



Hunziker Betatech AG  
(Im Auftrag des Bundesamt für Umwelt BAFU)

## Standortbestimmung Netto Null ARA

### **Schlussbericht**

Objekt Nr. 1370.18  
Zürich, 08. Dezember 2023

**Impressum:**

Projektname: Netto Null ARA im Auftrag des BAFU

Teilprojekt: Standortbestimmung

Erstelldatum: 16. Februar 2023

Letzte Änderung: 08. Dezember 2023

Begleitung Bund: Sébastien Lehmann, (Projektleitung) BAFU  
Damian Dominguez, BAFU

Begleitgruppe: Elena Burri, BAFU CO<sub>2</sub>-Kompensation  
Nathalie Bachmann, BFE Erneuerbare Energien  
Reto Manser, Kanton Bern und VSA  
Edith Durisch, Kanton Zürich  
Adrian Schuler, ARA Bern / SVKI  
Christian Zumkeller, SIG (Genève)  
Wenzel Gruber, EAWAG und Upwater  
Adriano Joss, EAWAG  
Michael Thomann, FHWN  
Laure Deschaintre, InfraWatt  
Urban Frei, InfraWatt  
Urs Reichmuth, ARA Untermarch, Lachen, Betreiber

Autor: Hunziker Betatech AG  
Pflanzschulstrasse 17  
8400 Winterthur  
Tel. 052 234 50 50  
E-Mail: [info@hunziker-betatech.ch](mailto:info@hunziker-betatech.ch)

Martin Probst  
Koref. Simone Bützer, Ruedi Moser, Alexandra Fumasoli

Datei: H:\2 Projekte\1000\1300\1370\1370.18 Netto-Null ARA\04 Berichte\1\_Schlussbericht\1370.18-231208-b-Studie Netto Null ARA.docx

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>3</b>
1.1	Projektziele	3
1.2	Begleitgruppe	4
<b>2</b>	<b>Abgrenzungen</b>	<b>4</b>
2.1	Kommunikation	4
2.2	Berechnungsbasis	4
2.3	Unsicherheiten Emissionsfaktoren	4
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
3.1	Behörden	5
3.2	VSA	5
3.3	Forschung und Publikationen	5
3.4	Relevante Gesetzestexte	5
<b>4</b>	<b>Abkürzungen</b>	<b>6</b>
<b>5</b>	<b>Systemgrenze</b>	<b>7</b>
5.1	Einführung	7
5.2	Technische Systemgrenze	7
5.3	Emissionsarten und -quellen	10
5.4	Basis Daten / Datenbank	10
<b>6</b>	<b>IST – Zustand und künftige Entwicklungen</b>	<b>12</b>
6.1	Vorgehen	12
6.2	Scope 1: Direkte Prozessbedingte Emissionen	12
6.3	Scope 2: Indirekte Emissionen eingekaufter Energie	15
6.4	Scope 3: Indirekte Emissionen Eingekaufter Güter und Bausubstanz	18
6.5	Zusammenstellung IST-Zustand	21
6.6	Entwicklungen bis Zielzustand 2050 (Szenarien)	23
6.7	Schlussfolgerungen	26
6.8	Risiken, Offene Punkte	26
<b>7</b>	<b>Handlungsbedarf und Verbesserungspotential</b>	<b>27</b>
7.1	Handlungsbedarf	27
7.2	Kategorisierung der Massnahmen	27
7.3	Beurteilung der Massnahmen	27
7.4	Massnahmen und Beurteilung	29
7.5	Schlussfolgerungen	37
7.6	Risiken, Offene Punkte	37
<b>8</b>	<b>Umsetzung der Massnahmen</b>	<b>38</b>
8.1	Vorgehen	38
8.2	Mindestanforderungen	38
8.3	Lenkungsmöglichkeiten	38
8.4	Interventionsgrad für Umsetzung der Massnahmen	38
8.5	Schlussfolgerungen	41
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung / Schlussbetrachtung</b>	<b>42</b>
<b>10</b>	<b>Offene Punkte</b>	<b>42</b>
<b>11</b>	<b>Anhang</b>	<b>43</b>

