nur als Bandbreite von 7,5 GWh/a bis 47 GWh/a angegeben werden. Dementsprechend erhält man folgende Resultate:

Szenario 1: Die Energieeinsparung bewegt sich in einer Bandbreite von 2 GWh/a bis 12 GWh/a.

Szenario 2: Die Energieeinsparung bewegt sich in einer Bandbreite von 4 GWh/a bis 24 GWh/a.

4.1.3 Investitionskosten

In der Wasserversorgung ist mit einer Anzahl von 3.500 Pumpen im Bestand zu rechnen [TU Wien und BOKU Wien, 2012], Seite 11. Laut [TU Wien und BOKU Wien, 2012], Seite 30 ist der Austausch einer Pumpenanlage mit Kosten von Euro 65.000 netto verbunden. Gemäß [Neunteufel et alii, 2012] wird angenommen, dass 55 % der Pumpen bereits einen so hohen Effizienzstandard aufweisen, dass kein Austausch notwendig ist.

Basierend auf diesen Annahmen ergeben sich die Investitionskosten wie folgt:

Szenario 1: 26 Millionen Euro

Szenario 2: 51 Millionen Euro

4.1.4 Betriebskosten

Ausgehend von den in Abschnitt 2.5 definierten spezifischen Kosten ergeben sich die jährlichen Energiekostenreduktionen wie folgt:

Szenario 1: 0,2 Millionen bis 1,4 Millionen Euro

Szenario 2: 0,5 Millionen bis 2,8 Millionen Euro

4.1.5 Treibhausgasbilanz

Ausgehend von den in Abschnitt 2.6 definierten Treibhausgasfaktoren ergibt sich das jährliche Treibhausgas-Emissionsreduktions-Potenzial in CO₂-Äquivalenten wie folgt:

Szenario 1: 454 bis 2.724 Tonnen pro Jahr

Szenario 2: 908 bis 5.448 Tonnen pro Jahr.

4.1.6 Arbeitsplatzeffekte

Gemessen in Jahres-Vollzeitäquivalenten und basierend auf dem in Abschnitt 2.7 gegebenen Ansatz ergeben sich die Arbeitsplatzeffekte wie folgt:

Szenario 1: 128

Szenario 2: 256.

4.2 Pumpenstrom im Kanalnetz

Je nach Topographie befinden sich im Kanalnetz mehr oder weniger Pumpwerke. Diese stellen den weitaus größten Stromverbraucher im Kanalnetz dar [BOKU Wien, 2012]. Die Anzahl der Pumpen im Kanalnetz wird mit 18.100 abgeschätzt [TU Wien und BOKU Wien, 2012]. Durch Austausch alter Pumpen gegen neuere, energieeffiziente Modelle kann ein Beitrag zur Reduktion des elektrischen Energieverbrauchs in der Siedlungswasserwirtschaft geleistet werden. Da Pumpen ohnehin eine beschränkte Lebensdauer haben, ist in vielen Fällen kein vorzeitiger Austausch notwendig, um bis 2027 einen Energiespareffekt zu erzielen. Wichtig ist jedoch, bei der Auswahl neuer Pumpen auf die Energieeffizienz zu achten.

4.2.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Der Austausch veralteter Pumpen durch neuere Produkte ist bei entsprechend passender Dimensionierung des neuen Pumpenmodells mit keinen nennenswerten technischen Barrieren verbunden.

Ökonomische Barrieren:

Da Pumpen eine beschränkte Lebensdauer haben, ist deren Tausch, speziell bei älteren, besonders ineffizienten Modellen, ohnehin notwendig. Mehrkosten für besonders energieeffiziente Modelle sind meist verhältnismäßig gering. Inwieweit sich ein vorgezogener Tausch auszahlt, ist im Einzelfall zu beurteilen. Im Normalfall ist das für größere Pumpen wirtschaftlicher als für kleinere, da die Investitionskosten bei größeren Pumpen im Verhältnis zu den durch sie verursachten Energiekosten geringer sind.

Rechtliche Barrieren:

Keine

4.2.2 Energiepotenzial

In [Aqua & Gas, 2014] wird ein derzeitiger elektrischer Energieverbrauch für Pumpen im Kanalnetz von 50 GWh/a für die Schweiz berechnet und durch Erhöhung der Effizienz jener Pumpen, die noch keinen ausreichenden Energieeffizienzstandard aufweisen, ein Energiesparpotenzial von 40 % angegeben, somit 20 GWh/a.

In der Schweiz werden jährlich insgesamt knapp 1,7 Milliarden m³ Abwasser in Kläranlagen behandelt [Maurer et alii, 2012]. Mangels genauerer Daten wird für Österreich eine ähnliche Größenordnung angenommen. Für das Einsparpotenzial für Pumpen im Kanal ergeben sich damit, wenn man eine ähnliche Topographie unterstellt, gleiche Voraussetzungen. Analog zur Schweiz ist daher ein Gesamtpotenzial von 20 GWh/a an elektrischer Energie bei der derzeitigen Abwassermenge auch für Österreich zu erwarten.

Für die Berechnung der Abwassermenge im Jahr 2027, die maßgeblich vom zukünftig weiter sinkenden Wasserverbrauch pro Einwohner sowie vom Bevölkerungswachstum getrieben wird, wird die Entwicklung der vergangenen Jahre analysiert. Die Gesamtbelastung kommunaler Kläranlagen stieg in den vergangenen Jahren von 14,25 Millionen EW [BMLFUW, 2014], Seite 19 im Jahr 2012 über 14,81 Millionen EW im Jahr 2016 [BMNT, 2018], Seite 17 auf 15,03 Millionen EW im Jahr 2018 [BMLRT, 2020], Seite 20. Demnach ist eine stabil leicht steigende Tendenz zu beobachten, die auch für die Zukunft angenommen wird (circa 1 % pro Jahr). Aus dieser Analyse zeigt sich aber, dass im Rahmen der Genauigkeit, die hier zu erreichen ist, die Veränderungen der Abwassermenge bis 2027 keine wesentlichen Veränderungen bringen werden.

In Anlehnung an [Neunteufel et alii, 2012] wird angenommen, dass 55 % der Pumpen bereits einen so hohen Effizienzstandard aufweisen, dass kein Austausch notwendig ist. Das bedeutet, dass durch den Tausch von 45 % der Pumpen das gesamte ausgewiesene Einsparpotenzial zu erreichen ist.

Szenario 1: Aufgrund der ohnehin niedrigen Lebensdauer scheint eine Realisierung von 25 % des Gesamtpotenzials im weniger ambitionierten Szenario 1 realistisch.

Szenario 2: Im ambitionierteren Szenario 2 wird eine 50-%ige Umsetzung des Potenzials angenommen.

Dementsprechend ergeben sich folgende elektrische Energieeinsparpotenziale:

Szenario 1: 5 GWh/a

Szenario 2: 10 GWh/a

4.2.3 Investitionskosten

In der Abwasserinfrastruktur ist mit einer Anzahl von 18.100 Pumpen zu rechnen [TU Wien und BOKU Wien, 2012], Seite 33. Laut [TU Wien und BOKU Wien, 2012], Seite 58 ist der Austausch einer Pumpenanlage mit Kosten von Euro 10.000.- netto verbunden.

Basierend auf diesen Annahmen ergeben sich die Investitionskosten wie folgt:

Szenario 1: 20 Millionen Euro

Szenario 2: 41 Millionen Euro

4.2.4 Betriebskosten

Ausgehend von den in Abschnitt 2.5 definierten spezifischen Kosten ergeben sich die jährlichen Energiekostenreduktionen wie folgt:

Szenario 1: 0,6 Millionen pro Jahr

Szenario 2: 1,2 Millionen pro Jahr

4.2.5 Treibhausgasbilanz

Ausgehend von den in Abschnitt 2.6 definierten Treibhausgasfaktoren ergibt sich das jährliche Treibhausgas-Emissionsreduktions-Potenzial wie folgt:

Szenario 1: 1.135 Tonnen pro Jahr

Szenario 2: 2.270 Tonnen pro Jahr

4.2.6 Arbeitsplatzeffekte

Die Arbeitsplatzeffekte, gemessen in Jahres-Vollzeitäquivalenten, ergeben sich basierend auf dem in Abschnitt 2.7 gegebenen Ansatz wie folgt:

Szenario 1: 102

Szenario 2: 204

4.3 Strom für Belüftung, Rührwerke, Pumpen auf der Kläranlage

Kläranlagen benötigen EU-weit etwa 0,8 % des gesamten verbrauchten Stromes [Kretschmer et alii, 2021] und zählen damit zu den größten kommunalen Stromverbrauchern überhaupt. Daher ist die Analyse von elektrischen Energieeinsparpotenzialen auf Kläranlagen von hoher Bedeutung. Gleichzeitig ist eine Kläranlage, z. B. im Vergleich zu Pumpen im Wasser- oder Kanalnetz (siehe vorige Abschnitte), ein hochkomplexes System mit einer Vielzahl von Stromverbrauchern. Die Erfassung von Einsparpotenzialen ist damit wesentlich aufwändiger. Eine Veränderung von Energie- und Stoffströmen kann überdies zu einer Beeinträchtigung der biologischen Reinigungsprozesse und damit zur Reduktion der Reinigungsleistung führen. Dementsprechend sind Veränderungen in diesem System, sei es zur Energieverbrauchsreduktion oder zur Erreichung anderer Ziele, im Einzelfall anhand der lokalen Gegebenheiten und nur unter hoher Fachkenntnis beurteilbar. Auf Österreich-Ebene kann eine solche Betrachtung daher nur aufgrund statistischer Erfahrungs- und Vergleichswerte durchgeführt werden. Aussagen für den Einzelfall lassen sich daraus keinesfalls ableiten. In Österreich werden Energieverbräuche und Erzeugungsmengen auf Kläranlagen sowie daraus abgeleitete Einsparpotenziale seit Langem erhoben. Regelmäßig

werden dazu Benchmarkingberichte veröffentlicht (siehe z. B. [Lindtner, 2019], [Lindtner und Hnatek, 2019] und [Lindtner und Vohryzka, 2015]).

4.3.1 Barrieren

Da die Stromverbraucher auf einer Kläranlage sehr vielfältig sind und damit die Maßnahmenpalette zur Energieeinsparung sehr breit ist, werden zur Darstellung der Barrieren die wichtigsten Verbraucher herausgegriffen und analysiert.

4.3.1.1 Belüftung: Regulierung der Luftmenge und der Betriebszeiten

Die Belüftung der Belebungsbecken stellt sicher, dass durch die biologischen Abbauprozesse durch Mikroorganismen die Abwasserreinigung ordnungsgemäß und innerhalb der vorgeschriebenen Reinigungswerte abläuft. Der Luftsauerstoff muss dazu künstlich, z. B. mittels Druckluft, ins Abwasser eingebracht werden. Der Bedarf steigt und sinkt je nach organischer Belastung des Abwassers. Daher kann eine bedarfsgerechte Regulierung der eingebrachten Luftmengen zu elektrischen Energieeinsparungen führen, ohne die Reinigungsleistung der Kläranlage zu beeinträchtigen.

Technische Barrieren:

Wird die Belüftung zu stark reduziert, macht sich dies mit einer schlechteren Reinigungsleistung beziehungsweise mit notwendigem höherem Schlammalter bemerkbar, was die Kapazität der Becken übersteigen kann. Solange dies nicht gegeben ist, können speziell in Schwachlastzeiten Sauerstoffmengen eingespart werden. Eine automatische Regelung stellt eine machbare Investition dar. Eventuell ist auch im Bereich der (gewerblichen und industriellen) Großeinleiter Handlungsbedarf hinsichtlich der Abwasserbeschaffenheit (eventuell notwendige Vorreinigung) gegeben, was dann den Reinigungs- und damit Energieaufwand in der kommunalen Kläranlage reduziert.

Ökonomische Barrieren:

Diese Maßnahme stellt je nach Art der bestehenden Regelung eine kleine bis mittelgroße Investition dar. Da aber die Belüftung ein großer Stromverbraucher ist, kann sich diese Maßnahme rasch rentieren.

Rechtliche Barrieren:

Es muss sichergestellt sein, dass die konsensgemäßen Ablaufwerte weiter eingehalten werden.

4.3.1.2 Belüftung: Austausch des Kompressors

Nicht nur die Betriebszeiten des Kompressors, der den Luftsauerstoff in die Belebungsbecken einbringt, können optimierungsbedürftig sein, sondern auch die Effizienz des Kompressors selbst.

Technische Barrieren:

Wenn ein effizienterer Kompressor mit passender Leistung und Ausmaßen am Markt verfügbar ist, sind hier keine technischen Barrieren gegeben.

Ökonomische Barrieren:

Dies stellt eine mittlere bis größere Investition dar und kann damit in Einzelfällen ökonomisch herausfordernd sein. Da aber der Kompressor für die Belüftung der Belebungsbecken meist der größte Stromverbraucher einer Kläranlage ist, kann sich diese Maßnahme rasch rentieren.

Rechtliche Barrieren:

Es muss sichergestellt sein, dass die konsensgemäßen Ablaufwerte weiter eingehalten werden, was bei entsprechender Auswahl des Produktes sichergestellt ist.

4.3.1.3 Rührwerke: Regulierung der Betriebszeiten

Rührwerke dienen zur verbesserten Durchmischung des Abwassers in der mechanisch-biologischen Abwasserreinigung. Ebenso wie beim Eintrag des Luftsauerstoffs ist der Bedarf an Durchmischung von der Zulaufmenge und der organischen Belastung abhängig. Eine bedarfsgesteuerte Regulierung des Rührwerks kann damit zu elektrischen Energieeinsparungen führen.

Technische Barrieren:

Ist im Wesentlichen analog zu „1. Belüftung: Regulierung der Luftmenge und der Betriebszeiten“ zu beurteilen.

Ökonomische Barrieren:

Diese Maßnahme stellt je nach Art der bestehenden Regelung eine kleine bis mittelgroße Investition dar.

Rechtliche Barrieren:

Es muss sichergestellt sein, dass die konsensgemäßen Ablaufwerte weiter eingehalten werden.

4.3.1.4 Austausch von Pumpen

Die Anzahl von Pumpen in Kläranlagen ist hoch und ihre Einsatzzwecke vielfältig. So können je nach Höhenlagen im Zulauf und im Ablauf der Kläranlagen Pumpwerke vorhanden sein. Weiters existieren im Bereich des Klärschlammes z. B. Rücklaufschlammumpen und Pumpen zum Eintrag des Schlammes in den Faulurm.

Technische Barrieren:

Der Austausch von veralteten Pumpen durch neuere Produkte ist bei entsprechend passender Dimensionierung des neuen Pumpenmodells mit keinen nennenswerten technischen Barrieren verbunden.

Ökonomische Barrieren:

Da Pumpen eine beschränkte Lebensdauer haben, ist deren Tausch, speziell bei älteren, besonders ineffizienten Modellen, ohnehin notwendig. Mehrkosten für besonders energieeffiziente Modelle sind meist verhältnismäßig gering. Inwieweit sich ein vorgezogener Tausch auszahlt, ist im Einzelfall zu beurteilen, aber im Normalfall für größere Pumpen wirtschaftlicher als für kleinere, da die Investitionskosten bei größeren Pumpen im Verhältnis zu den durch sie verursachten Energiekosten geringer sind.

Rechtliche Barrieren:

keine

4.3.1.5 Verringerung der notwendigen Pumpleistung

Technische Barrieren:

Die Menge des Abwassers kann nicht direkt durch Maßnahmen auf der Kläranlage reduziert werden, jedoch lassen sich Fremdwassereinträge durch Maßnahmen im Kanalnetz reduzieren. Die notwendige Pumpleistung ergibt sich aus den gepumpten Mengen (Abwasser und Schlamm) und der zu überwindenden Höhe. Die Veränderung der Höhenlagen (z. B. zwischen Nachklärung und Vorfluter oder ankommendem Kanalstrang und Vorklärung) ist technisch meist höchst aufwändig. Die Reduzierung der Menge des zu pumpenden Klärschlammes vor dem Faulurm wird in Abschnitt 4.5 behandelt.

Ökonomische Barrieren:

Eine Veränderung der Höhenlagen ist meist mit sehr großen Investitionen verbunden und daher nur bei ohnehin notwendigen größeren Umbauten rentabel. Fremdwassereinträge im Kanalnetz können unterschiedliche Ursachen haben. Die Mengenreduzierung des Abwassers durch Reduzierung dieser Fremdwassereinträge können dementsprechend auch sehr unterschiedliche Kosten verursachen.

Rechtliche Barrieren:

Keine

4.3.2 Energiepotenzial

Besondere Beachtung sollte diesem Energieeinsparpotenzial gewidmet werden, denn circa 20 % des elektrischen Energieverbrauchs der österreichischen Gemeinden werden für Kläranlagen benötigt.

Aus [Lindtner, 2019] geht hervor, welche Median- und Minimalwerte des elektrischen Energieverbrauchs für eine größere Anzahl von Kläranlagen in Österreich gemessen wurden. Es existieren jedoch unterschiedliche Voraussetzungen (Höhenlagen, Abwasserzusammensetzungen), die nicht überall einen gleich niedrigen Energieverbrauch erlauben. Daher ist eine Erreichung des Minimalwertes auf allen Kläranlagen schon deswegen nicht möglich. Auch die Vielzahl an Einsparmöglichkeiten zeigt die Komplexität dieses Themas.

Laut [Lindtner und Hnatek, 2019] lag der durchschnittliche Stromverbrauch österreichischer Kläranlagen 2019 bei 26,8 kWh pro Einwohner und Jahr (EW.a), (2018: 27,0; 2017: 29,5). Im Unterschied dazu lag der Medianwert bei 43,6 kWh/(EW.a), was für einen niedrigeren spezifischen Stromverbrauch größerer Kläranlagen spricht.

In [Kretschmer et alii, 2021], Seite 112 wird das Einsparpotenzial an elektrischer Energie österreichischer Kläranlagen nach Berechnungen von Lindtner dargestellt. Wenn alle Kläranlagen, die bisher über dem Medianstromverbrauch liegen, diesen zukünftig erreichen, können 42 GWh/a eingespart werden. Zusätzlich wurden in [Kretschmer et alii, 2021] in Abhängigkeit der Ausbaugröße der Kläranlagen Zielwerte des elektrischen Energieverbrauchs definiert: 50 kWh/(EW.a) bis 5.000 EW, 40 kWh/(EW.a) bis 50.000 EW, 30 kWh/(EW.a) ab 50.000 EW ohne Faulung und 20 kWh/(EW.a) für Anlagen über 50.000 EW mit Faulung. Werden diese Zielwerte als Basis herangezogen, so erhöht sich

das Einsparpotenzial um 28 GWh/a auf 70 GWh/a. In [Lindtner und Vohryzka, 2015] wird sogar von einem Einsparpotenzial von bis zu 100 GWh/a ausgegangen. Um auf der sicheren Seite zu sein und auch aufgrund der detaillierteren Darstellung in [Kretschmer et alii, 2021], wird hier diese Quelle als Basis genommen.

Szenario 1: Der Medianwert wird von 50 % der Kläranlagen, die derzeit einen überdurchschnittlichen Verbrauch haben, erreicht. Die anderen 50 % bleiben gleich.

Szenario 2: Die eine Hälfte der Anlagen, die bereits unter dem Median liegen, erreichen den oben angeführten Zielwert, die andere Hälfte der Anlagen, die ebenfalls bereits unter dem Medianwert liegt, bleibt gleich. Die Anlagen, die über dem Median erreichen, verbessern sich auf ebendiesen Medianwert.

Demnach ist mit folgender Einsparung elektrischer Energie zu rechnen:

Szenario 1: 21 GWh/a

Szenario 2: 56 GWh/a

(Anmerkung: In Szenario 2 wird zum einen die gesamte Einsparung von 42 GWh/a durch Erreichen des Medianwertes realisiert und weiters noch die Hälfte der darüberhinausgehenden möglichen Einsparung in der Gesamthöhe von 28 GWh/a, somit 42 GWh/a plus 14 GWh/a sind 56 GWh/a.)