11.1	Begleitgruppe	43
11.2	Workshops	43

## 1 Einführung

Das Treibhausgas (THG) - Inventar der Schweiz berücksichtigt die Abwasserreinigung innerhalb des Sektors Abfall. Der Sektor Abfall trägt aktuell 2.5% (Stand 2021) zu den totalen THG-Emissionen der Schweiz bei. Die Branche der Abwasserreinigung respektive die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) tragen rund 1% zu den totalen nicht-biogenen THG-Emissionen der Schweiz bei und sind relevante Quellen für Lachgas-Emissionen ( $N_2O$ ). Erste Schätzungen ergaben, dass die Lachgas-Emissionen auf ARAs rund 20% der schweizweiten Lachgasemissionen ausmachen (Aqua & Gas Artikel 01/2020 – N2OARA, Wenzel Gruber). Neben den Lachgas-Emissionen werden auf ARAs auch Methan ( $CH_4$ ) und biogenes  $CO_2$  emittiert, sowie Emissionen durch den Verbrauch von Betriebsmitteln und Energie verursacht.

Mit dem Volksentscheid vom 18. Juni 2023 zugunsten des Klima- und Innovationsgesetzes (KIG) verpflichtet sich die Schweiz das Netto-Null Ziel zu erreichen. Netto-Null bedeutet ein Gleichgewicht aller Emissionsquellen und -senken der Schweiz. Konkret gilt es die vermeidbaren Emissionen zu reduzieren und die unvermeidbaren Emissionen durch Senken ( $CO_2$ -Entnahme und Speicherung) zu kompensieren. Der grosse Umweltnutzen der ARAs ist unbestritten, trotzdem drängen sich zur Erreichung des Netto-Null Ziels auch im Bereich der ARAs Massnahmen zur Reduktion und wenn möglich Vermeidung von THG-Emissionen auf. Der massgebende Einfluss auf das Netto-Null Ziel der Schweiz kann die ARA-Branche mit der Reduktion von Treibhausgasemissionen in der definierten Systemgrenze ARA leisten. Für die Treibhausgasemissionssenken sind die ARA oft abhängig von weiteren Stakeholdern und können diesen Beitrag nicht allein in ihrer Systemgrenze erbringen.

Aktuell liegen zwar zahlreiche Grundlagen bezüglich der Entstehung der THG-Emissionen auf ARAs aus der Forschung vor. Eine ganzheitliche Betrachtung dieser Emissionsquellen auf ARAs mit einer einheitlichen Methodik bzw. Terminologie ist aber noch ausstehend. Somit fehlt die eindeutige Differenzierung zwischen den direkten und indirekten Emissionen auf ARA und auch eine Vereinheitlichung der bekannten THG-Emissionen mit definierter Bezugsgrösse. Dieser Bericht fokussiert sich auf die Reduktion von THG-Emissionen. Potenzielle Senken müssen in einem zweiten Schritt beleuchtet werden, da diese massgebend von weiteren Stakeholdern abhängig sind.

Die Befunde der vorliegenden Standortbestimmung werden in einem Aqua & Gas Artikel im Frühling 2024 publiziert.

### 1.1 Projektziele

Die aktuellen, sich stets entwickelnden Grundlagen zu den THG-Emissionen auf Schweizer ARAs werden für alle Verfahrensstufen innerhalb einer definierten Systemgrenze zusammengetragen und vereinheitlicht. Daraus resultiert eine Darstellung der direkten und indirekten Emissionen auf einer ARA inklusive der Vermeidung von THG-Emissionen durch die Produktion von erneuerbaren Energien. In dieser Darstellung sollen auch die Entwicklungen abgebildet sein, wie z. B. der EMV 'Vollausbau' bis 2035.

In einem zweiten Schritt wird der Beitrag, welche ARAs zum Netto-Null Ziel der Schweiz leisten können, beurteilt. Dabei wird das Potential zur Verringerung der Emissionen durch die Abwasserreinigung aber auch die Vermeidung von Emissionen durch Bereitstellung von erneuerbaren Energien betrachtet. Das Verbesserungspotential aus Sicht ARA – Branche und nicht einzelne Anlagen - wird ausgewiesen.

Basierend auf dem Verbesserungspotential werden Massnahmen formuliert und priorisiert. Für jede Massnahme wird der Interventionsgrad, welcher für die Sicherstellung der Umsetzung nötig ist, bestimmt.

Das Projekt wird von einer Begleitgruppe begleitet. Die Prioritätensetzung erfolgt partizipativ.

## **1.2 Begleitgruppe**

Die oben aufgeführten Meilensteine wurden in 4 Workshops mit dem BAFU und einer breit abgestützten Begleitgruppe von Betreibern, Behörden und Ingenieuren gespiegelt. Die Zusammensetzung ist im Anhang 12.1 dargelegt. Des Weiteren sind dort die Fazits aus den Workshops zu finden.

# **2 Abgrenzungen**

## **2.1 Kommunikation**

Die Ergebnisse der Studie werden im Frühjahr 2024 im Aqua & Gas publiziert. Bis dahin werden die vorliegenden Daten vertraulich behandelt.

## **2.2 Berechnungsbasis**

Die Emissionen werden für die gesamtschweizerische Abwasserbehandlung auf Kläranlagen angegeben. Es erfolgt grundsätzlich keine Einzelfallbetrachtung oder Einteilung in Grössenklassen.

## **2.3 Unsicherheiten Emissionsfaktoren**

Die Emissionen mussten teilweise auf einer kleinen Datengrundlage und unter diversen Annahmen berechnet werden. Daraus resultieren grosse Unsicherheiten. Mit der Studie wird keine präzise Ermittlung der Treibhausgasemissionen auf Kläranlagen angestrebt. Die relevanten Emissionsquellen sollen basierend auf einem abgeschätzten Bereich identifiziert werden.

## 3 Grundlagen

### 3.1 Behörden

- KliK Programm 0174 Lachgas, INFRAconcept
- Energieeffizienz auf Zürcher ARAs (AWEL, 2020)
- Kennzahlen VSA zur einheitlichen Datenerhebung & Geodatenmodell Bund (2016)
- Klärschlammertsorgung in der Schweiz, Klärschlammertreibung 2012, (BAFU, Juli 2013)

### 3.2 VSA

- Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung (VSA, SVKI 2023)
- VSA Emmetten Fortbildungskurs Kandersteg (Juni 2022)
- Hauptmitgliederversammlung VSA (Mai 2022)
- Investitionsvergleichsrechnung (VSA, 2017)

### 3.3 Forschung und Publikationen

#### 3.3.1 Lachgas- und Methanemissionen

- *Elaboration of a data basis on greenhouse gas emissions from wastewater management – Final report N20klimARA*, (Eawag, 2021)
- *Lachgasemissionen aus ARA*, Aqua und Gas N°1 2022
- *Lachgasemissionen aus Faulwasserbehandlung*, Aqua und Gas N°3 2023
- *Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA* (FHNW, Stand 28.07.2023, Freigabe per Ende 2023)

#### 3.3.2 Elimination von Mikroverunreinigungen

- *Klimafreundlich Gewässer Schützen*, Aqua und Gas N°2 2020
- *Präsentation Watervision Academy 4.0 «Kann Kohle Grün Werden?»*, (Marc Böhler, Oktober 2022)

#### 3.3.3 Energie

- *Solarenergie auf Kläranlagen*, Ernst A. Müller Umweltperspektiven 4 2021
- *Dekarbonisierung des Wärme-/Kältesektors*, Ernst A. Müller, Martin Jakob, Andre Müller, Aqua und Gas N°9 2020
- *Abwasser als Energiequelle*, Ernst A. Müller, Martin Dietler Aqua und Gas N°7 2015

### 3.4 Relevante Gesetzestexte

- Angepasstes Gewässerschutzgesetz zur Umsetzung der Motionen 20.4261 «Reduktion der Stickstoffeinträge aus den Abwasserreinigungsanlagen» und 20.4262 «Massnahmen zur EMV für alle Abwasserreinigungsanlagen»
- Bundesgesetz über die Verminderung von Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-Gesetz), Laufzeit bis 2030
- Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG), (Volksabstimmung vom 18.Juni 2023, SR 814.310)