4.3.3 Investitionskosten

Einsparungsmaßnahmen, die in diese Gruppe fallen, sind vielfältig und die Umsetzbarkeit sowie Sinnhaftigkeit einzelner Maßnahmen muss auf Kläranlagenebene analysiert werden. Die dafür notwendigen Kosten können individuell stark voneinander abweichen. Daher können hier keine Kostenabschätzungen erfolgen. Sinnvoll erscheint es hier jedenfalls auf die einzelnen größeren Kläranlagen in Österreich zu fokussieren.

4.3.4 Betriebskosten

Ausgehend von den in Abschnitt 2.5 definierten spezifischen Kosten ergeben sich die jährlichen Energiekostenreduktionen wie folgt:

Szenario 1: 2,5 Millionen Euro pro Jahr

Szenario 2: 6,6 Millionen Euro pro Jahr

4.3.5 Treibhausgasbilanz

Ausgehend von den in Abschnitt 2.6 definierten Treibhausgasfaktoren ergibt sich das jährliche Treibhausgas-Emissionsreduktions-Potenzial wie folgt:

Szenario 1: 4.767 Tonnen/Jahr

Szenario 2: 12.712 Tonnen/Jahr

4.3.6 Arbeitsplatzeffekte

Die Arbeitsplatzeffekte können, da keine Investitionskosten ermittelt werden konnten, nicht abgeschätzt werden.

4.4 Faulturmdämmung

In Faultürmen herrschen meist Temperaturen um 38 °C und mehr. Dementsprechend ist hier bei mangelnder Dämmung, speziell im Winter, mit hohen Wärmeverlusten zu rechnen. Auf vielen Kläranlagen besteht ein Wärmeüberschuss, auch im Winter. Wenn zusätzlich keine Möglichkeit der externen Wärmenutzung (Anschluss von Gebäuden im Umfeld der Kläranlage über ein Wärmenetz) gegeben ist, ist dieser Wärmeverlust auch nicht weiter relevant. Muss aber ein Energieträger wie Biomasse, Heizöl oder Erdgas zugekauft werden oder besteht die Möglichkeit einer externen Nutzung der Wärmeüberschüsse auf der Kläranlage, so ist die Dämmung des Faulturms meist die Option mit dem höchsten Potenzial zur Reduktion des Wärmeverbrauchs auf der Kläranlage.

4.4.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Die Hülle des Faulturms mit der mangelhaften Dämmung muss normalerweise entfernt werden. Eventuell ist zwischen der inneren Hülle (z. B. Beton) und der äußeren Hülle (z. B. Plattenbelag) nicht genug Platz vorhanden. Dadurch muss die Außenkonstruktion eventuell umgestaltet werden.

Ökonomische Barrieren:

Die Dämmung ist mit erheblichen Investitionskosten verbunden. Je nach Zustand der Dämmung und vorhandenen Wärmemengen auf der Kläranlage (unter Einbeziehung etwaiger externer Nutzungsmöglichkeiten) kann sich die Investition mehr oder weniger rentieren. Die Berechnung kann im Einzelfall sehr unterschiedliche Ergebnisse liefern und hängt vom momentanen Dämmstandard, der Faulschlammmenge, der Temperaturdifferenz zwischen Abwasser und Faulturm, dem Abwärmefall und der Möglichkeit der externen Wärmenutzung ab.

Rechtliche Barrieren:

keine

4.4.2 Energiepotenzial

Es existieren 164 Kläranlagen mit Faulung in Österreich, eine grobe Schätzung ergibt circa 300 Faultürme. Eine mittlere Temperaturdifferenz von 30 °C zwischen Außenluft und Klärschlamm-Solltemperatur kann angenommen werden. Mittlere Abmessungen von Faultürmen werden gemäß [REEF2W, 2017 bis 2020] wie folgt angesetzt: Höhe: 20 m, Durchmesser: 20 m, zylinderförmig. Damit ergibt sich eine Oberfläche von 1.570 m². Bei einigen aktuell umgesetzten Projekten wurden die Faultürme mit 16 cm Mineralwolle gedämmt; dabei beträgt der U-Wert etwa 0,22 W/m²K. Von den 1980er-Jahren bis in die 2000er-Jahre wurden Dämmwerte von (ursprünglich) 0,34 W/m²K bis 0,5 W/m²K erreicht. Mit der Zeit sackt die Tüllwolle allerdings zusammen, weshalb die tatsächlichen Werte nun eher bei 0,5 W/m²K liegen werden. Wichtig ist auch das Dach mitzudämmen, wo ein großer Teil der Wärme entweicht.

Es wird angenommen, dass derzeit die Hälfte der Faultürme einen U-Wert von 0,5 W/m²K aufweist. Bei 25 % sind es 0,34 W/m²K und bei weiteren 25 % sind es 0,22 W/m²K. Für alle Faultürme wird ein Zielwert für den U-Wert von 0,22 W/m²K angesetzt.

Im Sommer gibt es viel Überschusswärme auf Kläranlagen. Diese ist nur dann sinnvoll einsetzbar, wenn externe Nutzer vorhanden sind. Da deren Anschluss in der Mehrzahl der Fälle bis 2027 nicht realistisch ist, wird bei der Potenzialberechnung ein Abschlag von einem Drittel als Anteil nicht nutzbarer Überschusswärme angesetzt.

Szenario 1: 25 % der derzeit nicht optimal gedämmten Faultürme werden auf einen U-Wert von $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ gedämmt.

Szenario 2: 50 % der derzeit nicht optimal gedämmten Faultürme werden auf einen U-Wert von $0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$ gedämmt.

Bei einer gemäß den obigen Annahmen vollständigen Umsetzung des optimalen Dämmstandards ergeben sich 14 GWh/a an thermischem Einsparpotenzial. Damit ergeben sich für die beiden Szenarien folgende Werte:

Szenario 1: 4 GWh pro Jahr

Szenario 2: 7 GWh pro Jahr

Die Wärmeeinsparung kommt zu 100 % auf den Kläranlagen direkt zu tragen.

4.4.3 Investitionskosten

Bei der Dämmung von Gebäuden ist mit Kosten von etwa 100 Euro netto pro m^2 Außenfläche zu rechnen. Da Faultürme aber in vielen Fällen eine aufwändiger zu entfernende Verkleidung aufweisen, wird hier ein Zuschlag von 50 % angesetzt; somit Euro 150 netto pro m^2 .

Basierend auf diesen Annahmen ergeben sich die Investitionskosten wie folgt:

Szenario 1: 18 Millionen Euro

Szenario 2: 35 Millionen Euro

4.4.4 Betriebskosten

Ausgehend von den in Abschnitt 2.5 definierten spezifischen Kosten ergeben sich die jährlichen Energiekostenreduktionen wie folgt:

Szenario 1: 0,2 Millionen Euro pro Jahr

Szenario 2: 0,4 Millionen Euro pro Jahr

4.4.5 Treibhausgasbilanz

Ausgehend von den in Abschnitt 2.6 definierten Treibhausgasfaktoren ergibt sich das jährliche Treibhausgas-Emissionsreduktions-Potenzial wie folgt:

Szenario 1: 540 Tonnen pro Jahr

Szenario 2: 1.081 Tonnen pro Jahr

4.4.6 Arbeitsplatzeffekte

Die Arbeitsplatzeffekte, gemessen in Vollzeitäquivalenten pro Jahr, ergeben sich basierend auf dem in Abschnitt 2.7 gegebenen Ansatz wie folgt:

Szenario 1: 88

Szenario 2: 177

4.5 Reduzierung des Klärschlamm-Wassergehalts vor dem Faulturm

Ein Großteil des in den Faulturm eingebrachten Faulschlammes ist Wasser. Der Trockensubstanzgehalt (TS-Gehalt) beträgt nur wenige Prozent, meist 3 % bis 5 %. Reduziert man den Wassergehalt um die Hälfte, erhöht sich dadurch der TS-Gehalt von beispielsweise 4 % auf circa 8 %. Weil das Wasser im Faulturm miterwärmt werden muss, reduziert diese Maßnahme den thermischen Energieverbrauch um etwa 50 %. Der elektrische Energieaufwand für die Pumpen wird dadurch ebenfalls um etwa 50 % reduziert.

Zur Realisierung dieser Einsparpotenziale ist allerdings eine grundlegende Umstellung der Technik notwendig. Diese Technik wurde etwa bei der Wiener Hauptkläranlage (Projekt eos) umgesetzt. Die folgenden Informationen dazu stammen von der Technischen Universität Wien (Prof. Svardal).

4.5.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Die Reduzierung des Wassergehalts und damit die deutlich höhere Voreindickung des Rohschlammes setzt eine veränderte Behandlung des Klärschlammes voraus. Grundsätzlich ist dieses Verfahren bei jeder Schlammfauanlage möglich, allerdings sind einige zusätzliche Voraussetzungen notwendig, die vor allem mit der wesentlich höheren Viskosität des eingedickten Schlammes zusammenhängen (kurze Leitungen, Einmischung des Rohschlammes in den Faulschlamm). Weiters sind eventuell auch Pumpen und Rohrquerschnitte anzupassen. Wieweit eine konkrete bestehende Anlage diese Voraussetzungen erfüllt, ist im Einzelfall zu prüfen.

Ökonomische Barrieren:

Diese Maßnahme stellt bei Bestandsanlagen einen grundlegenden Umbau dar und erfordert dementsprechend eine große Investition. Dies ist daher vor allem bei Neubauten oder grundlegenden Umbauten eine Option.

Rechtliche Barrieren:

Keine. Negative Auswirkungen auf die Reinigungsleistung der Kläranlage sind nicht zu erwarten.

4.5.2 Energiepotenzial

Wie bereits ausgeführt, ist bei diesem Punkt keine Quantifizierung möglich, da die notwendigen Voraussetzungen und deren Umsetzbarkeit auf den österreichischen Kläranlagen nicht oder nicht genügend bekannt sind. Daher wird in diesem Bericht kein Energiepotenzial ausgewiesen. Folglich können auch keine Investitionskosten, Betriebskosten, Treibhausgasbilanzen und Arbeitplatzeffekte angegeben werden.

Zukünftige Forschungsarbeiten sollten sich mit der Realisierbarkeit dieser Option hinsichtlich aller in diesem Bericht genannten Aspekte speziell für die Anwendung auf größeren Kläranlagen in Österreich mit anaerober Schlammstabilisierung beschäftigen.

4.6 Dämmung von Betriebsgebäuden und eingehauste Anlagen

Im Vergleich zum thermischen Energieaufwand im Faulurm ist der thermische Energieverbrauch der Betriebsgebäude meist untergeordnet. Bei Anlagen ohne Faulung stellt er jedoch meist den einzigen nennenswerten thermischen Energieverbraucher dar. Die Dämmung von Betriebsgebäuden ist grundsätzlich nicht anders als die thermische Sanierung etwa von Wohngebäuden zu beurteilen.

Eingehauste Kläranlagen sind vor allem im Gebirge, wo besonders im Winter die ordnungsgemäße Funktion des Klärprozesses sonst nicht sichergestellt werden kann, eine verbreitete Methode zur Beibehaltung des Abwassertemperaturniveaus. Aber auch Geruchsbelästigung kann ein Grund für eine Einhausung sein.

4.6.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Gebäudedämmung ist in den meisten Fällen eine standardmäßig durchgeführte, mit keinen nennenswerten technischen Hürden verbundene Investition. Für Einhausungen existieren technische Konzepte auch für größere Kläranlagen.

Ökonomische Barrieren:

Gebäudedämmung ist grundsätzlich eine größere Investition. Speziell bei großen Fensterflächen sind Fenster meist auch auszutauschen und dadurch steigen die Investitionskosten an. Ebenso ist die Einhausung einer Kläranlage aufgrund der Dimensionen kostenintensiv. Eine Einhausung ohne Notwendigkeit z. B. im Hinblick auf die Sicherstellung der Reinigungsleistung oder die Vermeidung von Geruchsemissionen ist nicht Stand der Technik und bringt keine relevanten Vorteile, die für diese Investition sprechen würden.

Rechtliche Barrieren:

Gebäudedämmung an nicht denkmalgeschützten Gebäuden ist mit keinen rechtlichen Hürden verbunden, die Einhausung ebenso nicht.

Wie bereits ausgeführt, findet zu diesem Punkt aufgrund mangelnder Datenlage und eines vergleichsweise geringen Energieeinsparpotenzials keine Quantifizierung statt. Daher können auch keine Investitionskosten, Betriebskosten, Treibhausgasbilanzen und Arbeitsplatzeffekte angegeben werden.

5 Ergebnisse – Energieerzeugungspotenziale

Dieses Kapitel stellt die grundlegenden Annahmen und die Ergebnisse für die Energieerzeugungspotenziale gemäß Kapitel 3 dar. Jedem energetischen Beitrag ist ein Abschnitt gewidmet. Die Unterabschnitte beschäftigen sich nacheinander mit den Aspekten Barrieren, Energiepotenzial, Investitionskosten, Betriebskosten, Treibhausgaspotenzial und Arbeitsplatzeffekte.

5.1 Klärgas zur Einspeisung ins Erdgasnetz

Klärgas, wie es im Faulturm entsteht, enthält meist etwa 60 % Methan (CH_4), der Hauptbestandteil von Erdgas. Der größte Teil der übrigen etwa 40 % ist CO_2 . Daneben enthält das Klärgas eine Vielzahl weiterer gasförmiger Verbindungen, unter anderem schwefelhaltige Stoffe. Um das Klärgas ins Gasnetz einspeisen zu können, ist eine entsprechende Vorreinigung notwendig.

5.1.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Anlagen zur Reinigung des Klärgases auf Erdgasqualität sind Einzelanfertigungen. Diese sind grundsätzlich verfügbar und – wie z. B. die Anlage in Wr. Neustadt zeigt – arbeiten diese bei entsprechend fundierter Planung und Ausführung sowie Wartung auch zuverlässig. Die größte Herausforderung dabei ist einerseits den Mindestgehalt an Methan (CH_4) sicherzustellen und andererseits Konzentrationen von Begleitstoffen wie Kohlenwasserstoffen und Schwefelverbindungen ausreichend zu reduzieren.

Ökonomische Barrieren:

Die Reinigung des Klärgases auf Erdgasqualität erfordert eine aufwändige Anlagenkonstruktion. Dies stellt eine sehr große Investition dar, die sich nur auf größeren Kläranlagen rentiert. Contracting-Lösungen sind hier jedoch möglich. In [Abwasserenergie, 2013 bis 2016] hat sich jedoch gezeigt, dass die Investitions- und Betriebskosten einer solchen Aufbereitungsanlage für mittelgroße Kläranlagen typischerweise so hoch sind,

sodass die energetische Nutzung als Strom oder Wärme vor Ort meist ökonomisch sinnvoller ist. Bei größeren Kläranlagen kann die Situation jedoch anders sein. Wiederum anders kann es sein, wenn die Überschusswärme nicht genutzt werden kann, aber bereits ein Erdgasnetzanschluss vorhanden ist.

Rechtliche Barrieren:

Die Mindestqualität von ins Erdgasnetz eingespeisten Gasen ist in der Österreichischen Vereinigung für das Gas- und Wasserfach (ÖVGW)-Richtlinie G B210 [ÖVGW, 2021] geregelt. Die Anforderungen werden genau überwacht. Damit sind die technische Qualität der Reinigungsanlagen und ein Monitoring Voraussetzung für die rechtliche Zulässigkeit der Einspeisung.

5.1.2 Energiepotenzial

In diesem Bericht wird kein Energiepotenzial für die Einspeisung von entsprechend aufbereitetem Klärgas ins Erdgasnetz ausgewiesen, da eine solche Umstellung einen generellen Umbau der Anlage erforderlich machen würde. Jedoch wird im Folgenden die Nutzung von Klärgas für Strom- und Wärmeerzeugung quantifiziert. Das ist für die meisten Kläranlagen mit Faulung eine realistischere Option und schließt eine Einspeisung ohnehin aus.

Daher können hier auch keine Investitionskosten, Betriebskosten, Treibhausgasbilanzen und Arbeitsplatzeffekte angegeben werden.

5.2 Klärgas zur Stromerzeugung

Klärgas wird auf Kläranlagen mit Faulung standardmäßig über BHKWs (Blockheizkraftwerke) in Strom und Wärme umgesetzt. Der Strom wird bevorzugt kläranlagenintern genutzt. Überschüsse können ins allgemeine Stromnetz eingespeist werden.

5.2.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Für die Klärgasnutzung geeignete BHKWs sind eine standardmäßig eingesetzte Technologie in Kläranlagen mit Faulung und am Markt ausreichend verfügbar.

Ökonomische Barrieren:

Die Einspeisetarife für Überschussstrom (egal welcher Herkunft) sind seit Jahren sehr gering. Eine hohe Eigenabdeckung reduziert den Bezug aus dem Netz und wirkt sich wirtschaftlich betrachtet sehr positiv aus.

Rechtliche Barrieren:

Keine

5.2.2 Energiepotenzial

Bei vollständiger Nutzung des Klärgases für die Erzeugung von elektrischer Energie (100 % Nutzungsgrad) könnten nach [Kretschmer et alii, 2021] 775 GWh/a Strom generiert werden (ohne Wien, aber mit Südtirol). Derzeit werden auf Kläranlagen 150 GWh/a an elektrischem Strom selbst produziert, der Großteil davon aus Klärgas [Kretschmer et alii, 2021], Seite 109. Inzwischen ist die Wiener Hauptkläranlage auf Faulung umgestellt worden, und es wird eine Stromerzeugung von 78 GWh/a ausgewiesen. Daraus ergibt sich eine abgeschätzte aktuelle Gesamtstromproduktion an Österreichs Kläranlagen von rund 228 GWh/a.

In diesem Bericht soll nur die Effizienzsteigerung durch neue, effizientere BHKWs betrachtet werden. Die großflächige Umstellung von Kläranlagen von aerober Schlammstabilisierung auf Faulung ist unwahrscheinlich, da Anlagen ab einer gewissen Größe, ab der die Faulung wirtschaftlich ist, ohnehin schon anaerobe Schlammstabilisierung betreiben. Auch der Konsenszustand der Kläranlage kann bei einer allfälligen Umstellung ein Hindernis sein. Ein derzeitiger mittlerer Effizienzwert der elektrischen Erzeugung von 25 % scheint realistisch. Daraus würde sich eine Stromproduktion von 194 GWh/a (ohne Wien) ergeben. Der geringere tatsächliche Wert ist durch die nicht durchgängige Nutzung von Klärgas zur elektrischen Energieerzeugung zu erklären (teilweise nur thermische Nutzung, teilweise muss aus betrieblichen Gründen abgefackelt werden).

Es wird unterstellt, dass 30 % der Anlagen bereits einen für Szenario 1 und 15 % der Anlagen einen für Szenario 2 ausreichenden Wirkungsgrad haben, was die Investitionskosten entsprechend reduziert. Überdies wird angenommen, dass die neue Wiener Anlage kein Optimierungspotenzial aufweist. Die übrigen Anlagen werden ersetzt und erreichen folgende Wirkungsgrade:

Szenario 1: Es wird eine Steigerung des elektrischen Nutzungsgrades auf 30 % angenommen.

Szenario 2: Es wird eine Steigerung des elektrischen Nutzungsgrades auf 35 % angenommen.

Demnach ergeben sich folgende zusätzliche elektrische Energieerzeugungspotenziale:

Szenario 1: 30 GWh pro Jahr

Szenario 2: 60 GWh pro Jahr

Eine Erhöhung des Wärmeoutputs ist bei einer Erneuerung des BHKWs nicht in nennenswertem Ausmaß zu erwarten.