## 4 Abkürzungen

<b>ARA</b>	Abwasserreinigungsanlage
<b>AWA</b>	Amt für Wasser und Abfall Bern
<b>AWEL</b>	Amt für Abfall, Wasser, Energie, Luft Zürich
<b>AWN</b>	Abwasserwärmevernützung
<b>BAFU</b>	Bundesamt für Umwelt
<b>BFE</b>	Bundesamt für Energie
<b>BHKW</b>	Blockheizkraftwerk
<b>CC</b>	Kompetenzzentrum
<b>CCS</b>	Carbon Capture and Storage (CO <sub>2</sub> Entnahme und Speicherung)
<b>CSB</b>	Chemischer Sauerstoffbedarf (Summenparameter für organische Stoffe)
<b>E</b>	Einwohner
<b>EAWAG</b>	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
<b>EF</b>	Emissionsfaktor
<b>EMV</b>	Elimination von Mikroverunreinigungen
<b>EW</b>	Einwohnerwerte
<b>FAW</b>	Faulwasser (Zentrat bei der Klärschlammtenwässerung)
<b>FHM</b>	Flockungshilfsmittel
<b>FHNW</b>	Fachhochschule Nordwestschweiz
<b>GAK</b>	Granulierte Aktivkohle
<b>GSchG</b>	Gewässerschutzgesetz
<b>GSchV</b>	Gewässerschutzverordnung
<b>IPCC</b>	Ingovernmental Panel on Climate Change
<b>KIG</b>	Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (SR 814.310)
<b>KliK</b>	Stiftung Klimaschutz und CO <sub>2</sub> -Kompensation KliK
<b>kWp</b>	Kilowatt-Peak
<b>MV</b>	Mikroverunreinigungen
<b>NET</b>	Negative Emissionen Technologie
<b>PAK</b>	Pulveraktivkohle
<b>PL</b>	Projektleiter
<b>PV</b>	Photovoltaik
<b>RTO</b>	Regenerative Thermische Oxidation
<b>SIG</b>	Services Industriels de Genève
<b>THG</b>	Treibhausgas
<b>TR</b>	Trockenrückstand im Schlamm
<b>VSA</b>	Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute

## 5 Systemgrenze

### 5.1 Einführung

Bei der nachfolgend dargestellten Systemgrenze handelt es sich um eine technische Abgrenzung. Verantwortlichkeiten für die verschiedenen Teilsysteme werden nicht behandelt. Die Studie verfolgt das Ziel, die Potentiale zur Vermeidung von THG-Emissionen zu erkennen und einzuordnen, ohne den Fokus auf die Bilanzierung über alle Sektoren der Schweiz zu legen.

Damit eine schweizweite Bilanzierung unter Berücksichtigung der anderen Sektoren möglich ist, müsste das System entsprechend angepasst und mit den weiteren Systemen abgleichen werden. Dadurch werden Doppelzählungen von verursachten respektive eingesparten Emissionen verhindert.

### 5.2 Technische Systemgrenze

Die technische Systemgrenze (rot) umfasst die Abwasserreinigung und Schlammbehandlung auf einer Kläranlage sowie die Energiebereitstellung durch Klärgasverwertung, Abwasserwärmevernutzung und Solarstrom. Innerhalb der Systemgrenze werden Teilsysteme zusammengefasst (schwarz).

Für das Projekt werden das Abwassernetz, das Wärmeverteilsystem des Wärmeverbunds und die Schlammverdickung und -verbrennung ausgegrenzt (siehe Kapitel 5.2.1). Die Vergasung von Co-Substraten in der Faulung wird auch nicht berücksichtigt.