5.2.3 Investitionskosten

Eine Kostenfunktion für Biogas-BHKWs ist im deutschen Heizungsfinder [DAA, 2011] gegeben. Die Netto-Kostenfunktion lautet $15.648 \cdot P_{el}^{0,464}$ mit P_{el} als elektrische Ausgangsleistung des BHKWs. Gemäß [Abwasserenergie, 2013 bis 2016] teilen sich die Kläranlagen mit Faulung auf die einzelnen Größenklassen auf, wie in der folgenden Tabelle dargestellt. Die entsprechenden Kosten einer neuen BHKW-Anlage sind jeweils gemäß der obigen Funktion berechnet und ebenfalls in der Tabelle angegeben.

Tabelle 1: Berechnung der Kosten für BHKWs auf Kläranlagen

Größenklasse in Einwohnerwerten	Anzahl	Klärgasanfall pro Kläranlage pro Jahr in GWh/a	Benötigte Leistung in kW bei 6.500 Volllaststunden	Kosten pro BHKW
2.000 bis 5.000	3	0,10	15	55.000.-
5.000 bis 50.000	104	0,61	95	129.000.-
50.000 bis 150.000	37	1,76	270	210.000.-
mehr als 150.000	14	7,29	1.120	407.000.-
Gesamt	158	-	-	27.049.000.-

Basierend auf EW-spezifischen Stückkosten und Kumulierung auf Österreich-Ebene

Quelle: eigene Berechnungen

Damit ergeben sich folgende Investitionssummen:

Szenario 1: 19 Millionen Euro

Szenario 2: 23 Millionen Euro

5.2.4 Betriebskosten

Aufgrund der Unterschiede zwischen Last- und Erzeugungsprofilen kommt es zu zeitweisen Überschüssen, die nicht selbst genutzt werden können. Dieser Strom kann nur ins Netz eingespeist werden, was im Vergleich zur Direktnutzung ökonomisch nachteilig ist. Daher wird angesetzt, dass zwei Drittel des Stromes selbst genutzt werden und ein Drittel eingespeist wird.

Ausgehend von den in Abschnitt 2.5 definierten spezifischen Kosten ergeben sich damit die jährlichen Energiekostenreduktionen wie folgt:

Szenario 1: 3,1 Millionen Euro pro Jahr

Szenario 2: 6,1 Millionen Euro pro Jahr

5.2.5 Treibhausgasbilanz

Ausgehend von den in Abschnitt 2.6 definierten Treibhausgasfaktoren ergeben sich jährliche Potenziale zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen wie folgt:

Szenario 1: 6.810 Tonnen pro Jahr

Szenario 2: 13.620 Tonnen pro Jahr

5.2.6 Arbeitsplatzeffekte

Die Arbeitsplatzeffekte, gemessen in Jahresvollzeitäquivalenten, ergeben sich basierend auf dem in Abschnitt 2.7 gegebenen Ansatz wie folgt:

Szenario 1: 95

Szenario 2: 115

5.3 Klärgas zur Wärmeerzeugung

Die im Klärgas-BHKW entstehende Wärme kann meist nur auf der Kläranlage selbst genutzt werden. Je nach räumlicher Situation der Kläranlage (Vorhandensein geeigneter Abnehmer im Umfeld der Kläranlage oder Anschlussmöglichkeit an ein bestehendes Wärmenetz zur Einspeisung) ist aber auch eine externe Nutzung möglich.

Ein sehr innovativer Ansatz zur besseren Nutzung von Hochtemperaturwärme aus Klärgas wird in [Abwasserenergie, 2013 bis 2016] und in [Energieraumplanung Kapfenberg, 2019 bis 2021] beschrieben. Demnach ist es am sinnvollsten, den Wärmebedarf auf der Kläranlage, der hauptsächlich im Faulturn anfällt, mit Wärme aus dem Ablauf der Kläranlage zu decken. Diese Wärme aus dem geklärten Abwasser kann mittels Wärmetauscher und Wärmepumpen genutzt werden. Der Wärmebedarf der Kläranlage kann auf niedrigem Temperaturniveau bereitgestellt werden – im Faulturn werden nur etwa 40 °C benötigt. Dadurch ist dies mit hoher Effizienz (Jahresarbeitszahl der Wärmepumpe) möglich. Allerdings muss der Wärmetauscher entsprechend dimensioniert

werden. Durch die aus dem Klärgas „freigespielte“ Wärme wird die Bedeutung der Kläranlage als Energiequelle für externe Zwecke gesteigert. Eine größere Wärmemenge für die externe Nutzung macht die Rentabilität einer solchen Lösung wahrscheinlicher, weshalb die alternative Beheizung des Faulturms von hoher Bedeutung ist.

5.3.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Die Wärmenutzung direkt auf der Kläranlage erfordert keine besonderen technischen Einrichtungen außer ein BHKW oder einen Kessel, abgestimmt auf die Klärgasqualität. Wärmetransportleitungen sind meist ohnehin bereits vorhanden. Wärmeüberschüsse können jedoch nur genutzt werden, wenn eine Netzinfrastruktur zu umliegenden Verbrauchern existiert.

Ökonomische Barrieren:

Solange die Wärmenutzung über ein BHKW oder auch über einen Kessel nur für die Kläranlage selbst gedacht ist, bleiben die Investitionen im überschaubaren Bereich. Sie können aber auch hier für größere Klärgasmengen im sechsstelligen Bereich liegen. Für eine externe Versorgung muss jedoch ein Wärmenetz existieren. Dies ist meist nicht der Fall und mit größeren Investitionen verbunden. Die Rentabilität hängt von den Entfernungen und der absetzbaren Energiemenge ab. Wenn pro Laufmeter Netzlänge eine jährliche Energiemenge von etwa 900 kWh abgesetzt werden kann, sollte sich die Investition rentieren. In diesem Fall ist eine detaillierte Untersuchung anzuraten.

Rechtliche Barrieren:

Hier muss eine Kooperation mit einem Wärmeversorger eingegangen werden, oder falls die Kläranlage selbst als Wärmeversorger auftreten möchte, müssen die notwendigen Berechtigungen vorliegen. Die Einspeisung in ein bestehendes Wärmenetz ist dann mit keinen weiteren rechtlichen Problemen verbunden, solange die vereinbarten Wärmemengen und Temperaturen eingehalten werden. Der Aufbau eines Wärmenetzes kann jedoch rechtlich sehr herausfordernd sein. Hier kann es z. B. zu Konflikten mit Grundeigentümern kommen, wenn eine Trasse über ihr Grundstück führen soll.

5.3.2 Energiepotenzial

Nach [Abwasserenergie, 2013 bis 2016] beträgt das Potenzial zur Wärmeerzeugung aus Klärgas 30 kWh/(EW.a), und somit doppelt so viel wie für Strom aus Klärgas. Dies stimmt

auch mit den circa doppelt so hohen Wärmeerlösen aus BHKWs im Vergleich zum elektrischen Ertrag überein (vergleiche auch [Lindtner, 2008]). Damit ergibt sich ein Wärmepotenzial zwischen 300 GWh/a und 388 GWh/a.

Ein ähnliches Ergebnis erhält man, wenn man zur in [Abwasserenergie, 2013 bis 2016] ausgewiesenen Wärmemenge von 231 GWh/a das inzwischen realisierte Wärmepotenzial der Wiener Hauptkläranlage von 82 GWh/a hinzuzählt. Damit ergibt sich ein Potenzial von 313 GWh/a. Als Mittelwert dieser Angaben wird hier ein jährlicher Wärmeertrag von 330 GWh/a angesetzt.

Die Wärme auf vielen Kläranlagen wird bereits jetzt, soweit möglich, für Zwecke auf der Kläranlage verwendet. Eine Steigerung der internen Nutzung ist daher nur in geringem Ausmaß (etwa ein höherer Wärmeoutput durch Leitungsdämmungen und folglich eine höhere Deckung in der Übergangszeit und im Winter) anzunehmen. Während neuere BHKWs im Bereich der elektrischen Effizienz bessere Werte erzielen, ist dies für die thermische Effizienz meist nicht gegeben. Auch die Analyse der Jahresnutzungsgrade in der Gesamtenergiebilanz der Statistik Austria seit 2005 zeigt hier keine Veränderung seit 2005 [Statistik Austria, 2020].

Die externe Nutzung im Fall von thermischen Energieüberschüssen ist grundsätzlich möglich und erstrebenswert, aber mit Limitierungen durch die Abnehmerstruktur im Kläranlagenumfeld und anderen Hürden verknüpft. Beispiele solcher Hürden können unter anderem konkurrierende Wärmeversorgungssysteme oder mangelndes Know-how von Kläranlagenbetreibern im Bereich Nahwärmeversorgung sein.

Aufgrund dieser Einschränkungen und der Tatsache, dass ein großer Teil der Wärme bereits kläranlagenintern sinnvoll genutzt wird, wird das bis 2027 realisierbare Potenzial für die externe Wärmenutzung als sehr beschränkt angenommen.

Szenario 1: 1 % des Potenzials von 330 GWh pro Jahr wird umgesetzt.

Szenario 2: 2 % des Potenzials von 330 GWh pro Jahr wird umgesetzt.

Demnach ergeben sich folgende thermische Energieerzeugungspotenziale:

Szenario 1: 3 GWh pro Jahr

Szenario 2: 7 GWh pro Jahr

Diese Potenziale werden zur Gänze außerhalb von Kläranlagen realisiert.

5.3.3 Investitionskosten

Die Annahmen zu den Kosten werden analog zu [Abwasserenergie, 2013 bis 2016] beziehungsweise den Annahmen zur Energiegewinnung aus Abwasser (vergleiche Abschnitt 5.6.3) getroffen, da die Hauptinvestition hier ebenso im Bereich der Errichtung eines Wärmenetzes zu sehen ist und die Wärmebereitstellungsanlagen von der Investition her vergleichbar sind.

Damit ergeben sich für die Investitionskosten folgende Werte:

Szenario 1: 2 Millionen Euro

Szenario 2: 5 Millionen Euro

5.3.4 Betriebskosten

Ausgehend von den in Abschnitt 2.5 definierten spezifischen Kosten ergeben sich die jährlichen Energiekostenreduktionen wie folgt:

Szenario 1: 0,1 Millionen Euro pro Jahr

Szenario 2: 0,3 Millionen Euro pro Jahr

5.3.5 Treibhausgasbilanz

Ausgehend von den in Abschnitt 2.6 definierten Treibhausgasfaktoren ergeben sich die jährlichen Potenziale zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen wie folgt:

Szenario 1: 924 Tonnen pro Jahr

Szenario 2: 2.156 Tonnen pro Jahr

5.3.6 Arbeitsplatzeffekte

Die Arbeitsplatzeffekte, gemessen in Vollzeitäquivalenten pro Jahr, ergeben sich basierend auf dem in Abschnitt 2.7 gegebenen Ansatz wie folgt:

Szenario 1: 10

Szenario 2: 23

5.4 Photovoltaik auf Wasserversorgungsanlagen, Pumpwerken und Kläranlagen

Photovoltaik (PV) ist eine immer weiter verbreitete Technologie, die eine wesentliche Säule der zukünftigen elektrischen Energieversorgung spielen soll beziehungsweise wird. Im kürzlich beschlossenen Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz [RIS, 2022] wird der Ausbaupfad spezifiziert. Der Schwerpunkt soll dabei auf der Nutzung von Dachflächen und anderen bereits versiegelten Flächen liegen, damit der Bodenverbrauch, der in Österreich ein besonders hohes Ausmaß hat, nicht weiter erhöht wird. Damit rücken sämtliche Gebäude wie auch Kläranlagen in den Fokus.

Dabei sind aber nicht nur die Gebäude von Interesse, sondern auch die Vorklär-, Nachklär- und Belebungsbecken. Dieser neuartige Ansatz dazu wurde z. B. auf der Kläranlage Chur in der Schweiz realisiert [IBC Energie Wasser Chur, 2021]. Ein Solarfaltdach über den offenen Klärbecken nutzt die Betriebsanlagenfläche energetisch optimal aus. Durch die Beschaffenheit als Faltdach kann die Anlage bei Bedarf (Wartungsarbeiten, Reinigung et cetera) den Weg freimachen und anschließend einfach wieder in Betriebsposition gebracht werden. In Chur erzeugt die Anlage mit einer Modulfläche von 4.150 m² und 636 kWp jährlich 540.000 kWh Strom, was 18 % des Bedarfs der Kläranlage entspricht.

5.4.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Auf Betriebsgebäuden sind normalerweise Teile der Dachflächen für PV-Nutzung geeignet, wie viele nationale und internationale Beispiele zeigen. Mögliche Barrieren stellen dabei vor allem die Dachausrichtung und Verschattung durch Bäume, andere Gebäude et cetera dar.

Je nach Größe, Zugänglichkeit und Oberflächenbeschaffenheit können sich hier mehr oder weniger erhebliche Barrieren ergeben. Etwa bei Wasserversorgungsanlagen (Speichern) ist die Oberfläche oft begrünt, weshalb keine Dachflächennutzung in Frage kommt. Bei Pumpwerken ist die nutzbare Oberfläche ebenfalls in vielen Fällen nicht gegeben. Lediglich Kläranlagen bieten in nahezu jedem Fall (außer bei sehr kleinen Anlagen) eine Möglichkeit der Nutzung auf Gebäuden oder den Klärbecken (z. B. Kläranlage Chur – Solarfaltdach über den Klärbecken [IBC Energie Wasser Chur, 2021]). Darüber hinaus kann auch im Einzelfall die Nutzung von Freiflächen zur PV-Nutzung in Frage kommen. Die mögliche Beeinträchtigung des Grünraumes beziehungsweise des Landschaftsbildes muss im Einzelfall untersucht und gegen den potenziellen Energiegewinn abgewogen werden.

Bei Photovoltaik sind auch folgende Aspekte mitzubedenken: Freiflächenanlagen sind oft problematisch, weil diese die Nutzung von Flächen für andere Zwecke (z. B. Erweiterungen von Kläranlagen, landwirtschaftliche Nutzung et cetera) erschweren oder behindern. Das Potenzial von Dachanlagen kann aufgrund des Gewichtes oder der Windlast, Verschattung, Denkmalschutz et cetera limitiert sein.

Ökonomische Barrieren:

Kann kein hoher Anteil des Stromes direkt genutzt werden, ist die Rentabilität durch geringe Vergütungen beschränkt. Freiflächenanlagen erhalten meist geringere oder keine Investitionsförderungen im Vergleich zu Dachanlagen.

Rechtliche Barrieren:

Keine, eventuell Denkmalschutz

5.4.2 Energiepotenzial

PV-Module können auf Flächen, die für die Wasserversorgung oder die Abwasserentsorgung bestimmt sind, auf vielfältige Weise errichtet werden. Einerseits können Dachflächen genutzt werden, andererseits aber auch Freiflächen, die nicht für Erweiterungen benötigt werden oder auch Betriebseinrichtungen.

Zur Berechnung des Ertrags wurde eine Fläche von 7 m² pro kW_p angenommen und der durchschnittliche Jahresertrag pro kW_p gemäß [PV Austria, 2020] mit 1.078 kWh/a angesetzt.

Szenario 1: 15 % der Dachflächen und 3 % des unbebauten Gesamtareals werden bis 2027 mit PV-Anlagen versehen.

Szenario 2: 30 % der Dachflächen und 6 % des unbebauten Gesamtareals werden bis 2027 mit PV-Anlagen versehen.

Im Folgenden wird eine Flächenanalyse gegeben, die sich in drei Bereiche gliedert. Danach erfolgt die Ausweisung des elektrischen Energieerzeugungspotenzials.

5.4.2.1 Dach- und Arealflächen von Kläranlagen – Flächenanalyse

Es stehen 8,8 Millionen m² Kläranlagenfläche in Österreich zur Verfügung [Abwasserenergie, 2013 bis 2016]. Gebäude- beziehungsweise Dachflächen werden mit 5 % dieser Gesamtfläche (also 440.000 m²) abgeschätzt. PV-Anlagen mit einer Gesamtnennleistung von 1,72 MW_p wurden bisher vom Klima- und Energiefonds gefördert [KLIEN, 2016]. Zusätzlich wurde aber z. B. allein vom Land Niederösterreich nach dessen Angaben eine installierte Leistung von fast 6 MW_p für Kläranlagen und rund 3,3 MW_p für Wasserversorgungsanlagen gefördert. Welcher Anteil davon direkt auf dem Gelände von Klär- oder Wasserversorgungsanlagen liegt, ist nicht bekannt. Weiters wurden über das Umweltförderungsgesetz im Rahmen der Förderung der kommunalen Siedlungswasserwirtschaft nach einer Auswertung der Kommunalkredit Public Consulting bereits 255 Anlagen PV-Anlagen bei Abwasserentsorgungsanlagen gefördert. Österreichweite Erhebungen über die Gesamtnennleistung von an Kläranlagen installierten PV-Anlagen liegen nicht vor. Daher kann hier nur ein Gesamtpotenzial abgeschätzt werden, aber kein noch ungenutztes Potenzial.

5.4.2.2 Dach- und Arealflächen von Wasserversorgungsanlagen – Flächenanalyse

Annahme: Laut [ÖVGW, 2018] liegt das Speichervolumen gesamt bei circa 4,1 Millionen m³. Bei einer mittleren Tiefe von 4 m ergeben sich circa 1 Million m² Wasserfläche. Eine grobe Abschätzung der Gesamtfläche der Behälteranlagen kann daher mit dem doppelten Wert der Wasserfläche, also 2 Millionen m², angegeben werden. Davon wiederum ist ein Anteil von 10 % als Gebäudefläche anzunehmen.

5.4.2.3 Dach- und Arealflächen von Pumpwerken in der Trink- und Nutzwasserversorgung – Flächenanalyse

Bei Wasserversorgungsanlagen sind Pumpwerke meist in andere Bauwerke integriert (Brunnen, Aufbereitung, Behälter) oder unterirdisch. Auch bei Kläranlagen sind Pumpwerke mit Hochbauteil eher die Ausnahme.

Annahme: Die Fläche entspricht der Hälfte jener der Betriebsgebäude von Kläranlagen, somit 220.000 m², davon 5 % Gebäudefläche.

5.4.2.4 Gesamtes PV-Potenzial in der Siedlungswasserwirtschaft

Insgesamt (als Summe aus den drei beschriebenen Anteilen) ergeben sich folgende elektrische Energieerzeugungspotenziale aus PV:

Szenario 1: 66 GWh pro Jahr

Szenario 2: 132 GWh pro Jahr

Darin ist der Ertrag auf bestehenden PV-Anlagen auf Kläranlagen enthalten. Die berechneten Werte liegen deutlich unter dem elektrischen Energieverbrauch in der Siedlungswasserwirtschaft. Deshalb wird die definierte Einschränkung einer den elektrischen Energieverbrauch nicht übersteigenden Erzeugung (bilanziell über das Jahr) nicht schlagend.

In [Abwasserenergie, 2013 bis 2016] wurde ein Potenzial von 24 GWh/a auf Kläranlagen angenommen. Dies entspricht nur etwa der Hälfte des Anteils von Kläranlagen in Szenario 1 und das liegt vorrangig daran, dass das Ausmaß möglicher Freiflächenanlagen hier höher (wenn auch nur mit 3 % beziehungsweise mit 6 %) angenommen wurde. Weiters wurden dort auch Anlagen wie in Chur [IBC Energie Wasser Chur, 2021] nicht in Betracht gezogen, weshalb das hier ausgewiesene höhere Potenzial realistisch erscheint.

5.4.3 Investitionskosten

Die Kosten einer PV-Anlage schwanken nach Größe und Positionierung. Ein guter Richtwert sind Kosten von 1.000 Euro netto pro kWp oder 150 Euro pro m².

Daraus ergeben sich folgende Investitionskosten:

Szenario 1: 64 Millionen Euro

Szenario 2: 128 Millionen Euro

5.4.4 Betriebskosten

Auch wenn die in den Szenarien enthaltenen PV-Anlagen nicht mehr Strom produzieren, als die Siedlungswasserwirtschaft über das Jahr gesehen verbraucht, kommt es aufgrund der Unterschiede zwischen Last- und Erzeugungsprofilen dennoch zu zeitweisen Überschüssen. Daher wird angesetzt, das zwei Drittel des Stromes selbst genutzt werden können und ein Drittel eingespeist werden muss.

Ausgehend von den in Abschnitt 2.5 definierten spezifischen Kosten ergeben sich damit die jährlichen Reduktionen von Energiekosten wie folgt:

Szenario 1: 6,8 Millionen Euro pro Jahr

Szenario 2: 13,5 Millionen Euro pro Jahr

5.4.5 Treibhausgasbilanz

Ausgehend von den in Abschnitt 2.6 definierten Treibhausgasfaktoren ergeben sich die jährlichen Potenziale zur Reduktion der Treibhausgas-Emissionen wie folgt:

Szenario 1: 14.982 Tonnen pro Jahr

Szenario 2: 29.964 Tonnen pro Jahr

5.4.6 Arbeitsplatzeffekte

Die Arbeitsplatzeffekte, gemessen in Jahresvollzeitäquivalenten, ergeben sich basierend auf dem in Abschnitt 2.7 gegebenen Ansatz wie folgt:

Szenario 1: 321

5.5 (Mit-)Verbrennung von Klärschlamm

Klärschlamm wird meist als Abfallprodukt gesehen, aber es handelt sich dabei um eine wertvolle Energieressource. Die Entsorgungspfade sind vielfältig, wobei die Verbrennung immer mehr an Bedeutung gewinnt, während die landwirtschaftliche Verwertung und die Kompostierung an Bedeutung verlieren [BMLRT, 2020]. In manchen anderen EU-Ländern ist auch die Deponierung noch ein bedeutender Entsorgungspfad. Durch das Verbrennen von Klärschlamm ist P-Rückgewinnung aus der Asche möglich. In Österreich existieren aber nur sehr wenige solcher Anlagen. Bis 2027 ist diesbezüglich keine Veränderung anzunehmen.

5.5.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Im Fall von Mitverbrennung muss der Verbrennungsprozess auf die Qualität des Klärschlammes abgestimmt sein. Öfters sind große Distanzen zwischen Kläranlage und Verbrennungsort in Kauf zu nehmen.

Ökonomische Barrieren:

Klärschlamm ist ein Abfallprodukt. In der ökonomischen Bewertung überwiegt dieser Aspekt gegenüber der Eigenschaft als Energieträger, was zu negativen Preisen führt. Deshalb haben Kläranlagen für die Entsorgung zu bezahlen.

Da aber Klärschlamm in jedem Fall entsorgt werden muss, ist dies alternativlos. Es zeigt sich, dass dort, wo landwirtschaftliche Verwertung zulässig ist (dies ist je nach Bundesland, teilweise auch jahreszeitlich, unterschiedlich), die Kosten für die Klärschlamm Entsorgung meist etwas geringer sind. Um wirtschaftlich bestehen zu können, müssen Klärschlammmonoverbrennungsanlagen allerdings groß dimensioniert sein.

Rechtliche Barrieren:

Monoverbrennung ist in Österreich noch kaum verbreitet, aber zukünftig aufgrund von Vorgaben zur Wiederverwertung von im Klärschlamm enthaltenen Ressourcen notwendig.

Im Hinblick auf Phosphor-Rückgewinnung ist eine Mono-Verbrennung (oder eine Mitverbrennung mit anderen ähnlich phosphorhaltigen Abfällen) erstrebenswert. Diese Notwendigkeit wird auch durch den Bundesabfallwirtschaftsplan 2017 [BMNT, 2017], Seite 261, unterstrichen. Derartige Verpflichtungen werden aber eben erst nach 2027 schlagend, weshalb für diesen Bericht die Monoverbrennung nicht in Betracht gezogen wird.

Bei der Klärschlammverbrennung vermeidet man viele rechtliche Probleme (Verbote oder Einschränkungen), die sich bei anderen Verwertungsarten wie Kompostierung oder landwirtschaftlicher Verwertung ergeben. Damit ist diese Variante aus rechtlicher Sicht als vergleichsweise unkompliziert einzustufen. Belasteter Klärschlamm erfordert jedoch eventuell eine Vorbehandlung.

5.5.2 Energiepotenzial

Nach [BMLRT, 2020], Seite 32 wurden im Jahr 2018 126.200 Tonnen Klärschlamm-Trockensubstanz (TS) thermisch und 108.300 Tonnen anderweitig verwertet.

Die thermische Verwertung stieg in den vergangenen Jahren stark an. Für den Heizwert wird ein Mittelwert aus ausgefaultem (Heizwert 11 MJ/kg TS) und unausgefautem (Heizwert 17 MJ/kg TS) Klärschlamm [Land Steiermark, 2012] angesetzt. Dabei ist aber der Transport des Klärschlammes in die hier berechnete Energiebilanz aufzunehmen. Dieser wird mit zusätzlichen 150 km angenommen. Dabei werden gemäß Annahme 6 Tonnen TS transportiert und 20 Liter Diesel pro 100 km verbraucht. Ein TS-Gehalt von 30 % beim Transport (das heißt gepresst, nicht getrocknet) wird angenommen.

Szenario 1: Menge des nicht thermisch verwerteten Klärschlammes um 25 % reduziert

Szenario 2: Menge des nicht thermisch verwerteten Klärschlammes um 50 % reduziert

Die thermischen Energiepotenziale ergeben sich damit unter der Annahme eines 80%-igen thermischen Nutzungsgrades wie folgt:

Szenario 1: 84 GWh pro Jahr

Szenario 2: 168 GWh pro Jahr

Der Kraftstoffverbrauch für den Klärschlammtransport beträgt dabei in Szenario 1 etwa 1 GWh/a und in Szenario 2 etwa 2 GWh/a. Er liegt damit im Vergleich zum Energiegehalt nur knapp über 1 % und ist damit im Rahmen der Genauigkeit dieser Berechnung vernachlässigbar.

Es wird angenommen, dass die Wärme ausschließlich außerhalb von Kläranlagen genutzt wird.

5.5.3 Investitionskosten

Geänderte Entsorgungspfade für Klärschlamm erfordern innerhalb der siedlungswasserwirtschaftlichen Infrastruktur keine Investitionskosten. Monoverbrennungsanlagen, die anzustreben sind, werden bis 2027 nicht angenommen.

5.5.4 Betriebskosten

Die Entsorgungskosten betragen gemäß [Michalski, 2004], Seite 29 bei landwirtschaftlicher Verwertung 30 Euro pro Tonne, bei Kompostierung 48 Euro pro Tonne. Angenommen wird aufgrund der derzeitigen Mengenverhältnisse ein momentaner Entsorgungspreis von 40 Euro pro Tonne. Bei Verbrennung oder sonstiger Entsorgung beträgt der Preise derzeit 67 Euro pro Tonne. Somit ergibt sich ein Mehrpreis von 27 Euro pro Tonne. Es wird von einem TS-Gehalt von 30 % ausgegangen.

Damit ergeben sich die jährlichen Mehrkosten für die Entsorgung (daher mit Minusvorzeichen) wie folgt:

Szenario 1: minus 1,9 Millionen Euro pro Jahr

Szenario 2: minus 3,9 Millionen Euro pro Jahr

Da die Energie aus dem Verbrennungsprozess nicht im Bereich der Siedlungswasserwirtschaft anfällt, sind hier keine Kostenreduktionen durch Energieerzeugung anzusetzen. Durch Monoverbrennungsanlagen könnte sich dies zukünftig ändern.

5.5.5 Treibhausgasbilanz

Ausgehend von den in Abschnitt 2.6 definierten Treibhausgasfaktoren ergeben sich durch einen verminderten Erdgasverbrauch auf Anlagen, die Klärschlamm mitverbrennen, die jährlichen Reduktionspotenziale an Treibhausgas-Emissionen wie folgt:

Szenario 1: 25.872 Tonnen pro Jahr

Szenario 2: 51.744 Tonnen pro Jahr

5.5.6 Arbeitsplatzeffekte

Arbeitsplatzeffekte sind wegen der fehlenden Investitionskosten nicht anzusetzen, könnten sich aber in geringem Ausmaß durch weitere Transportwege einstellen.

5.6 Wärmenutzung aus Abwasser

Abwasser, das aus Haushalten, Industrie, Gewerbe et cetera in den Kanal gelangt, weist das ganze Jahr über eine vergleichsweise hohe Temperatur auf. Damit ist Abwasser eine interessante thermische Energieressource, die mittels Wärmepumpen nutzbar gemacht werden kann und als Alternative zu bekannten Energiequellen wie Grundwasser, Erdreich oder Außenluft zu sehen ist [Abwasserenergie, 2013 bis 2016]. In der Schweiz, in Baden-Württemberg und in Skandinavien existieren solche Anlagen bereits seit Jahrzehnten und laufen meist zuverlässig und wirtschaftlich. In Österreich ist diese Möglichkeit der Wärmegewinnung noch nicht stark verbreitet (Anlagen z. B. in Amstetten, Weiz und Wien Blumenthal sind zu erwähnen). In Zukunft wird aber ein stärkerer Fokus auf diese Option erwartet. So plant Wien etwa im Ablauf der Wiener Hauptkläranlage eine Wärmepumpe, die über 100.000 Haushalte mit Raumwärme versorgen soll [Stadt Wien, 2020].

Grundsätzlich ist hierbei zwischen der Nutzung im Kanal und der Nutzung im Ablauf der Kläranlage zu unterscheiden [Abwasserenergie, 2013 bis 2016].

5.6.1 Barrieren

Technische Barrieren im Kanal:

Hier besteht die Möglichkeit eines Wärmetauschers direkt im Kanal oder extern. Wenn ein Kanalwärmetauscher implementiert werden soll, so wird der Kanalquerschnitt durch

diesen Einbau verändert beziehungsweise eingeschränkt. Eine Abflussreserve muss also vorhanden sein, und auch die Reinigung des Kanals muss weiterhin möglich sein. Die Gerätschaften zur Inspektion oder Reinigung des Kanals kommen eventuell mit dem Kanalwärmetauscher nicht zurecht. Undichtheiten unter dem Wärmetauscher sind ebenso ein potenzielles Problem. Eine optische Inspektion mit Kanalkamera und je nach Bauart unter Umständen auch eine Dichtheitsprüfung des Kanals mit Luft oder Wasser ist nicht mehr möglich.

Die Ablagerung von Biofilm, vor allem in Kanälen mit wenig Durchfluss und Gefälle, reduziert die Wärmeübertragungsleistung des Wärmetauschers. Dies muss daher durch regelmäßiges Reinigen oder eine entsprechende (Über-)Dimensionierung des Wärmetauschers kompensiert werden. Bei großen Leistungen ist es oft schwierig, eine genügend lange Fließstrecke zu finden, die auch keine Verzweigungen und Kurven enthält; ansonsten wird der Einbau schwierig oder unmöglich.

Viele dieser Probleme vermeidet man mit einem externen Wärmetauscher. In diesem Fall wird das Abwasser aus dem Kanal geleitet, vorgesiebt und einem externen Wärmetauscher, z. B. in einem Heizungskeller, zugeführt. Das thermisch genutzte Abwasser wird gemeinsam mit dem Siebgut wieder in den Kanal zurückgeleitet. Auch bei diesem Verfahren ist zu beachten, dass eine Dichtheitskontrolle weiterhin möglich sein muss.

Unproblematischer sind auch Bypasskanäle oder vorgefertigte neue Kanalrohrelemente mit fix eingebautem Wärmetauscher in der Rohrwand. Diese Option ist insbesondere bei einem Kanalneubau von Interesse, bei Bestandskanälen ist der Aufwand nicht gerechtfertigt. Die Thematik der Abkühlung und Erwärmung des Abwassers wird im rechtlichen Teil thematisiert.

Technische Barrieren im Kläranagenablauf:

Die Nutzung im Kläranlagenablauf an sich ist relativ unproblematisch möglich, da das Abwasser frei zugänglich ist und keine Einschränkungen durch Kanalquerschnitte oder Abkühlung des Abwassers existieren. Die Anlage muss jedenfalls so ausgeführt werden, dass die Abflussleistung der Kläranlage weiterhin gegeben ist. Der Biofilm ist hier im Normalfall ein geringeres, wenn auch mögliches, bei entsprechender Planung und Wartung aber jedenfalls beherrschbares Problem.

Eine ganz andere Einschränkung ergibt sich oftmals daraus, dass in der Nähe der Kläranlage die Wärmeabnahmemenge gering ist. Optimierte Energieraumplanung [Zach, 2020] kann dieses (auch im Vergleich zur Nutzung im Kanal) sehr große Energiepotenzial mittel- und langfristig nutzbar machen.

Ökonomische Barrieren im Kanal:

Es ist ein Mindestdurchfluss von circa 10 l/s bis 15 l/s Trockenwettermittel zur wirtschaftlichen Betriebsführung im Allgemeinen notwendig. Sämtliche Investitionen in derartige Anlagen (Baumeisterarbeiten, Wärmetauscher, Wärmepumpe) sind relativ hoch und sind mit etwa 2.000 Euro pro kW grob abschätzbar (wenn die Voraussetzungen wie z. B. die Wärmedichte günstig sind). Contracting-Lösungen sind hier, wie internationale Beispiele zeigen, aber möglich. Bei der Kanalwärmenutzung sind Kanalwärmetauscher bei kleineren Leistungen vorteilhaft, externe Wärmetauscher bei Leistungen ab einigen 100 kW jedenfalls zu bevorzugen. Durch Kombination mit Kältenutzung verbessern sich die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen.

Ökonomische Barrieren im Kläranlagenablauf:

Die Wirtschaftlichkeit wird hier maßgeblich von der Verfügbarkeit von Wärmeabnehmern in der Umgebung beeinflusst. Hier sind zum einen Wärmemengen, benötigte Leistung und Distanzen entscheidend, zum anderen auch die benötigten Temperaturen. Am günstigsten ist eine ganzjährig und tageszeitlich möglichst gleichbleibende Niedertemperatur-Wärmenachfrage in der Nähe der Kläranlage.

Rechtliche Barrieren im Kanal und im Kläranlagenablauf:

Grundlage für die rechtliche Beurteilung bildet generell das Wasserrechtsgesetz 1959. In den meisten Fällen ist eine wasserrechtliche Bewilligung notwendig. Davon ausgenommen sind nur Anlagen, die vom Eigentümer des Abwassers beziehungsweise dem Konsensträger der Kläranlage (Kanal- oder Kläranlagenbetreiber) errichtet und betrieben werden und auf den konsensgemäßen Betrieb der Kläranlage keine Auswirkung haben. Die Details zur rechtlichen Situation finden sich im ÖWAV Arbeitsbehelf 65 [ÖWAV, 2021].

Speziell bei der Nutzung im Kanal können hier durch die Abkühlung des Abwassers Bedenken existieren. Die Abkühlung bei thermischer Nutzung vor der Kläranlage kann potenziell die Reinigungsleistung der Kläranlage herabsetzen. Das ist vor allem betreffend Klimagase kritisch hinsichtlich Lachgasentstehung bei der Stickstoffentfernung. Eine Erwärmung (durch Nutzung für Kühlzwecke speziell im Sommer) kann zu Geruchsbelästigungen (z. B. durch Schwefelwasserstoff) in der Umgebung führen, da die

Erhöhung der Abwassertemperatur zur Steigerung der biologischen Aktivität sowie zu einer reduzierten Löslichkeit von Sauerstoff führt. Nach der Allgemeinen Abwasseremissionsverordnung dürfen 35 °C Abwassertemperatur bei der Einleitung in den Kanal nicht überschritten werden. Jedenfalls ist mit dem Kanalnetzbetreiber wie auch mit dem Kläranlagenbetreiber Einvernehmen vor Planung und Errichtung solcher Anlagen herzustellen.

Die Erwärmung von Gewässern bei Kältenutzung nach der Kläranlage ist jedenfalls problematischer als die Wärmenutzung. Der Grund ist, dass die Gewässer durch die steigenden Temperaturen als eine Folge der Klimakrise ohnehin immer mehr erwärmt werden und der Sauerstoffgehalt des Wassers mit höherer Temperatur abnimmt.

Die Darstellung sämtlicher Aspekte der Abwasserwärme- und Abwasserkältenutzung würde den Rahmen dieses Berichtes aufgrund der Vielzahl der dahingehend zu behandelnden Aspekte sprengen. Für weitere Details wird auf [ÖWAV, 2021] und das Merkblatt DWA M 114 [DWA, 2020] verwiesen.

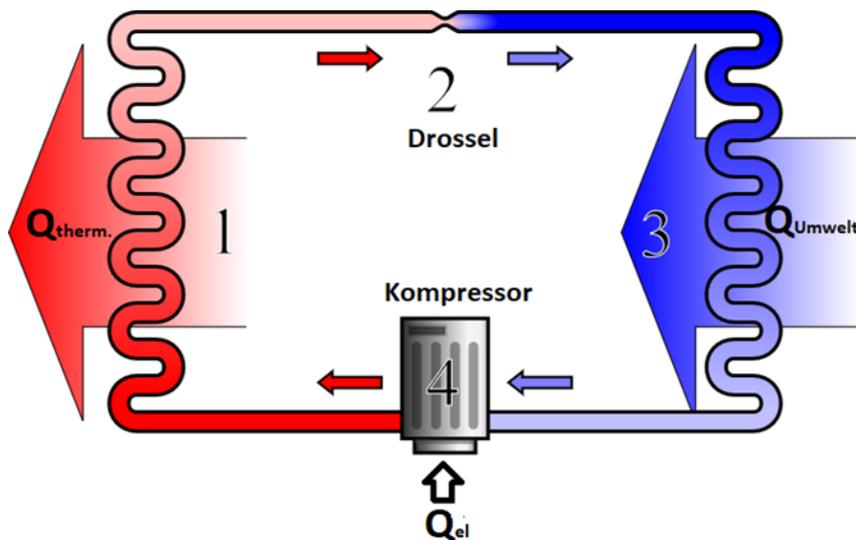
5.6.2 Energiepotenzial

In untenstehender Abbildung ist das Prinzip des Wärmepumpen-Kreisprozesses dargestellt:

1. Das Kältemittel gibt durch Kondensation (im Kondensator) Wärme $Q_{\text{therm.}}$ an das Heizsystem ab.
2. Danach wird es von einem hohen auf ein niedriges Druckniveau gebracht. Dadurch kühlt es ab.
3. Das Kältemittel kann im Verdampfer Umweltwärme Q_{Umwelt} , die z. B. aus der Außenluft oder dem Grundwasser oder eben aus dem Abwasser stammt, aufnehmen. Es verdampft dabei, wodurch die latente Wärme des Phasenübergangs des Kältemittels genutzt wird.
4. Das Kältemittel wird im Kompressor verdichtet, wofür (im Fall der weit verbreiteten Kompressions-Wärmepumpe) elektrische Energie Q_{el} aufgewendet wird. Dem System werden die Energiemengen Q_{Umwelt} (Umweltwärme) und Q_{el} (Strom) zugeführt und $Q_{\text{therm.}}$ (Wärme aus dem Kältemittel) wird dem System entzogen. Damit müssen diese Energiemengen gleich hoch sein. Abgesehen von meist vernachlässigten Verlusten wird daher die Energie $Q_{\text{therm.}} = Q_{\text{Umwelt}} + Q_{\text{el}}$ an das Heizsystem abgegeben.

Je größer das Verhältnis $Q_{\text{therm.}} / Q_{\text{el}} = Q_{\text{Umwelt}} / Q_{\text{el}} + 1$ ist, umso effizienter läuft das Wärmepumpensystem, da pro aufgewendete Einheit elektrischer Energie mehr Nutzwärme $Q_{\text{therm.}}$ verfügbar ist beziehungsweise mehr Umweltwärme Q_{Umwelt} gewonnen werden kann. Dieses Verhältnis wird Jahresnutzungsgrad genannt, wenn die Energiemengen über ein Jahr gemessen werden.