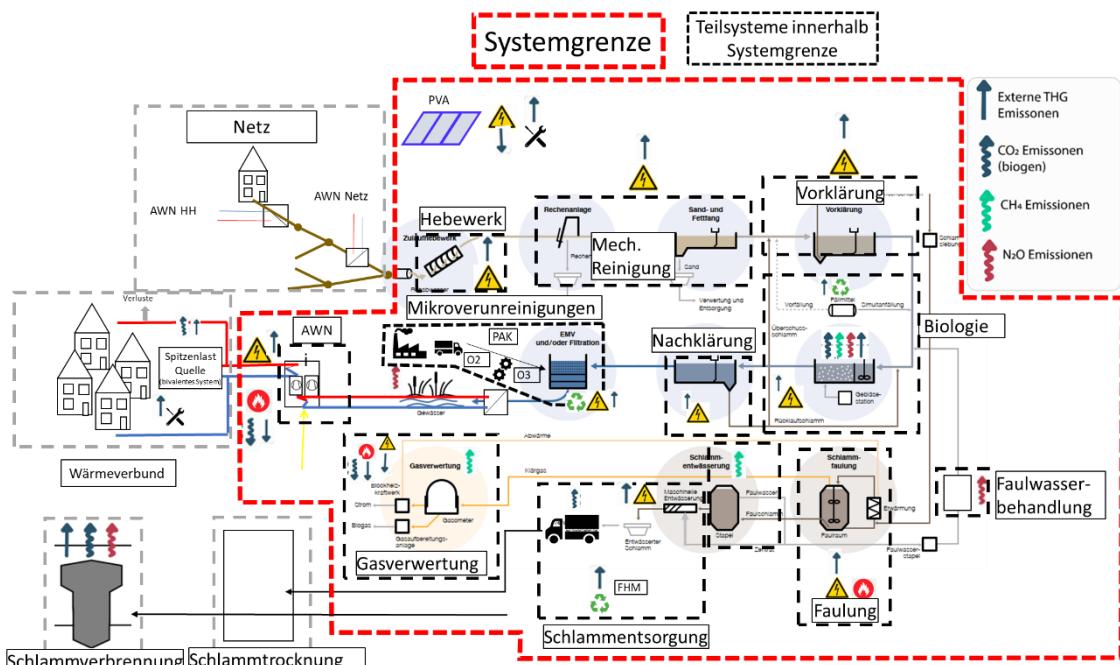


Abbildung 5-1: Technische Systemgrenze für die Studie

Nachfolgend werden die Teilsysteme beschrieben.

- **Hebewerk:** Viele Kläranlagen benötigen ein Hebework, um das Abwasser von der Kanalisation auf die Anlage zu befördern. Durch den Stromverbrauch des Hebeworks werden indirekte Emissionen für die Stromproduktion und -bereitstellung verursacht.
- **Mechanische Reinigung:** Die mechanische Reinigung besteht aus einer Rechenanlage mit einer Rechengutpresse und einem Sandfang. Der Sandfang ist oft durch ein Gebläse belüftet und der Sand

wird über ein Pumpwerk abtransportiert. Je nachdem verfügt die ARA auch über eine Sandwaschanlage. Durch den Stromverbrauch dieser Anlagen werden indirekte und durch den Abtransport der Abfallprodukte direkte Emissionen verursacht.