Abbildung 1: Wärmepumpen-Kreisprozess



Der dargestellte Ablauf wird oben im Text beschrieben.

Quelle: Wikipedia und eigene Ergänzungen

Nach [Abwasserenergie, 2013 bis 2016] kann das thermische Energiepotenzial mit Kanal-Wärmepumpen auf circa $Q_{\text{therm.}} = 200 \text{ GWh/a}$ abgeschätzt werden, im Falle von Wärmepumpen im Ablauf der Kläranlage auf $Q_{\text{therm.}} = 3.200 \text{ GWh/a}$, somit insgesamt $Q_{\text{therm.}} = 3.400 \text{ GWh/a}$. Mit einer Umsetzung bis 2027 ist dabei in Einzelfällen zu rechnen. Jedoch spielen hier standortspezifische Faktoren eine große Rolle.

In Wien wird derzeit eine Großwärmepumpenanlage zur Versorgung des Wiener Fernwärmesystems geplant. Gemäß [Stadt Wien, 2020] ergibt sich ein Wärmepotenzial von $Q_{\text{therm.}} = 613 \text{ GWh/a}$ für die geplante Anlage, die das geklärte Abwasser der Wiener Hauptkläranlage als Wärmequelle nutzt. Davon kann mit etwa $Q_{\text{Umwelt}} = 440 \text{ GWh/a}$ aus dem Abwasser kalkuliert werden. Für die Gewinnung dieser Wärme sind bei einem

angenommenen Jahresnutzungsgrad von 3,5 (inklusive Berücksichtigung von Netzverlusten) $Q_{el} = 173$ GWh/a Strom für die Wärmepumpen aufzuwenden.

Darüber hinaus kann ein Schätzwert für das bis 2027 realisierbare Potenzial angegeben werden. Vom Gesamtpotenzial ohne Wien von grob geschätzt $Q_{therm.} = 2.800$ GWh/a

- sollen 3 % in Szenario 1 realisiert werden. Das sind 60 GWh/a zuzüglich 24 GWh/a elektrischer Energieverbrauch für Wärmepumpen, somit 84 GWh/a Wärmepotenzial für die Gesamtanlage und
- in Szenario 2 sollen 6 % realisiert werden. Das sind 120 GWh/a zuzüglich 48 GWh/a elektrischer Energieverbrauch für Wärmepumpen, somit 168 GWh/a Wärmepotenzial für die Gesamtanlage.

Die Wiener Anlage, die bereits geplant ist, wird in beiden Szenarien diesen Werten noch hinzugerechnet.

Zusammenfassend ergeben sich somit folgende Energiepotenziale:

Elektrische Energiebilanz:

Szenario 1: minus 197 GWh pro Jahr (Stromaufwendung)

Szenario 2: minus 221 GWh pro Jahr (Stromaufwendung)

Thermische Energiebilanz:

Szenario 1: 697 GWh pro Jahr

Szenario 2: 781 GWh pro Jahr

5.6.3 Investitionskosten

Investitionskosten für die hier berücksichtigte geplante Wärmepumpenanlage bei der Hauptkläranlage Wien konnten nicht eruiert werden. Jedoch kann aus [Abwasserenergie, 2013 bis 2016] für solche Anlagen generell mit etwa 2.000 Euro/kW gerechnet werden. Die Abhängigkeit von der Wärmedichte und den damit verbundenen Kosten für eine Leitungserrichtung ist hoch. Dieser Kostenansatz beinhaltet ein Wärmenetz für eine

durchschnittliche Wärmedichte. Aufwände bei einer großen Entfernung zwischen Abwasser und Wärmenetz sind also nicht inkludiert. Als Untergrenze für eine wirtschaftliche Versorgung werden 900 kWh pro Laufmeter und Jahr (lfm.a) bezogen auf die gesamte Netzlänge angesetzt. Anlagen für die Nutzung ausschließlich im Nahbereich können hingegen um etwas über 1.000 Euro pro kW realisiert werden (vergleiche die Anlage in Amstetten).

Für die Umrechnung des ausgewiesenen Energiepotenzials in eine Anlagenleistung werden 3.000 Volllaststunden pro Jahr angenommen, was einer Versorgung eines gemischt genutzten Gebietes entspricht (keine reine Wohnnutzung, wo der Wert niedriger und somit wirtschaftlich ungünstiger wäre).

Damit ergeben sich folgende Investitionskosten:

Szenario 1: 465 Millionen Euro

Szenario 2: 521 Millionen Euro

5.6.4 Betriebskosten

Analog zu den Festlegungen bei Klärgas zur Stromerzeugung (Abschnitt 5.2.4) wird angenommen, dass ein Drittel des benötigten Stromes aus Eigenproduktion aufgebracht werden kann. Damit wird dann die Netzeinspeisung reduziert und zwei Drittel müssen zugekauft werden. Gegengerechnet werden die Erlöse aus dem Wärmeverkauf. Es wird weiters angenommen, dass die Wärme ausschließlich außerhalb von Kläranlagen genutzt wird.

Unter Anwendung der in Abschnitt 2.5 definierten spezifischen Kosten und Erlöse ergeben sich damit die jährlichen Energiekostenreduktionen wie folgt:

Szenario 1: 7,7 Millionen Euro pro Jahr

Szenario 2: 8,6 Millionen Euro pro Jahr

5.6.5 Treibhausgasbilanz

Ausgehend von den in Abschnitt 2.6 definierten Treibhausgasfaktoren ergeben sich die jährlichen Potenziale zur Reduktion von Treibhausgas-Emissionen (abzüglich der Emissionen durch den elektrischen Energieaufwand) wie folgt:

Szenario 1: 169.957 Tonnen pro Jahr

Szenario 2: 190.381 Tonnen pro Jahr

5.6.6 Arbeitsplatzeffekte

Die Arbeitsplatzeffekte, gemessen in Jahres-Vollzeitäquivalenten, ergeben sich basierend auf dem in Abschnitt 2.7 gegebenen Ansatz wie folgt:

Szenario 1: 2.323

Szenario 2: 2.603

5.7 Wärmenutzung aus Trink- und Nutzwasser

Trink- und Nutzwasser kann ebenso wie Abwasser, Außenluft, Erdreich, Grundwasser et cetera als Wärmequelle für ein Wärmepumpensystem dienen. Derartige Anlagen sind z. B. in der Schweiz vorhanden. In Österreich ist dies eine nicht übliche Form der Energiegewinnung.

5.7.1 Barrieren

Technische Barrieren:

Trink- und Nutzwasser kann im Winter sehr kalt sein. Durch die Wärmenutzung kommt es zu einer weiteren Abkühlung, wodurch einerseits die nutzbare Temperaturspanne eingeschränkt wird, andererseits bei den Wasserabnehmern ein Energiemehraufwand für Warmwasser notwendig wird.

Ökonomische Barrieren:

Voraussetzungen für einen ökonomischen Betrieb sind laut [BOKU Wien, 2012]:

- $Q_{\min} = 200 \text{ l/min}$
- Kontinuierlicher Wasserfluss
- Kein Fernwärmegebiet, keine Gebäude mit alternativen Heizanlagen (damit keine Konkurrenzsituation zu anderen nicht-fossilen Wärmequellen geschaffen wird)
- Normale oder tiefe Vorlauftemperaturen (30 °C bis 50 °C)
- Ein Wärmeleistungsbedarf von mindestens 150 kW
- Zwischen Wasserleitung und Wärmeabnehmer: 0,5 m je kW maximale Entfernung in bebautem Gebiet, bis 1 m je kW in unbebautem Gebiet

Sämtliche Investitionen in derartige Anlagen (Baumeisterarbeiten, Wärmetauscher, Wärmepumpe) sind relativ hoch.

Rechtliche Barrieren:

Keine

5.7.2 Energiepotenzial

Diese Option wird zwar in der Schweiz intensiv diskutiert und untersucht. In Österreich soll diese Möglichkeit aber nicht in Betracht gezogen werden.

Zum einen gibt es eine Vielzahl von Vorbedingungen (siehe oben). Darüber hinaus ist es fraglich, ob das Wasser weiter abgekühlt werden soll und ob diese Wärmenutzung nicht durch Mehrenergieverbrauch für die Warmwasserproduktion bei den Verbrauchern wieder egalisiert wird. Fraglich ist auch, ob eine niedrigere Kaltwassertemperatur akzeptiert wird. Zwar ist mit einem ausgleichenden Effekt mit steigender Fließstrecke nach der thermischen Nutzung zu rechnen; im Nahbereich der Nutzung, in der ja zwangsläufig auch Abnehmer existieren, ist dies aber nicht der Fall.

Da diese Option für Österreich nicht in Betracht gezogen wird, werden auch keine Investitionskosten, Betriebskosten, Treibhausgasbilanzen und Arbeitsplatzeffekte angegeben.

6 Zusammenfassung der Szenarienergebnisse

6.1 Energiepotenzial

Die folgende Tabelle fasst die Einspar- und Erzeugungspotenziale an elektrischer und thermischer Energie für alle betrachteten energetischen Beiträge in beiden Szenarien zusammen. Zuerst werden die Energieeinsparpotenziale dargestellt, danach die Energieerzeugungspotenziale. Das negative Vorzeichen (siehe elektrische Energie bei der thermischen Nutzung des Abwassers) bedeutet, dass für die Nutzbarmachung dieser thermischen Energie elektrische Energie für die Wärmepumpen aufgewendet werden muss.

Tabelle 2: Übersicht Energieeinsparpotenzial und Energieerzeugungspotenzial in den zwei untersuchten Szenarien

Potenzial in GWh/a	Szenario 1 elektrisch	Szenario 1 thermisch	Szenario 2 elektrisch	Szenario 2 thermisch
Pumpen Wasserversorgung	2 bis 12	-	4 bis 24	-
Pumpen Abwassernetz	5	-	10	-
Stromverbrauch Kläranlage (Belüftung, Pumpen Rührwerke)	21	-	56	-
Dämmung Faulturm	-	4	-	7
Klärgas Strom	30	-	60	-
Klärgas Wärme	-	3	-	7
Photovoltaik	66	-	132	-
Klärschlammverbrennung	-	84	-	168
Gesamtpotenzial ohne thermische Nutzung Abwasser	+124 bis 134	+91	+262 bis 282	+182
Thermische Nutzung Abwasser	-197	+697	-221	+781
Gesamtpotenzial mit thermischer Nutzung Abwasser	-73 bis -63	+788	+41 bis 61	+963

Anmerkung: Die energetischen Beiträge „Reduzierung Wassergehalt Klärschlamm vor dem Faulturm“, „Einhausung Kläranlagen“ und „Klärgas Einspeisung“ sind gemäß den Ausführungen in Kapitel 4 und 5 nicht quantifizierbar und scheinen daher in der Tabelle nicht auf.

Quelle: eigene Berechnungen

6.1.1 Einordnung des erzielbaren Energiepotenzials im Gesamtkontext

Die ausgewiesenen Potenziale zur Einsparung beziehungsweise Erzeugung elektrischer und thermischer Energie werden im Folgenden in Bezug zum derzeitigen Energieverbrauch innerhalb der Siedlungswasserwirtschaft gestellt, um deren Relevanz besser einordnen zu können.

6.1.1.1 Strom

Nach [Kretschmer et alii, 2021] beträgt der jährliche Stromverbrauch in Kläranlagen in Österreich 410 GWh/a. Derzeit werden etwa 228 GWh/a selbst aus Klärgas produziert.

Hinzu kommen Pumpen im Bereich der Wasserversorgung sowie im Abwassernetz, deren Verbrauch mit 177 GWh/a [ÖVGW, 2018] beziehungsweise 50 GWh/a abgeschätzt wird. In der Wasserversorgung werden 127 GWh/a [ÖVGW, 2018] selbst erzeugt (Lageenergie). Damit ergibt sich ein elektrischer Energieverbrauch in der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft von etwa 637 GWh/a, wovon 355 GWh/a selbst (aus nicht-fossilen Quellen) erzeugt werden, also eine elektrische Energiebilanz von minus 282 GWh/a.

In Szenario 1 zeigt sich durch den elektrischen Energiebedarf von Wärmepumpen, die zur thermischen Nutzung des Abwassers benötigt würden, eine negative elektrische Energiebilanz von minus 73 GWh/a bis minus 63 GWh/a (somit für die Siedlungswasserwirtschaft insgesamt minus 355 bis minus 345 GWh/a), in Szenario 2 eine positive Bilanz von 41 GWh/a bis 61 GWh/a (somit für die Siedlungswasserwirtschaft insgesamt minus 241 bis minus 221 GWh/a).

Lässt man jedoch den für die Wärmepumpen notwendigen Strom außer Acht (das heißt verzichtet man auf die Option einer verstärkten thermischen Nutzung des Abwassers), so ergibt sich in Szenario 1 eine positive elektrische Energiebilanz von 124 GWh/a bis 134 GWh/a. Daraus resultiert für die Siedlungswasserwirtschaft insgesamt eine elektrische Energiebilanz von minus 158 GWh/a bis minus 148 GWh/a.

Szenario 2 ergibt ohne thermische Nutzung des Abwassers eine ebenfalls positive Bilanz von 262 GWh/a bis 282 GWh/a. Dadurch würde sich für die Siedlungswasserwirtschaft gesamt eine elektrische Energiebilanz von minus 20 GWh/a bis 0 GWh/a ergeben.

Im Folgenden ist die beschriebene Bilanz in Tabellenform dargestellt.

Tabelle 3: Energiebilanz zum Stromverbrauch in der Siedlungswasserwirtschaft derzeit

Stromverbrauch derzeit	Verbrauch in GWh/a
Pumpen Wasserversorgung	-177
Pumpen Abwassernetz	-50
Stromverbrauch Kläranlage (Belüftung, Pumpen Rührwerke)	-410
Gesamt	-637

Tabelle 4: Energiebilanz zur Stromerzeugung in der Siedlungswasserwirtschaft derzeit

Stromverbrauch derzeit	Verbrauch in GWh/a
Pumpen Wasserversorgung	-177
Pumpen Abwassernetz	-50
Stromverbrauch Kläranlage (Belüftung, Pumpen Rührwerke)	-410
Gesamt	-637

Das ergibt derzeit minus 282 GWh pro Jahr.

Tabelle 5: Änderung der elektrischen Energiebilanz in den beiden Szenarien

Zusätzlich mögliche Stromerzeugung	Szenario 1 in GWh/a	Szenario 2 in GWh/a
Ohne thermische Nutzung Abwasser	124 bis 134	262 bis 282
Inklusive Stromverbrauch für thermische Nutzung Abwasser	-73 bis -63	41 bis 61
Elektrische Energiebilanz ohne thermische Nutzung Abwasser	-158 bis -148	-20 bis 0
Elektrische Energiebilanz abzüglich Strom für thermische Nutzung Abwasser	-355 bis -345	-241 bis -221
Ohne thermische Nutzung Abwasser	124 bis 134	262 bis 282

6.1.1.2 Wärme

Der Wärmeverbrauch in der Siedlungswasserwirtschaft konzentriert sich auf Kläranlagen und hier auf Anlagen mit Faulung. Im Gegensatz zur Datenlage bezüglich des elektrischen Energieverbrauchs in der Siedlungswasserwirtschaft ist über den Wärmeverbrauch nur wenig bekannt. In [Lindtner, 2008] ist eine Bandbreite von 0 kWh/(EW.a) bis 30 kWh/(EW.a) angegeben, wobei für Anlagen mit Faulung, die einen Großteil der Abwässer klären, der obere Bereich anzusetzen ist. Setzt man einen mittleren Wert von 20 kWh/(EW.a) an, so erhält man mit etwa 15 Millionen EW [BMLRT, 2020] einen jährlichen thermischen Energieverbrauch von 300 GWh/a. Nach den Betrachtungen in Abschnitt 5.3.2 liegt die Wärmeerzeugung bei etwa 330 GWh/a. Jedoch liegt der Schwerpunkt des Verbrauchs im Winter, weshalb im Sommer nicht nutzbare Überschüsse

auftreten. Es kann grob angenommen werden, dass etwa ein Viertel der benötigten Wärme (80 GWh/a), gemäß Annahme dieses Berichtes als Erdgas (bei einem Nutzungsgrad des Wärmeerzeugungsprozesses von 80 % sind dies 100 GWh/a Erdgas), zugekauft werden muss. Diese Bilanz würde sich vor allem mit der thermischen Nutzung des Abwassers, aber auch durch verstärkte thermische Nutzung des Klärschlammes, die beide außerhalb der Kläranlage nutzbar sind, massiv verändern. In Szenario 1 ergibt sich mit dem thermischen Ertrag von 788 GWh/a ein Überschuss von 708 GWh/a und in Szenario 2 mit einem Ertrag von 963 GWh/a ein Überschuss von 883 GWh/a.

Tabelle 6: Thermische Energiebilanz in der Siedlungswasserwirtschaft derzeit

Thermische Energiebilanz	in GWh/a
Thermischer Energieverbrauch derzeit	-300
Davon Eigenerzeugung aus Klärgas	+220
Davon Fremdbezug aus Erdgas	-80

Als Berechnungsgrundlage für den Fremdbezug wird Erdgas angenommen; teilweise kommen jedoch auch andere Energieträger wie z. B. Biomasse, Heizöl et cetera zum Einsatz.

Tabelle 7: Änderung der thermischen Energiebilanz – erste Betrachtung

Zusätzlich mögliche Wärmeerzeugung	Szenario 1 in GWh/a	Szenario 2 in GWh/a
Ohne thermische Nutzung Abwasser	91	182
Inklusive thermische Nutzung Abwasser	788	963

Tabelle 8: Änderung der thermischen Energiebilanz – zweite Betrachtung

Überschuss der thermischen Energiebilanz in den Szenarien bei Substituierung von Wärme aus Erdgas	Szenario 1 in GWh/a	Szenario 2 in GWh/a
Ohne thermische Nutzung Abwasser	11	102
inklusive thermische Nutzung Abwasser	708	883

6.2 Investitionskosten

Die folgende Tabelle fasst die zu erwartenden Investitionskosten in der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft zusammen, wenn die in den Szenarien 1 und 2 errechneten Einspar- und Erzeugungspotenziale an elektrischer und thermischer Energie umgesetzt werden.

Tabelle 9: Berechnete Investitionskosten für die österreichische Siedlungswasserwirtschaft in den beiden Szenarien

Potenzial	Szenario 1 in Millionen Euro	Szenario 2 in Millionen Euro
Pumpen Wasserversorgung	26	51
Pumpen Abwassernetz	20	41
Dämmung Faulturm	18	35
Klärgas Strom	19	23
Klärgas Wärme	2	5
Photovoltaik	64	128
Klärschlammverbrennung	0	0
Gesamt ohne thermische Nutzung Abwasser	149	283
Thermische Nutzung Abwasser	465	521
Gesamt	614	804

Anmerkung: Die energetischen Beiträge „Stromverbrauch Kläranlage (Belüftung, Pumpen Rührwerke)“, „Reduzierung Wassergehalt Klärschlamm vor dem Faulturm“, „Einhausung Kläranlagen“ und „Klärgas Einspeisung“ sind gemäß den Ausführungen in Kapitel 4 und 5 nicht quantifizierbar und scheinen daher in der Tabelle nicht auf.

Quelle: eigene Berechnungen

6.3 Betriebskosten

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die erzielbaren Betriebskostenreduktionen (= Energiekostenreduktionen) in den beiden Szenarien, wobei Erlöse durch gestiegenen Strom- und Wärmeverkauf miteingerechnet wurden. Diese Reduktionen werden durch ein Minuszeichen symbolisiert. Wenn sich innerhalb der Siedlungswasserwirtschaft Mehrkosten ergeben, steht ein Pluszeichen.