- **Vorklärung:** In der Vorklärung werden partikuläre Stoffe abgesetzt und direkt in die Schlammbehandlung befördert. Die Vorklärbecken sind grosse Bauwerke und in der Schweiz meistens sehr grosszügig dimensioniert worden. In den Vorklärbecken wird der abgesetzte Schlamm mit einem Räumer in den Trichter befördert und von dort in die Schlammbehandlung gepumpt. Wird der Schlamm zu lange in der Vorklärung gestapelt kommt es zur sogenannten kalten Faulung, wodurch Methan emittiert wird. Durch den Stromverbrauch der Anlagen werden indirekte Emissionen verursacht. Die Grösse der Vorklärung beeinflusst die Menge an leichtabbaubarem organischem Substrat in der biologischen Reinigung welches für die biologische Stickstoffelimination zur Verfügung steht. Künftig wird die Vorklärung somit eine tragende Rolle in der Steigerung der Stickstoffelimination und gleichzeitig Senkung der Lachgasemissionen spielen.
- **Biologie:** Die biologische Abwasserreinigung dient zum Abbau von Schmutzstoffen. Oftmals erfolgt auch die Phosphorfällung in den Biologiebecken (Simultanfällung). Durch den Stromverbrauch der Gebläse für die Belüftung, für die Belebtschlamm-Rezirkulation und die Fällmitteldosierung, aber auch für die Fällmittelherstellung werden indirekte Emissionen verursacht. Die biologische Reinigung verursacht auch erhebliche direkte Treibhausgasemissionen in Form von Lachgas, Kohlenstoffdioxid und Methan. Die Biologiebecken sind sehr grosse Bauwerke und müssen für die Kapazitätssteigerung von Kläranlagen häufig vergrössert oder neu gebaut werden. Daher entstehen hier auch indirekte Emissionen durch den Einsatz von Beton.
- **Nachklärung:** Die Nachklärung wird im Belebtschlammverfahren für den Schlammrückhalt benötigt. Der abgesetzte Schlamm wird ähnlich wie in der Vorklärung mit einem Räumer in den Trichter befördert und von dort entweder in die Biologiebecken rezirkuliert (Rücklaufschlamm) oder in die Schlammbehandlung gefördert (Überschussschlamm). Durch den Stromverbrauch der Anlagen werden indirekte Emissionen verursacht.
- **Elimination von Mikroverunreinigungen:** Für die EMV werden indirekte Emissionen durch die Aktivkohle- und Ozonherstellung und -transport verursacht. Zusätzlich wird Strom für die oftmals benötigte Sandfiltration und Pumpwerke verbraucht.
- **Faulung:** In der Abwasserreinigung fällt einerseits Primärschlamm in der Vorklärung und andererseits Überschussschlamm im Belebtschlammverfahren an. Dieser Schlamm wird in der Faulung unter Wärme stabilisiert und es wird Klärgas produziert. Durch den Strom- und Wärmeverbrauch der Anlagen werden indirekte Emissionen verursacht.
- **Schlammstapelung:** Bevor der Schlamm weiterverarbeitet werden kann, wird er oft in einem Stapel zwischengelagert. Diese Behälter wurden früher meistens nicht gegen Methanemissionen abgedichtet. Bei der Stapelung des Faulschlamms werden direkte Emissionen in Form von Methan verursacht.
- **Schlammentsorgung:** Der ausgefaulte Schlamm wird entweder zuerst entwässert oder direkt zur Verwertungsanlage (Schlammverbrennung, Kehrichtsverwertungsanlage, Zementwerk) transportiert. Wird der Schlamm entwässert, werden durch den Stromverbrauch und durch den Flockungshilfsmittelverbrauch indirekte Emissionen verursacht. Durch den Schlammtransport werden direkte Emissionen verursacht.
- **Faulwasserbehandlung:** In der Schlammbehandlung fällt Faulwasser an, welches sehr hohe Stickstoffkonzentrationen hat. Um die Stickstoffelimination zu steigern respektive die biologische Reinigung zu entlasten, betreiben einige Anlagen eine Rücklaufbehandlung. Es werden hauptsächlich direkte Emissionen in Form von Lachgas aber auch indirekte Emissionen durch den Stromverbrauch verursacht.
- **Klärgasverwertung:** Das in der Faulung produzierte Klärgas wird entweder in einem Blockheizkraftwerk zu Strom und Wärme verwertet oder wird mit einer Aufbereitungsanlage auf Erdgasqualität aufbereitet. Einerseits können durch die produzierte Energie und das aufbereitete

Klärgas indirekte Emissionen vermieden werden. Andererseits führen Leckagen oder Methanschlupf zu direkten Emissionen, die es zu vermeiden gilt. In der Klärgasaufbereitung werden grosse Mengen CO<sub>2</sub> aus dem Gas entfernt und oftmals in die Atmosphäre freigegeben.