Tabelle 10: Berechnetes Einsparpotenzial an energiebezogenen Betriebskosten beziehungsweise Erlöse aus Strom- und Wärmeverkauf für die österreichische Siedlungswasserwirtschaft in den beiden Szenarien

Einsparpotenzial	Szenario 1 in Millionen Euro pro Jahr	Szenario 2 in Millionen Euro pro Jahr
Pumpen Wasserversorgung	-0,2 bis -1,4	-0,5 bis -2,8
Pumpen Abwassernetz	-0,6	-1,2
Stromverbrauch Kläranlage (Belüftung, Pumpen Rührwerke)	-2,5	-6,6
Dämmung Faulturm	-0,2	-0,4
Klärgas Strom	-3,1	-6,1
Klärgas Wärme	-0,1	-0,3
Photovoltaik	-6,8	-13,5
Klärschlammverbrennung	+1,9	+3,9
Gesamt ohne thermische Nutzung Abwasser	-11,6 bis -12,8	-24,7 bis -7,0
Thermische Nutzung Abwasser	-7,7	-8,6
Gesamt	-19,3 bis -20,5	-33,3 bis -35,6

Anmerkung: Die energetischen Beiträge „Reduzierung Wassergehalt Klärschlamm vor dem Faulturm“, „Einhausung Kläranlagen“ und „Klärgas Einspeisung“ sind gemäß den Ausführungen in Kapitel 4 und 5 nicht quantifizierbar und scheinen daher in der Tabelle nicht auf.

Quelle: eigene Berechnungen

6.4 Treibhausgasemissionen

Die Realisierung der Energieeinsparungs- und Energieerzeugungspotenziale führt durch einen reduzierten Einsatz von extern bezogenem elektrischem Strom beziehungsweise Erdgas (für Wärmezwecke) zu verminderten Treibhausgasemissionen. Bei Netzeinspeisung zur externen Nutzung von Strom und Wärme kommt es zu verminderten Emissionen bei anderen Energieverbrauchern. Diese Potenziale werden in untenstehender Tabelle zusammengefasst.

Tabelle 11: Berechnetes Potenzial zur Reduzierung von Treibhausgas-Emissionen für die österreichische Siedlungswasserwirtschaft

Potenzial	Szenario 1 in Tonnen pro Jahr	Szenario 2 in Tonnen pro Jahr
Pumpen Wasserversorgung	-454 bis -2.724	-908 bis -5.448
Pumpen Abwassernetz	-1.135	-2.270
Stromverbrauch Kläranlage (Belüftung, Pumpen Rührwerke)	-4.767	-12.712
Dämmung Faulturm	-540	-1.081
Klärgas Strom	-6.810	-13.620
Klärgas Wärme	-924	-2.156
Photovoltaik	-14.982	-29.964
Klärschlammverbrennung	-25.872	-51.744
Gesamt ohne thermische Nutzung Abwasser	-55.484 bis -57.754	-114.455 bis -118.995
Thermische Nutzung Abwasser	-169.957	-190.381
Gesamt	-225.441 bis -227.711	-304.836 bis -309.376

Anmerkung: Die energetischen Beiträge „Reduzierung Wassergehalt Klärschlamm vor dem Faulturm“, „Einhausung Kläranlagen“ und „Klärgas Einspeisung“ sind gemäß den Ausführungen in Kapitel 4 und 5 nicht quantifizierbar und scheinen daher in der Tabelle nicht auf.

Quelle: eigene Berechnungen

6.4.1 Einordnung der erzielbaren Einsparungen von Treibhausgas-Emissionen im Gesamtkontext

Die ausgewiesenen Reduktionspotenziale werden im Folgenden in Bezug zu den Gesamt-Treibhausgasemissionen innerhalb der Siedlungswasserwirtschaft gebracht, um die Relevanz der möglichen Einsparungen besser darstellen zu können. Eine Unterscheidung in Strom und Wärme ist hier nicht zu treffen, da es um eine Gesamtemissionsbilanz für die Siedlungswasserwirtschaft geht.

Gemäß Klimaschutzbericht 2020 des Umweltbundesamts [UBA, 2021] lag der Treibhausgasausstoß in der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft bei 21.000 Tonnen CO₂-Äquivalente aus Methan und 168.000 Tonnen CO₂-Äquivalente aus Lachgas. Der mit dem Bedarf an elektrischer und thermischer Energie verbundene Treibhausgasausstoß wird bei dieser Berechnung nach [IPCC, 2006] allerdings nicht der Siedlungswasserwirtschaft, sondern dem Sektor Energie zugeordnet, weshalb auch Verbesserungmaßnahmen in diesem Bereich nicht der Siedlungswasserwirtschaft gutgeschrieben würden.

Gemäß [Kretschmer et alii, 2021] könnte sich der Anteil der CO₂-Äquivalente aus Methan bei Anwendung der Berechnungsvorgaben nach IPCC 2019 Refinement anstatt der aktuell angewendeten Methode nach IPCC 2006 noch deutlich erhöhen.

Der Netto-Stromverbrauch (also abzüglich Eigenerzeugung) in der Siedlungswasserwirtschaft beträgt 282 GWh/a und teilt sich folgendermaßen auf:

- 410 GWh/a auf Kläranlagen abzüglich der Eigenerzeugung von 228 GWh/a [Kretschmer et alii, 2021]
- 177 GWh/a in der Wasserversorgung abzüglich der Eigenerzeugung von 127 GWh/a [ÖVGW, 2018]
- 50 GWh/a im Kanalnetz (basierend auf [Aqua & Gas, 2014])

Gemäß den Annahmen in Abschnitt 2.6 entspricht das 64.014 Tonnen CO₂-Äquivalente.

Der Wärmebedarf von 80 GWh/a, der nicht aus Klärgas gedeckt wird (somit gemäß den Annahmen in Abschnitt 2.6 100 GWh/a Erdgas aufgrund des Nutzungsgrades von 80 %) entspricht 24.700 Tonnen CO₂-Äquivalente.

Insgesamt ergibt sich somit ein Treibhausgasausstoß von 277.714 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr in der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft.

Die möglichen Treibhausgas-Einsparungen durch Reduktion des Energieverbrauchs einerseits und Energieerzeugung andererseits (mit thermischer Nutzung des Abwassers) liegen im selben Bereich: In Szenario 1 sind es 225.441 Tonnen bis 227.711 Tonnen und in Szenario 2 304.836 Tonnen bis 309.376 Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr.

Ohne thermische Nutzung des Abwassers ergeben sich Einsparungen von 55.484 Tonnen bis 57.754 Tonnen CO₂-Äquivalente in Szenario 1 beziehungsweise 114.455 Tonnen bis 118.995 Tonnen CO₂-Äquivalente in Szenario 2.

Damit ergibt sich inklusive einer thermischen Abwassernutzung in der Gesamtbilanz der Siedlungswasserwirtschaft pro Jahr ein Treibhausgasausstoß von 50.003 Tonnen bis 52.273 Tonnen CO₂-Äquivalente in Szenario 1 beziehungsweise minus 31.662 Tonnen bis minus 27.122 Tonnen CO₂-Äquivalente in Szenario 2. In Szenario 2 ist es damit sogar möglich, die Siedlungswasserwirtschaft insgesamt zu einer Treibhausgassenke zu machen.

Dies ist ohne thermische Nutzung des Abwassers nicht möglich. Hier erhält man pro Jahr einen Treibhausgasausstoß von 219.960 Tonnen bis 222.230 Tonnen CO₂-Äquivalente in Szenario 1 beziehungsweise 158.719 Tonnen bis 163.259 Tonnen CO₂-Äquivalente in Szenario 2.

Tabelle 12: Treibhausgasemissionen der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft, Stand 2019

Treibhausgasbilanz derzeit	In Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr
Aus Methan	21.000
Aus Lachgas	168.000
Durch elektrischen Energieverbrauch	64.014
Durch thermischen Energieverbrauch	24.700
Gesamt derzeit	277.714

Tabelle 13: Treibhausgasemissionen der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft - zusätzlich mögliche Einsparungen

Zusätzlich mögliche Einsparung in Tonnen CO ₂ -Äquivalent/a	Szenario 1	Szenario 2
Ohne thermische Nutzung Abwasser	-55.484 bis -57.754	-114.455 bis -118.995
Inkl. thermische Nutzung Abwasser	-225.441 bis -227.711	-304.836 bis -309.376

Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 14: Treibhausgasbilanz der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft bei Realisierung der quantifizierbaren energetischen Beiträge

Zusätzlich mögliche Einsparung in Tonnen CO ₂ -Äquivalent/a	Szenario 1	Szenario 2
Ohne thermische Nutzung Abwasser	222.230 bis 219.960	163.259 bis 158.719
Inkl. thermische Nutzung Abwasser	52.273 bis 50.003	-27.122 bis -31.662

Quelle: eigene Berechnungen

6.5 Inländische Arbeitplatzeffekte

Besonders bedeutsam für die österreichische Wirtschaft sind auch die mit den skizzierten Investitionen verbundenen Arbeitplatzeffekte. Basierend auf der Feststellung (siehe Abschnitt 2.7 beziehungsweise [BMK, 2020]), dass eine Nettoinvestitionssumme von 1 Million Euro fünf Vollzeit Arbeitsplätze über ein Jahr generiert, können die Arbeitplatzeffekte abgeschätzt werden, wie in der folgenden Tabelle angegeben.

Tabelle 15: Erwartete inländische Arbeitsplatzeffekte in Jahresvollzeitäquivalenten basierend auf den Investitionskosten

Potenzial	Szenario 1 in Jahresvollzeitäquivalenten	Szenario 2 in Jahresvollzeitäquivalenten
Pumpen Wasserversorgung	128	256
Pumpen Abwassernetz	102	204
Dämmung Faulturm	88	177
Klärgas Strom	95	115
Klärgas Wärme	10	23
Photovoltaik	321	642
Gesamt ohne thermische Nutzung Abwasser	744	1.417
Thermische Nutzung Abwasser	2.323	2.603
Gesamt	3.067	4.020

Anmerkung: Die energetischen Beiträge „Stromverbrauch Kläranlage (Belüftung, Pumpen Rührwerke)“, „Reduzierung Wassergehalt Klärschlamm vor dem Faulturm“, „Einhausung Kläranlagen“, „Klärschlammverbrennung“ und „Klärgas Einspeisung“ sind gemäß den Ausführungen in Kapitel 4 und 5 nicht quantifizierbar und scheinen daher in der Tabelle nicht auf.

7 Weitere energie- und emissionsrelevante Aspekte

Die folgenden Aspekte sind nicht Teil der Quantifizierung in Form von Szenarien, sie stellen jedoch wichtige zu ergänzende Aspekte dar, die allesamt einen starken Bezug zu Energieverbrauch oder zu Treibhausgasemissionen in der Siedlungswasserwirtschaft haben. Die Betrachtungen erfolgen hier zum Teil nur qualitativ beziehungsweise werden keine Veränderungen bis 2027 oder für einen anderen Zeitraum angesetzt.

7.1 Detailbetrachtung thermische Abwassernutzung

Da sich gezeigt hat, dass die thermische Nutzung des Abwassers innerhalb der Siedlungswasserwirtschaft den bei weitem größten energetischen Beitrag zur Erreichung der Klimaziele darstellt, wird diese einer genaueren ökologischen und wirtschaftlichen Analyse unterzogen. Dabei wird nicht nur das bis 2027 als realisierbar bewertete Potenzial, sondern das gesamte Potenzial von 3.200 GWh/a aus den Abläufen der österreichischen Kläranlagen und 200 GWh/a aus den Kanälen zu Grunde gelegt. Dabei wird angenommen, dass dieses Potenzial bis 2040 realisierbar ist.

Daraus ergeben sich folgende zwei zu vergleichende Fälle:

Szenario „Abwasserenergie“:

3.400 GWh/a Wärme werden aus Abwasser inklusive elektrischer Antriebsenergie für Wärmepumpen bereitgestellt. Dafür werden $3.400 / 3,5 \text{ GWh/a} = 971 \text{ GWh/a}$ elektrischer Strom benötigt, der Rest ist Wärme aus dem Abwasser. Dabei werden 10 % Leitungsverluste in Nah- und Fernwärmenetzen angenommen (die meiste Energie wird nicht auf der Kläranlage benötigt, sondern extern genutzt), sodass 3.060 GWh/a an den Hausübergabestationen ankommen.

Szenario „Gastherme“:

In diesem Szenario werden die 3.060 GWh/a Wärme, die aus der thermischen Nutzung des Abwassers generierbar sind, aus Erdgas bereitgestellt. Dafür werden $3.060 / 0,8 \text{ GWh/a} = 3.825 \text{ GWh/a}$ Erdgas benötigt.

7.1.1 Ökologische Analyse

Im Jahr 2040 wird nach Regierungsziel der größte Teil der österreichischen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen stammen. Zudem ist das Ziel bereits für 2030, bilanziell über das Jahr keine Stromimporte mehr zu benötigen. Damit ergeben sich gegenüber dem derzeitigen Strommix deutlich reduzierte Treibhausgas-Emissionen pro kWh elektrische Energie.

Auf Basis von [AIT, TU Wien, 2019] hat die Österreichische Energieagentur für 2040 einen THG-Emissionsfaktor von in Österreich verbrauchtem Strom von 32 g/kWh errechnet. Aufgrund technologischer Weiterentwicklungen sowie der Klimaerwärmung wäre eine Erhöhung der Jahresarbeitszahl von Wärmepumpen bis 2040 gegenüber den für 2021 angenommen 3,5 argumentierbar. Diese wird aber, um auf der sicheren Seite zu sein, bei 3,5 belassen. Damit werden $3.400 / 3,5 \text{ GWh/a} = 971 \text{ GWh/a}$ Strom benötigt.

Der THG-Emissionsfaktor für Erdgas wird als konstant angenommen und verbleibt damit bei 247 g/kWh.

Szenario „Abwasserenergie“:

Die Treibhausgasemissionen betragen 31.085 Tonnen pro Jahr.

Szenario „Gastherme“:

Die Treibhausgasemissionen betragen 944.775 Tonnen pro Jahr.

7.1.2 Wirtschaftliche Analyse

Für die ökonomische Betrachtung müssen sämtliche Kostenansätze mit einem Preissteigerungsfaktor zwischen 2021 und 2040 beaufschlagt werden. Für elektrischen Strom (Bezug und Einspeisung), Wärmeeinspeisung und Erdgas (als Referenzquelle zur Wärmeerzeugung) wird dieser (in Anlehnung an ÖNORM M 7140, die hier jeweils Werte knapp über oder unter 3 % pro Jahr vorsieht) mit 3 % pro Jahr angenommen, ebenso wie für die Investitionskosten. Da die Preisbasis aus 2021 stammt, ergibt sich bis 2040 eine Preissteigerung von $1,0319 - 1 = 75 \%$. Zusätzlich wird noch ein CO₂-Preis von 55 Euro pro Tonne zu Grunde gelegt (ohne Preissteigerungsfaktor). Bei den Investitionskosten ist eine Betrachtung ausschließlich innerhalb der Siedlungswasserwirtschaft nicht sinnvoll, weil die definierte Alternative, die Beheizung von Wohnungen mit Gasthermen, außerhalb der Siedlungswasserwirtschaft aufschlägt. Daher muss hier ein Ansatz gewählt werden, der auch in anderen Bereichen auftretende Investitionskosten miteinschließt.

Szenario „Abwasserenergie“

- **Investitionskosten** betragen gemäß Preissteigerungsfaktor im Jahr 2040 Euro 3.500/kW. Bei angenommenen 3.000 Volllaststunden pro Jahr weisen diese Anlagen insgesamt eine Nennleistung von 1.130 MW auf. Daraus ergeben sich Investitionskosten von 3.955,0 Millionen Euro.
- **Energiekosten:** Es wird weiterhin angenommen, dass ein Drittel des benötigten Stromes aus Eigenproduktion aufgebracht werden kann und damit die Netzeinspeisung reduziert wird und zwei Drittel des benötigten Stroms zugekauft werden müssen.
 - Verminderte Einspeisung von Strom: 324 GWh/a zu Euro 0,1225/kWh ergibt 39,7 Millionen Euro pro Jahr
 - Bezug Netzstrom: 647 GWh/a zu Euro 0,2072/kWh ergibt 134,1 Millionen Euro pro Jahr
 - Erlöse Wärme: 3.060 GWh/a (bei 10 % Netzverlusten) zu 0,0700/kWh ergibt 214,2 Millionen Euro pro Jahr
- **CO₂-Preis:** 1,71 Millionen Euro pro Jahr

Szenario „Gastherme“

- **Investitionskosten:** In diesem Szenario werden 306.000 Wohnungen mit einem Heizwärmebedarf inklusive Warmwasserwärmebedarf von 10.000 kWh/a mit Erdgasthermen ausgestattet (Austausch im Bestand – eine Installation im Neubau ist voraussichtlich bald nicht mehr zulässig). Derzeit werden inklusive Kaminsanierung und Erstellung von Rauchfangbefunden etwa 6.500 Euro pro Thermentausch veranschlagt. Daher werden 11.375 Euro für das Jahr 2040 erwartet. Daraus ergeben sich insgesamt Installationskosten von 3.480,7 Millionen Euro.
- **Energiekosten:** 3.825 GWh/a Erdgas zu je Euro 0,0674/kWh ergibt 257,8 Millionen Euro/a
- **CO₂-Preis:** 52,0 Millionen Euro/a

Ein Vollkostenvergleich ist in diesem Fall nicht möglich, da die Kosten für unterschiedliche Gruppen anfallen. Der CO₂-Preis fällt im Bereich der Energieerzeugung an. Die Kosten für Erdgasthermen für die einzelnen Haushalte beziehungsweise Gebäudeeigentümer und die Erlöse aus Wärme kommen z. B. Kläranlagen zugute, dafür fallen in Haushalten aber wiederum Kosten an et cetera. Jedoch wird im Folgenden die Situation für Haushalte skizziert.

7.1.3 Wirtschaftliche Analyse für Haushalte

Im Szenario „Gastherme“ ist zu erwarten, dass die vollen Installationskosten von 3.480,7 Millionen Euro von den Haushalten zu tragen sein werden. Bei den Energiekosten ist anzunehmen, dass die Energieversorger auch die Kosten für CO₂ an die Endkunden weitergeben. Somit ergeben sich jährliche laufende Kosten von 309,8 Millionen Euro. Unter der Annahme einer 20-jährigen Nutzungsdauer sind anteilig 174,0 Millionen Euro Investitionskosten pro Jahr anzusetzen. Somit ergeben sich für das Szenario „Gastherme“ jährliche Kosten von 483,8 Millionen Euro.

Im Szenario „Abwasserenergie“ hingegen fallen die Investitionskosten nicht direkt bei den Haushalten an. Hier kann nur ein Energiepreis angesetzt werden, der sich einerseits aus dem angenommenen Einspeisetarif für Wärme (der an die Kläranlagen fließt) und den umgelegten Investitionskosten für die Netzerichtung zusammensetzt. Wartungskosten für das Netz werden vernachlässigt. Bei Gleichsetzung der Inflationsrate mit der Verzinsung und einer Amortisationszeit (Lebensdauer) von 20 Jahren müssen die Investitionskosten von Euro 3.500.- pro kW durch den Verkauf von 3.000 (jährliche Volllaststunden) mal 20 (Jahre) mal 0,9 (Nutzungsgrad Netz) ergibt 54.000 kWh Wärme kompensiert werden. Damit ergibt sich ein Aufschlag auf den Wärmeeinspeisepreis von Euro 0,0648/kWh und somit ein Wärmepreis von Euro 0,1348/kWh. Für 3.060 GWh/a ergeben sich dadurch jährliche laufende Kosten von Euro 412,5 Millionen. Diese laufenden Kosten sind somit um Euro 71,3 Millionen pro Jahr geringer als im Szenario „Gastherme“.

Bei einer angenommenen Lebensdauer von 20 Jahren ergibt sich daraus ein Vorteil für die Abwasserwärmenutzung von Euro 1.426,7 Millionen im Vergleich zum Szenario „Gastherme“.

Zwar ist mittel- und langfristig die Zulässigkeit der Installation von Gasthermen fraglich, jedoch kann diese Berechnung auch als Analyse der Wirtschaftlichkeit des Ausstiegs aus fossilen Energieträgern betrachtet werden.

7.2 Vierte Reinigungsstufe für Kläranlagen

Zukünftig könnte in Kläranlagen eine vierte Reinigungsstufe erforderlich werden (z. B. Ozonierung). Ohne Berücksichtigung der zusätzlich notwendigen Pumpenergie (welche auch einen wesentlichen, aber sehr standortspezifischen Faktor darstellt) beträgt der zusätzliche elektrische Energieaufwand für Ozonierung für eine Kläranlage mit 30.000 EW

etwa 6,3 kWh/(EW.a) bis 7,3 kWh/(EW.a) [Kretschmer et alii, 2021], [Müller et alii, 2021]. Dieser Wert hängt vor allem von der Konzentration des gelösten organischen Kohlenstoffs ab.

Angenommen, dass nur bei größeren Kläranlagen eine vierte Reinigungsstufe zur Anwendung kommt, dann würde sich der Energieaufwand für Kläranlagen ab 50.000 EW folgendermaßen erhöhen (vergleiche Zielwerte aus Abschnitt 4.3.2):

- Ohne Faulung von derzeit 30 kWh/(EW.a) auf 36,3 bis 37,3 kWh/(EW.a)
- Mit Faulung von derzeit 20 kWh/(EW.a) auf 26,3 bis 27,3 kWh/(EW.a)

Weiters ist mit einer erhöhten Pumpenergie zu rechnen.

7.3 Lageenergie durch Trinkwasserkraftwerke

Erfahrungen zeigen, dass eine Nutzung von Höhendifferenzen in der Trinkwasserversorgung ab 100 Meter Fallhöhe und 5 l/s für elektrische Energieerzeugung (Trinkwasserkraft) sinnvoll sein kann. Laut [ÖVGW, 2018] beträgt die Stromerzeugung aus Trinkwasser-Kraftwerken in Österreich 127 GWh im Jahr. Damit wird übrigens ein Großteil des elektrischen Energieverbrauchs in der Wasserversorgung von 177 GWh pro Jahr [ÖVGW, 2018] selbst gedeckt. Ein weiterer Ausbau wird hier nicht angesetzt.

7.4 Lachgas- und Methanverluste sowie der Anteil an nicht biogenem, fossilem organischem Kohlenstoff in Abwässern

Abgesehen von den energieverbrauchsbezogenen CO₂-Emissionen fallen im Sektor Abwasserbehandlung auch vergleichsweise große Treibhausgasemissionen durch Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) an. Dies ist problematisch, da Methan etwa 25 Mal und Lachgas sogar rund 300 Mal so klimaschädlich ist wie Kohlendioxid (CO₂). In [UBA, 2021] ist der Trend der Methan- und Lachgasemissionen von 1990 bis 2018 dargestellt. Während die Methanemissionen durch die geringer werdende Anzahl an Senkgruben von 120.000 auf 21.000 Tonnen CO₂-Äquivalente zurückgegangen sind, sind die Lachgasemissionen aufgrund des seit Anfang der 1990er-Jahre laufenden kostenaufwendigen Ausbaus der Kläranlagen zur Stickstoffentfernung seither von 96.000 Tonnen auf 168.000 Tonnen CO₂-

Äquivalente gestiegen (das sind circa 5 % der gesamten österreichischen Lachgasemissionen).

Der Anstieg geht weiters auf die deutliche Erhöhung des Anschlussgrades von rund 71 % im Jahr 1990 auf derzeit rund 96 % an kommunale Kläranlagen und den gestiegenen Abwasseranfall, im Wesentlichen getrieben durch eine etwa 15%-ige Bevölkerungszunahme, zurück. Lachgas entsteht in der Kläranlage durch Stoffwechselprozesse der Mikroorganismen im Rahmen der Stickstoffentfernung über Nitrifikation und Denitrifikation (wobei erstere für das Entstehen von Lachgas bedeutender sein dürfte).

Nach derzeitigem Stand der Technik ist die Stickstoffentfernung in Kläranlagen alternativlos. Ansätze zur Reduktion der Emissionen sind großteils sehr kostenintensiv [BMLFUW, 2015]. Zum einen kann eine noch effizientere Denitrifikation als bisher die Lachgasemissionen reduzieren. Zum anderen hilft eine niedrigere Belastung der Kläranlage (Auslegung der Kläranlage auf höheres Schlammalter), was allerdings eine deutliche Vergrößerung der meisten Belebungsbecken in den Kläranlagen erfordern und damit sehr hohe Kosten verursachen würde.

Eine relativ einfache Strategie stellt in diesem Zusammenhang die Anpassung der Belüftungsintervalle dar, derart, dass Ammonium-Peaks vermindert werden, welche zu besonders hohen Lachgasemissionen führen. Die Abkühlung des Abwassers, z. B. für Heizzwecke, kann speziell bei besonders niedrigen Abwassertemperaturen (bei denen eine thermische Nutzung ohnehin oft unwirtschaftlich ist) zu einer Erhöhung der Lachgasemissionen führen, was bei der Konzipierung einer solchen Anlage mitzubedenken ist.

Nach [IPCC, 2006] werden bei der Treibhausgasinventur Methanverluste nur bei Senkgruben angesetzt. Gemäß dem noch nicht beschlossenen IPCC 2019 Refinement [IPCC, 2019] müssten auch Methanverluste im Kanal und auf der Kläranlage angesetzt werden, woraus sich ein deutlich höherer Wert für Methanemissionen ergeben würde. Erste grobe Abschätzungen gehen von einer Verzehnfachung des derzeitigen Wertes aus [Kretschmer et alii, 2021].

Die IPCC-Leitlinien von 2006 gehen weiters davon aus, dass organischer Kohlenstoff in Abwässern aus biogenen organischen Stoffen besteht. Daher werden die CO₂-Emissionen aus der Abwasserbehandlung als rein biogene Emissionen betrachtet, die zu keiner

Treibhausgaserhöhung führen. Die seit den IPCC-Leitlinien 2006 gewonnenen Daten deuten allerdings gemäß Anhang 6A 1. IPCC 2019 Refinement darauf hin, dass Abwasser auch eine nicht unbedeutende Menge an nicht biogenem fossilem Kohlenstoff enthält, der entsprechend in der Treibhausgasberechnung berücksichtigt werden müsste. IPCC-Berechnungsvorgaben dazu liegen allerdings noch nicht vor.

7.5 Wertstoffe im Abwasser

Wertstoffe wie Kohlenstoff, Stickstoff und Phosphor oder z. B. auch Zellstoff sind im Abwasser in großen Mengen vorhanden. Dies ist deswegen energie- und treibhausgasrelevant, weil die Gewinnung dieser Stoffe aus den natürlichen Lagerstätten neben Umweltproblemen auch mit hohen Energieaufwänden und folglich auch mit Treibhausgasemissionen verbunden ist.

Phosphor wird z. B. durch Monoverbrennung des Klärschlammes nutzbar. Bei Mitverbrennung mit anderen brennbaren Stoffen ist die Konzentration in der Asche zu gering, um wirtschaftlich nutzbar zu sein. Selbst bei Monoverbrennung ist bei den derzeitigen Phosphorpreisen auf den Weltmärkten (noch) keine wirtschaftliche Rückgewinnung möglich.

Der meiste Klärschlamm wird aber derzeit entweder mitverbrannt oder gar nicht verbrannt. Bei landwirtschaftlicher Verwertung wird dieser Phosphor dem Boden wieder zurückgegeben, allerdings ist diese Verwertungsart aus anderen Gründen (aufgrund verschiedener problematischer Inhaltsstoffe des Abwassers, die in den Klärschlamm übergehen) umstritten und wird teilweise eingeschränkt oder ist gänzlich verboten.

Verfahren wie Luftstrippung, Membrandestillation zur Stickstoffgewinnung oder Magnesium-Ammonium-Phosphat-Fällung zur Phosphorgewinnung sind in einzelnen Pilotanlagen im Einsatz [BMVIT, 2018]. Diese Verfahren können in Zukunft bei steigenden Rohstoffpreisen an Bedeutung gewinnen.

7.6 Energieoptimierte Abwasserreinigung

Einige Konzepte zielen darauf ab, Kläranlagen so zu planen und zu betreiben, dass sie ein Maximum an Klärgas und damit an Energie erzeugen können. Das kann z. B. durch die

Gewinnung von möglichst viel Primärschlamm für den Faulturm sein, indem Siebfilter vor der Belebung eingesetzt werden. Damit wird der Energieaufwand für die Abwasserreinigung reduziert. Dieses Konzept wurde etwa im EU-Projekt Powerstep in der Praxis untersucht [Powerstep, 2015 bis 2018]. Die technischen Möglichkeiten zur Energieoptimierung sind vielfältig und werden im Rahmen dieses Forschungsprojektes zum Teil bereits im regulären Betrieb von Kläranlagen eingesetzt. Die wichtigsten Möglichkeiten werden im Folgenden beschrieben:

- Mittels Filtrationsverfahren kann ein Teil der organischen Stoffe im Abwasser bereits im Kläranlagenzulauf herausgefiltert und in den Faulturm geleitet werden. Dies spart Belüftungsenergie in den Belebungsbecken.
- Das neuartige Verfahren der anaeroben Ammoniumoxidation im Abwasser-Hauptstrom mit vorgeschalteter Mikrosiebung zur Stickstoffentfernung erlaubt es, ohne Kohlenstoffquelle auszukommen. Im Großversuch wurden zweistufige und einstufige Konzepte des Prozesses erfolgreich erprobt und auch unter schwierigen Randbedingungen wie geringer Temperatur und verdünntem Abwasser optimiert.
- Der Stickstoff kann alternativ auch durch Rückführung von Trübwasser und Einsatz von Polymeren aus dem Abwasser entfernt werden.
- In einer weiteren Fallstudie wurde ein biologisches Verfahren zur Umwandlung von CO₂ in Biomethan realisiert. Mit einem 600 kW-Elektrolyseur wird Wasserstoff erzeugt, der von speziellen Bakterien mit CO₂ zu Biomethan umgesetzt wird. Kläranlagen können damit überschüssigen Netzstrom in Biomethan umwandeln und speichern (Power-to-Gas).

Darüber hinaus wurde auch gezeigt, dass zur Steigerung der Energieeffizienz ein bestehendes BHKW einer Kläranlage mit einer „Heat-to-power“-Anlage kombiniert werden kann. So kann Überschusswärme in Strom umgewandelt werden. Die Anlage arbeitet derzeit wegen des hohen Materialpreises der thermoelektrischen Elemente noch nicht wirtschaftlich. Mit sinkenden Materialpreisen und stärker schwankenden Strompreisen sowie erhöhten Speicherkapazitäten der Kläranlage sollte aber auch dieses Ziel erreichbar sein.

In einer weiteren (österreichischen) Fallstudie wurde gezeigt, dass ein bestehendes zweistufiges Belebungsverfahren mit einer Anlage zur Behandlung stickstoffhaltiger Schlammwässer im Nebenstrom erweitert werden kann. Dadurch wird Strom eingespart.

Darüber hinaus wurde ein Verfahren zur Behandlung stickstoffreicher Schlammwässer entwickelt. Per Membran-Ammoniumstripping-Verfahren mittels Hohlfasermembranen wird Ammoniumsulfat zurückgewonnen und kann als Flüssigdünger direkt in der Landwirtschaft eingesetzt werden.

Bei all den Verfahren ist allerdings auch darauf zu achten, dass keine erhöhten Lachgasmengen entstehen, da Lachgas rund 300 Mal so klimaschädlich ist wie Kohlendioxid (CO₂) und damit bereits kleine Mengen Lachgas die CO₂-Einsparung in der Treibhausgasbilanz zunichtemachen können.

7.7 Power to Gas auf der Kläranlage

„Power to Gas“ ermöglicht das Stromnetz zu stabilisieren und überschüssigen Strom in ein speicherbares Gas umzuwandeln. Dabei wird bei Überschuss im Stromnetz über Elektrolyse Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff aufgespalten ($2 \text{ H}_2\text{O}$ ergeben $2 \text{ H}_2 + \text{O}_2$). Bei Bedarf kann das Gas wieder in Strom umgesetzt werden.

Wasserstoff, H₂, ist jedoch wegen seiner

- Flüchtigkeit,
- hohen Brennbarkeit,
- geringen Energiedichte und
- der beschränkten Einleitbarkeit in das Erdgasnetz

als Energiespeicher und zur Durchleitung in Netzen weniger geeignet als CH₄ (Methan, der Hauptbestandteil von Erdgas). Daher wird oft noch eine weitere, darauffolgende Reaktion angewendet, die Methanisierung: $4 \text{ H}_2 + \text{CO}_2$ ergeben $\text{CH}_4 + 2 \text{ H}_2\text{O}$.

Allerdings ist die Effizienz des Kreislaufs von Gaserzeugung aus Strom bis zur Stromerzeugung aus Gas höher, wenn bloß Wasserstoff erzeugt wird, denn der zusätzliche Schritt über Methan verursacht Verluste. Aufgrund der genannten Vorteile ist die Methanisierung aber für die Nutzung von Strom aus erneuerbarer Energiequellen sehr bedeutend. Den erzeugten Sauerstoff kann man z. B. für die Stromerzeugung in Brennstoffzellen verwenden oder in der Industrie für Prozesse mit Sauerstoffbedarf nutzen.

Ein Vorteil einer Kombination aus Kläranlage und Power to Gas mit Methanisierung ist mit dem heutigen Stand der Technik eher theoretisch: Eine Kläranlage produziert Kohlendioxid und benötigt Sauerstoff. Bei der Methanisierung wird allerdings Kohlendioxid benötigt und Sauerstoff produziert.

Die Option der Belüftung der Belebungsbecken mit reinem Sauerstoff wurde bereits seit den 1990er-Jahren erprobt. Der theoretische Vorteil ist, dass im Vergleich zur Nutzung von Umgebungsluft eine rund 80 % geringere Gasmenge benötigt wird, womit die Kosten für Strom für die Kompressoren sinken. Allerdings haben sich einige technische Hürden und zu geringe Vorteile ergeben [Michalski, 2004], Seite 20, sodass dies bis heute kaum praktiziert wird und diese quasi „symbiontische“ Kombination Theorie geblieben ist.

Eine Kläranlage bietet aber dennoch sehr interessante Voraussetzungen als Standort zur Speicherung von elektrischem Strom in Form von Methan [Klärwerk.info].

7.8 Eingehauste Anlagen

Manche Kläranlagen werden eingehaust, um etwa in kälteren Gebieten die ganzjährige Funktionsfähigkeit der Kläranlage sicherzustellen, aber auch aus Gründen der Geruchsminimierung. Ein Beispiel ist etwa die Kläranlage Ischgl [Land Tirol]. Speziell für Kleinkläranlagen eignet sich auch das Sequencing Batch Reactor-Verfahren (SBR) [Gemeinde Allhaming], bei dem bei einigen Verfahren die gesamte Kläranlage oder auch die einzelnen SBR-Reaktoren eingehaust werden.

Untersuchungen, inwieweit diese Maßnahme zur Minimierung der Temperaturabsenkung des Abwassers im Bereich der Kläranlage führt, konnten nicht gefunden werden. Es ist jedoch klar, dass während der Reinigungsprozesse, die über einen Tag dauern können, eine Abkühlung stattfindet. Das ist besonders in kälteren Gebieten und im Winter zu berücksichtigen.

Bei anaerober Faulung muss deshalb der Klärschlamm mit mehr Energieeinsatz aufgeheizt werden. Mit geringeren Abwassertemperaturen sinkt auch die Reinigungsleistung der Kläranlage. Das Abwasser soll auch deswegen möglichst warm bleiben, damit bei einer thermischen Nutzung die höchstmögliche Arbeitszahl der Wärmepumpe erreicht wird.

8 Zusammenfassung

In der Siedlungswasserwirtschaft fällt etwa 1 % des gesamten Stromverbrauchs an und es werden auch erhebliche Mengen an Wärme benötigt. Gleichzeitig werden auch große Mengen an Strom und Wärme innerhalb der Siedlungswasserwirtschaft erzeugt und sorgen so für eine Eigenabdeckung bei Strom von über 50 %; bei Wärme liegt dieser Wert nochmals deutlich höher. Dies zeigt, dass in der Vergangenheit bereits großer Wert auf energetische Nachhaltigkeit im Bereich der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung gelegt wurde.

Dennoch gibt es noch Optimierungsmöglichkeiten im Bereich Energie und Treibhausgase. Diese betreffen sowohl Strom als auch Wärme und sind zum Teil durch Energieeinsparungen und zum Teil durch optimierte Energieerzeugung erreichbar.

Neben der rein energiebezogenen Betrachtung und der Treibhausgasbilanz sind auch weitere Punkte relevant. Dazu gehören z. B. durch Nutzung der Optimierungsmöglichkeiten induzierte Veränderungen bei Energiekosten, notwendige Investitionskosten und Arbeitplatzeffekte. Diese Bereiche müssen daher mitbetrachtet werden.

Die Möglichkeiten im Bereich Energieeffizienz sind unter anderem:

- Der Austausch von ineffizienten Pumpen im Bereich der Wasserversorgung und Abwasserentsorgung durch hocheffiziente Modelle
- Die Optimierung des Stromverbrauchs vor allem für Belüftung, Pumpen und Rührwerke auf Kläranlagen
- Die thermische Sanierung von Faultürmen
- Die Reduktion des Wassergehalts im Klärschlamm vor dem Faulturm

Die Möglichkeiten im Bereich Energieerzeugung sind vor allem:

- Eine optimierte energetische Nutzung des Klärgases und des Klärschlammes
- Photovoltaik
- Die thermische Nutzung des Abwassers mittels Wärmepumpen

Bei der Implementierung dieser Lösungen existieren gewisse Einschränkungen und Barrieren, die die Nutzbarkeit in gewissen Fällen in Frage stellen. Dies können rein technische, aber auch ökonomische und rechtliche Themen sein.

Ökonomische Hürden können meist durch eine veränderte Steuer- und Förderlandschaft beseitigt werden. Bei rechtlichen Hürden können Interessenskonflikte zwischen bestimmten Schutzziele dahinterstehen, z. B.

- Gewässerreinigung oder Lachgasentfernung versus Abkühlung des Abwassers für thermische Zwecke oder
- Schutz des Eigentums bei Leitungslegungen über Privatgrund.

Diese müssen jeweils im Einzelfall abgewogen werden. Technische Hürden können teilweise durch Innovation abgemildert werden.

Basierend auf diesen Rahmenbedingungen können Energiepotenziale bis 2027 abgeschätzt werden. Die tatsächliche Umsetzbarkeit hängt von teils nicht immer genau bekannten Faktoren wie spezifische Kosten, Mengen, Flächenpotenziale et cetera ab und von der jeweiligen finanziellen Situation. Diese lässt sich ganz maßgeblich durch entsprechende Förderungen, z. B. von Bund und auch Ländern, positiv beeinflussen.

Da diese Faktoren aber nicht vorweggenommen werden können, werden zwei unterschiedlich ambitionierte Szenarien dargestellt. Teilweise sind auch die technischen Voraussetzungen zu unklar oder das Potenzial aus anderen Gründen nicht eruierbar. Daher unterbleibt für manche Energiepotenziale eine Quantifizierung. Für die wesentlichen Beiträge ist eine Quantifizierung jedoch möglich.