- **Abwasserwärmemutzung (AWN):** Die Abwärme des gereinigten Abwassers kann genutzt werden. Das Abwasser wird über einen Wärmetauscher geleitet und das Temperaturniveau mit einer Wärmepumpe angehoben.
- **Photovoltaik-Anlage:** Kläranlagen bieten grosse Flächen für Photovoltaik-Anlagen. Der produzierte Strom erhöht den Anteil von erneuerbaren Energien und vermeidet somit CO<sub>2</sub> Emissionen durch Stromproduktion aus fossilen Quellen.
- **Bauwerke:** Mit der Errichtung von Bauwerken (Reinigungsbecken, Betriebsgebäude, Faultürme, etc.) werden durch den Einsatz von Beton, Stahl und anderen Baumaterialien indirekte CO<sub>2</sub> Emissionen verursacht. Bestehende Bauwerke werden grundsätzlich nicht in den THG-Emissionen berücksichtigt, da sie nicht mehr beeinflussbar sind.

### 5.2.1 Abgrenzung

- **Methanemissionen durch kalte Faulung in der Vorklärung:** Diese Methanemissionen sind erfahrungsgemäss im Vergleich zu offenen Stapelbehältern sehr gering und werden daher in dieser Studie vernachlässigt.
- **Graue Energie zur Herstellung verfahrenstechnischer Ausrüstung:** Die Grundlagen zu den THG-Emissionen für die Herstellung der verfahrenstechnischen Anlagenteile (Maschinen, Schaltschränke, Verkabelungen, etc.) sind praktisch nicht vorhanden.
- **Wärmerückgewinnung in den Haushalten:** Trotz des hohen Entwicklungspotentials wird der Einfluss auf die Abwassertemperatur, welche für die ARA massgeblich ist, als vernachlässigbar erachtet.
- **Abwassernetz:** Die Gesetzesänderungen betreffen die ARAs, weshalb das Abwassernetz bezüglich THG-Emissionen ausgegrenzt wird.
- **Kältebereitstellung:** Trotz des vorhandenen Marktes und Potentials wird die Kältebereitstellung ausgegrenzt, da diese mit der heutigen Erwärmung der Oberflächengewässer stark im Konflikt steht.
- **Wärmeverbund (Betrieb und Infrastruktur):** Der Bau und Betrieb der Wärmeverbunde werden nicht berücksichtigt. Es wird lediglich das Wärmepotential, welches ARAs zur Verfügung stellen können in den Emissionen abgebildet.
- **Schlammverbrennung:** Zur Vermeidung von Konflikten mit anderen THG-Inventaren wird die Schlammverbrennung in dieser Studie nicht betrachtet. Künftig wird erwartet, dass nur noch Monoverbrennungen existieren.
- **Schlammtrocknung:** Klärschlammtrocknungen werden nicht berücksichtigt. *Hinweis: Klärschlammtrocknungen sind aber bezüglich Vermeidung von THG-Emissionen grundsätzlich relevant. Die Trocknung konsumiert zwar grössere Mengen Wärme, das Produkt kann jedoch als Substituent für fossile Brennstoffe verwendet werden.*
- **Co-Substrate:** Die Zugabe von Co-Substraten in die Faulung zur Erhöhung der Gasproduktion wird nicht berücksichtigt.
- **Abwassermenge:** Der Bericht geht von den heutigen Dimensionierungswassermengen der ARAs aus und berücksichtigt weder die Reduktion von Abwassermengen im Netz noch die dynamische Beschickung der ARAs.

### 5.3 Emissionsarten und -quellen

Es wird zwischen direkten und indirekten Emissionen unterschieden. Dabei werden die Emissionsquellen gemäss «Greenhouse Gas Protocol» in drei Kategorien («Scopes 1- 3») eingeteilt:

- **Direkte Emissionen** werden durch das Verfahren oder die Energieerzeugung vor Ort mit Heizkessel und Blockheizkraftwerk in situ/ vor Ort verursacht (Scope 1).
- **Indirekte Emissionen** werden durch die Herstellung von eingekauften Gütern und Bausubstanz (Scope 3) respektive Erzeugung eingekaufter Energie – Strom, Wasserdampf, Fernwärme oder -kälte (Scope 2) - verursacht.