Es zeigt sich, dass die elektrische Energiebilanz bei Ausschöpfung aller quantifizierbaren Optimierungspotenziale (ambitioniertes Szenario 2) bis 2027 sogar ausgeglichen sein kann, während derzeit noch 282 GWh/a mehr verbraucht als erzeugt werden. Im weniger ambitionierten Szenario 1 werden auch noch immer etwa 150 GWh/a mehr Strom verbraucht als erzeugt.

Dies ist jedoch nur gegeben, wenn thermische Abwassernutzungsanlagen (dabei wird Strom für Wärmepumpen gebraucht) nicht realisiert oder diese aus der Systembetrachtung der Siedlungswasserwirtschaft ausgeschlossen werden. Nach dem derzeitigen Rechenansatz des Weltklima-Rates ist der elektrische Energieverbrauch für die

thermische Abwassernutzung nicht der Siedlungswasserwirtschaft zuzurechnen, sondern der elektrischen Energieerzeugung.

Wird der elektrische Energieverbrauch für die thermische Abwassernutzung der Siedlungswasserwirtschaft zugerechnet, wird auch der erhöhte Strombedarf der Wärmepumpen in der siedlungswasserwirtschaftlichen elektrischen Energiebilanz schlagend. Der Gesamtstrombedarf bleibt dann abzüglich des erzeugten Stroms etwa im selben Bereich wie jetzt (282 GWh/a). In Szenario 1 wären es dann 355 GWh/a und in Szenario 2 221 GWh/a.

Thermische Abwassernutzung ist jedoch der bei Weitem größte Hebel der Einsparungsmöglichkeiten an Treibhausgasemissionen aus dem Bereich der Siedlungswasserwirtschaft. Ein Großteil des Potenzials (etwa 95 %) ist nach der Kläranlage vorhanden. Nutzungen im Kanal spielen somit nur eine untergeordnete Rolle.

Abgesehen von diesen rechtlichen Abgrenzungsfragen liegt das thermische Potenzial für thermische Abwassernutzung in Österreich bis 2027 bei 697 GWh/a bis 781 GWh/a. Dabei liefert die bereits geplante Anlage bei der Wiener Hauptkläranlage den größten Beitrag mit 613 GWh/a. Das theoretische Gesamtpotenzial für die thermische Abwassernutzung in Österreich liegt mit 3.400 GWh/a nochmals um etwa den Faktor 4 höher.

Rechnet man die thermische Abwassernutzung nicht dazu, dreht sich die Wärmebilanz auf einen leicht positiven Saldo. Derzeit werden etwa 80 GWh/a extern bezogen. Der Saldo läge dann in Szenario 1 bei 10 GWh/a und in Szenario 2 bei 100 GWh/a. Inkludiert man allerdings die thermische Abwassernutzung, dann erhöht sich das Wärmebilanzplus massiv auf 798 GWh/a in Szenario 1 und auf 883 GWh/a in Szenario 2.

Die einfache Betrachtung der Investitionskosten und der Kosten für elektrische Energie einerseits sowie die Wärmeerlöse andererseits deutet bei der thermischen Abwassernutzung auf Amortisationszeiten von mehreren Jahrzehnten hin. Dies kann aber nicht als generelle Aussage gewertet werden. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung muss hier jeweils im Einzelfall zeigen, ob und wann sich eine Investition in eine Anlage rentiert.

Für die Ergebnisse spielen unter anderem

- die Wärmedichte,
- der Zinssatz,

- die jeweils anzuwendenden Preise für Elektrizität,
- der erzielbare Wärmepreis und
- der Jahresnutzungsgrad, der von den zu erzielenden Netztemperaturen abhängt,

eine wichtige Rolle.

Die Praxis zeigt, dass solche Anlagen in vielen Fällen wirtschaftlich betrieben werden können.

Weitere wichtige energetische Beiträge sind

- die Nutzung von Flächen für die Stromerzeugung mittels Photovoltaik,
- die optimierte Nutzung von Klärgas zur Stromerzeugung,
- die Optimierung des Stromverbrauchs auf Kläranlagen und
- die verstärkte thermische Nutzung von Klärschlamm.

Auf Kläranlagen existiert eine Vielzahl neuerer Ansätze zur energieoptimierten Abwasserreinigung, die sich derzeit noch im Forschungsstadium befinden.

Bei der Treibhausgasbilanz spielen abseits der energiebezogenen Emissionen von etwa 88.714 Tonnen CO₂-Äquivalenten auch Lachgasemissionen von circa 168.000 Tonnen CO₂-Äquivalenten in der Kläranlage sowie Methanemissionen von 21.000 Tonnen CO₂-Äquivalenten eine wichtige Rolle. Bei der Quantifizierung und noch vielmehr bei der Eindämmung selbiger besteht noch ein hoher Forschungsbedarf.

Die Emissionen im Energiebereich können ohne die thermische Nutzung des Abwassers um etwa 55.000 bis 119.000 Tonnen CO₂-Äquivalente reduziert werden, inklusive thermische Abwassernutzung sogar um etwa 225.000 Tonnen bis 310.000 Tonnen CO₂-Äquivalente.

Im Optimalfall und sofern sich die Rechenvorgaben der IPCC nicht ändern, kann also Folgendes gesagt werden: Gesamtheitlich betrachtet könnte die Siedlungswasserwirtschaft sogar zu einer Treibhausgassenke werden.

Die Herausforderung besteht darin, dass gleichzeitig die Reinigungsleistung der Kläranlagen nicht vermindert wird und weiters der Energiebedarf und die Lachgas- und Methanemissionen der Kläranlagen nicht erhöht werden.

Betreffend zukünftiger Vorgaben für Strafzahlungen ist problematisch, dass – gemäß den IPCC-Berechnungsvorgaben – der Siedlungswasserwirtschaft nur die Lachgas- und Methanemissionen angerechnet werden, Verbesserungen im Energiebereich aber anderen Sektoren gutgeschrieben würden.

Je nach gewähltem Szenario beträgt das Arbeitsplatzpotenzial in Jahresvollzeit-äquivalenten 750 beziehungsweise 1.400 ohne thermische Nutzung des Abwassers und 3.000 beziehungsweise 4.000 mit selbiger.

Bis 2027 und darüber hinaus sollten diverse offene Forschungsthemen durch verstärkte Vernetzung auf internationaler Ebene behandelt werden. Dabei ist auch immer der Investitionsbedarf zu berücksichtigen. Für die Umsetzung der skizzierten Maßnahmen zur Energieeinsparung beziehungsweise zur verstärkten Energieerzeugung sind je nach Szenario Kosten von netto 149 Millionen bis 283 Millionen Euro ohne thermische Nutzung des Abwassers anzusetzen. Inklusiv der thermischen Abwassernutzung sind es 614 Millionen bis 804 Millionen Euro. Hier sei erwähnt, dass die größte thermische Abwassernutzungsanlage, jene in Wien, bereits in Planung ist.

In diesen Kosten sind keine Förderungen berücksichtigt. Bei der UFI-Förderung etwa werden 30 % der zusätzlichen Kosten gefördert (das heißt Kosten, die ohnehin anfallen würden, werden bei der Berechnung nicht berücksichtigt). Da aber viele Investitionen wie z. B. die Investition in eine thermische Abwassernutzungsanlage für den Betrieb einer Kläranlage nicht essenziell sind, können 30 % der Mehrkosten mit 30 % der Gesamtkosten einer solchen Anlage gleichgesetzt werden.

Die Gegenüberstellung der Investitionskosten und der Erlöse zur Errechnung einer Amortisationszeit wird generell nicht empfohlen, und daher sind solche Dauern in diesem Bericht auch nicht ausgewiesen. Zum einen hängen die Kosten und Erlöse zu stark vom Einzelfall ab, sodass aus diesen verallgemeinerten Betrachtungen keine Schlüsse auf die Wirtschaftlichkeit eines Einzelprojektes gezogen werden sollen und können. Zum anderen stellt sich etwa bei Technologien wie bei der thermischen Abwassernutzung vielmehr die Frage, welche Alternativen zur Versorgung eines Wärmenetzes existieren. Auch jede andere Form der Versorgung wie z. B. über ein Biomasseheizwerk ist mit Investitionskosten und laufenden Kosten verbunden, die im jeweiligen Einzelfall gegenüberzustellen wären. Dies ist in diesem Bericht nicht berücksichtigt.

Des Weiteren beinhalten solche Betrachtungen weder Preissteigerungen noch Abzinsungen. Im Hinblick auf die zu erwartenden Preissteigerungen, speziell im Bereich fossiler Energieträger, weisen Wärmepumpenlösungen wie die thermische Abwassernutzung den Vorteil auf, dass der Anteil der Energiekosten relativ gering ist. Gleichzeitig sind hier die Investitionskosten höher als z. B. bei einem Erdgaskessel. Die langfristige Abhängigkeit von Energiepreisen ist damit reduziert. Zudem sinkt die Abhängigkeit von Energieimporten etwa im Vergleich zu Gasheizwerken oder Erdgas-KWK-Anlagen.

Auch wenn es andere Sektoren mit höherem Einsparpotenzial gibt als die Siedlungswasserwirtschaft, so ist auch dieser Beitrag von hoher Relevanz. Jeder Sektor wird seinen Beitrag leisten müssen, um die Klimakrise in jenem Rahmen zu halten, der zur Erhaltung der menschlichen Lebensgrundlagen noch tolerierbar ist.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Berechnung der Kosten für BHKWs auf Kläranlagen.....	38
Tabelle 2: Übersicht Energieeinsparpotenzial und Energieerzeugungspotenzial in den zwei untersuchten Szenarien	60
Tabelle 3: Energiebilanz zum Stromverbrauch in der Siedlungswasserwirtschaft derzeit ..	62
Tabelle 4: Energiebilanz zur Stromerzeugung in der Siedlungswasserwirtschaft derzeit ...	63
Tabelle 5: Änderung der elektrischen Energiebilanz in den beiden Szenarien.....	63
Tabelle 6: Thermische Energiebilanz in der Siedlungswasserwirtschaft derzeit	64
Tabelle 7: Änderung der thermischen Energiebilanz – erste Betrachtung	64
Tabelle 8: Änderung der thermischen Energiebilanz – zweite Betrachtung.....	64
Tabelle 9: Berechnete Investitionskosten für die österreichische Siedlungswasserwirtschaft in den beiden Szenarien	65
Tabelle 10: Berechnetes Einsparpotenzial an energiebezogenen Betriebskosten beziehungsweise Erlöse aus Strom- und Wärmeverkauf für die österreichische Siedlungswasserwirtschaft in den beiden Szenarien	66
Tabelle 11: Berechnetes Potenzial zur Reduzierung von Treibhausgas-Emissionen für die österreichische Siedlungswasserwirtschaft	67
Tabelle 12: Treibhausgasemissionen der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft, Stand 2019.....	69
Tabelle 13: Treibhausgasemissionen der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft - zusätzlich mögliche Einsparungen.....	70
Tabelle 14: Treibhausgasbilanz der österreichischen Siedlungswasserwirtschaft bei Realisierung der quantifizierbaren energetischen Beiträge	70
Tabelle 15: Erwartete inländische Arbeitsplatzeffekte in Jahresvollzeitäquivalenten basierend auf den Investitionskosten	71

Literaturverzeichnis

Abwasserenergie, 2013 bis 2016: **Forschungsprojekt, Einbindung der abwassertechnischen Infrastruktur in regionale Energieversorgungskonzepte**, Klima- und Energiefonds, Projektnummer 838716

AIT, TU Wien, 2019, im Auftrag von OE, **Versorgungssicherheit und Flexibilität 2030**

Aqua & Gas, 2014, Pumpen im Kanal: Forschungsarbeit zeigt grosse, rentable Energiepotenziale, 6/2014, letzter Zugriff 24.11.2020

Assmann M., Haberfellner-Veit E., Laber J., Lindtner S., Tschiesche U., 2020, Branchenbild der österreichischen Abwasserwirtschaft, ÖWAV, KPC

BMK, 2020, Evaluierung der Umweltförderungen des Bundes 2017 bis 2019, letzter Zugriff 02.07.2021

BMLFUW, 2014, **Kommunales Abwasser, Österreichischer Bericht**

BMLFUW, 2015, **Reduktionspotential bei den Lachgas-Emissionen aus Kläranlagen durch Optimierung des Betriebes**

BMLRT, 2020, **Kommunales Abwasser, Österreichischer Bericht**

BMNT, 2017, Bundesabfallwirtschaftsplan, Teil 1, letzter Zugriff 10.06.2021

BMNT, 2018, **Kommunales Abwasser, Österreichischer Bericht**

BMVIT, 2018, Technologiebeschreibungen-Energie und Nährstoffe aus Abwasser, Anhang für den Leitfaden, letzter Zugriff 25.05.2021

BOKU Wien, 2012, Endbericht zur Erstellung des Leitfadens zur Optimierung der Energienutzung bei Wasserversorgungsanlagen

DAA, 2011, Preise für Anschaffung und Installation eines BHKW, letzter Zugriff 02.06.2021

DWA, 2020, Merkblatt DWA M 114, letzter Zugriff 24.11.2020

E-Control, 2021a, Preise Erdgas, letzter Zugriff 08.04.2022

E-Control, 2021b, Preise Strom, letzter Zugriff 08.04.2022

Energieraumplanung Kapfenberg, 2019 bis 2021, Forschungsprojekt, 2019 bis 2021, Land Steiermark

Gemeinde Allhaming, Kläranlage, letzter Zugriff 10.06.2021

IBC Energie Wasser Chur, 2021, Solkraftwerk ARA Chur, letzter Zugriff 02.06.2021

IPCC, 2006, IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, abgerufen am 09.08.2021

IPCC, 2019, Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, abgerufen am 09.08.2021

Klärwerk.Info, „Power to gas“-Prinzip – Kläranlagen als Energiespeicher, letzter Zugriff 09.07.2021

KLIEN, 2016, Kläranlagen als Kraftwerke, Newsletter 02/2016, letzter Zugriff 24.11.2020

Kretschmer F., Kreuzinger N., Langergraber G., Lenz K., Lindtner S., Muschalla D., Parravicini V., Polgar B., Schaar H., Steidl C., Tauber J., Svardal K., Zessner M., 2021, **Überarbeitung der Kommunalen Abwasserrichtlinie (91/271/EWG)**, Österreichische Zahlen, Daten und Fakten zu ausgewählten Überarbeitungsoptionen

Land Steiermark, 2012, Thermische Abfallbehandlung - Brennwert/Heizwert, Abfall- und Ressourcenwirtschaft, letzter Zugriff 24.11.2020

Land Tirol, Ausbau und Anpassung Kläranlage Ischgl, letzter Zugriff 25.05.2021

Lindtner S., 2008, Leitfaden für die Erstellung eines Energiekonzeptes kommunaler Kläranlagen, Wien

Lindtner S., 2019, **Benchmarkingbericht österreichischer Kläranlagen**

Lindtner S., Hnatek V., 2019, 27. Betriebsjahr Leistungsnachweis der ÖWAV-Kläranlagen-Nachbarschaften

Lindtner S., Vohryzka F., 2015, Der Energieverbrauch österreichischer Kläranlagen, Wiener Mitteilungen Band 232, letzter Zugriff 09.07.2021

Maurer M., Chawla F., von Horn J., Staufer P., 2012, Abwasserentsorgung 2025 in der Schweiz, Schriftenreihe Nummer 21, EAWAG

Michalski, N., 2004, Systematische Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren auf dem Sauerstoffeintrag, Fachhochschule Braunschweig/Wolfenbüttel, letzter Zugriff 05.07.2021

Müller J., Knoop O., Hübner U., Metzger S., Keyzers C., Daub B., Zech T., Schatz R., Müller E., Schade M., Buchmeier G., Drewes J. E., 2021, Reinigungsstufe auf der Kläranlage Weißenburg, Erfahrungen im Regelbetrieb, Schlussbericht Pilotprojekt 4, TU München

Neunteufel R., Schleifenlehner E., Biber M., 2012, Energieeffizienz in der Wasserversorgung, BOKU, **ÖVGW**

OIB, 2019, OIB-Richtlinie 6 „Energieeinsparung und Wärmeschutz“ letzter Zugriff 20.04.2021

ÖWAV, 2021, Arbeitsbehelf 65, Energetische Nutzung des thermischen Potenzials von Abwasser, letzter Zugriff 08.04.2022

ÖVGW, 2018, ÖVGW-Branchenbild 2018 letzter Zugriff 08.04.2022

ÖVGW, 2021, **ÖVGW Richtlinie G B210, Erdgas in Österreich – Gasbeschaffenheit**

Powerstep, 2015 to 2018, EU-Project, Full-scale demonstration of energy positive sewage treatment plant concepts towards market penetration, **Grant Agreement Number 641661, letzter Zugriff 07.07.2021**

PV Austria, 2020, Die Österreichische Photovoltaik- und Speicherbranche in Zahlen letzter Zugriff 02.06.2021

PV Austria, 2022, PVA-Plattform für Überschuss-Einspeiser letzter Zugriff 09.07.2021

REEF2W, 2017 bis 2020, **Forschungsprojekt, Increased renewable energy and energy efficiency by integrating, combining and empowering urban wastewater and organic waste management systems**, Interreg, Projektnummer CE946

RIS, 2022, Erneuerbaren-Ausbau-Gesetz letzter Zugriff 09.07.2021

Stadt Wien, 2020, Sima, Strelb, Friedl: Klimamusterstadt Wien – aus Badewasser wird Fernwärme, letzter Zugriff 08.06.2021

Statistik Austria, 2020, Gesamtenergiebilanz Österreich 2019 letzter Zugriff 09.07.2021

TU Wien und BOKU Wien, 2012, **Technische Herausforderungen in der Siedlungswasserwirtschaft**

UBA, 2021, Klimaschutzbericht 2020, letzter Zugriff 12.07.2021

Zach F., 2020, Wärmenetze in urbanen Räumen mit vor Ort verfügbaren Energiequellen – Potenziale, technische Lösungen und langfristige Perspektiven, Dissertation, Institut für Raumplanung, Umweltplanung und Bodenordnung, Universität für Bodenkultur Wien

Abkürzungen

AIT	Austrian Institut of Technology
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BHKW	Blockheizkraftwerk
BMK	Bundesministerium für Klimaschutz
BMLFUW	Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft
BMLRT	Bundesministerium für Landwirtschaft, Regionen und Tourismus
BMNT	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
BMVIT	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
BOKU	Universität für Bodenkultur Wien
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlendioxid
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
EAWAG	Wasserforschungsinstitut des ETH-Bereichs
EU	Europäische Union
EW	Einwohner(gleich)wert
EW.a	Einwohner(gleich)wert mal Jahr
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
GWh	Gigawattstunde
H ₂ O	Wasser
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
KLIEN	Klima- und Energiefonds
KPC	Kommunalkredit Public Consulting
KSG	Klimaschutzgesetz
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
l _{fm} .a	Laufmeter mal Jahr
MJ	Megajoule
MWp	Megawatt peak
N ₂ O	Lachgas (Distickstoffmonoxid)

AIT	Austrian Institut of Technology
OE	Österreichs Energie
OIB	Österreichisches Institut für Bautechnik
ÖNORM	Österreichische Norm
ÖVGW	Österreichische Vereinigung für das Gas- und Wasserfach
ÖWAV	Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband
PV	Photovoltaik
PV Austria	Bundesverband Photovoltaik Austria
Q_{el}	Energiemenge elektrischer Strom
Q_{therm}	Thermische Energiemenge, gespeichert im Kältemittel
Q_{Umwelt}	Umweltwärme
RIS	Rechtsinformationssystem des Bundes
SBR	Sequencing Batch Reactor
THG	Treibhausgas
TS	Trockensubstanz
TU	Technische Universität
TWh	Terawattstunde
UBA	Umweltbundesamt
UFI	Umweltförderung im Inland (Österreich)
USt	Umsatzsteuer
VZÄ	Vollzeitäquivalent

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Regionen und Wasserwirtschaft

Stubenring 1, 1010 Wien

bml.gv.at