**Tabelle 5-1: Direkte und indirekte Emissionen innerhalb der Systemgrenze**

Direkte Emissionen		Indirekte Emissionen	
Beschreibung	Quelle	Beschreibung	Quelle
Lachgasemissionen (Scope 1)	Biologie, Eintrag in Gewässer, Rücklaufbehandlung	Energieverbrauch ARA (Scope 2)	Verfahrenstechnik
Methanemissionen (Scope 1)	Schlammstapelung, Leckagen (Gasverwertung)	Betriebsmittelverbrauch (Scope 3)	Aktivkohle, Ozon, Fällmittel, Flockungshilfsmittel
CO2-Emissionen (Scope 1)	Transport, Wärmebedarf (fossil), Biologie (biogen) Klärgasaufbereitung	Bau (Scope 3)	Beton, Aushub, Ausrüstung (z.B. Stahl)

### 5.4 Basis Daten / Datenbank

Beschreibung	Quelle	Quelle
Emissionsfaktor Strom (Verbraucher Strommix)	0.128 kg CO <sub>2</sub> -äq/kWh	«Umweltbilanz Strommixe Schweiz», BAFU (2018)
Emissionsfaktor Erdgas	0.21 kg CO <sub>2</sub> -äq/kWh (Umrechnung von 56.2 t CO <sub>2</sub> /TJ)	Faktenblatt CO <sub>2</sub> Emissionsfaktoren (CH THG-Inventar), BAFU (2023)
Emissionsfaktor Heizöl	0.27 kg CO <sub>2</sub> -äq/kWh (Umrechnung von 74 t CO <sub>2</sub> /TJ)	Faktenblatt CO <sub>2</sub> Emissionsfaktoren (CH THG-Inventar), BAFU (2023)
Einwohner Schweiz (2022)	8.8 Mio. Einwohner	Bundesamt für Statistik
Einwohner Schweiz (2020)	8.7 Mio. Einwohner	VSA (2022)
Einwohner Schweiz (2019)	8.6 Mio. Einwohner	Bundesamt für Statistik
Einwohnerwerte Schweiz (2020)	12.7 Mio. Einwohnerwerte	VSA (2022)
THG-Potential Lachgas	265 kg CO <sub>2</sub> -äq/kg NO <sub>2</sub>	Global Warming Potential (GWP 100) IPCC 2021

THG Potential Methan	28 kg CO <sub>2</sub> -äq/kg CH <sub>4</sub>	Global Warming Potential (GWP 100) IPCC 2021
----------------------	--	---

Im Bericht werden alle Angaben in CO<sub>2</sub>-äq/E/a gemacht und auf diese Einheit umgerechnet. Im Sinne des Klima- und Innovationsgesetzes ist die Angabe in CO<sub>2</sub>-äq/a und somit für diesen Bericht respektive die Branche CO<sub>2</sub>-äq/E/a passend. Die Umrechnung in Umweltbelastungspunkte wurde geprüft, aufgrund des Fokus der Studie auf THG-Emissionen bewusst verzichtet. Der Fokus liegt auf der Branche und nicht auf einzelnen ARA oder deren Grössenklasse und Verfahrensart.

## 6 IST – Zustand und künftige Entwicklungen

### 6.1 Vorgehen

- Abschätzung CO<sub>2</sub> Emissionen aller Verfahrensbereiche im IST-Zustand. Die jährlichen Emissionen werden grob ermittelt und dann spezifisch pro Einwohner in der Schweiz dargestellt.
- Zusammenstellung möglicher Entwicklungen bis zum Zielzustand.

### 6.2 Scope 1: Direkte Prozessbedingte Emissionen

#### 6.2.1 Lachgasemissionen

Grundlagen	
<p>In der Abwasserreinigung wird Lachgas vor allem während der biologischen Reinigung emittiert oder gelöstes Lachgas wird über das Gewässer emittiert. Außerdem tritt Lachgas in der Nebenstrombehandlung von Faulwasser auf, insofern diese vorhanden ist. Heute werden lediglich 13 von den 756 Schweizer (VSA, 2022) ARAs mit einer Faulwasserbehandlung betrieben<sup>3)</sup>. An diese wenigen Anlagen sind rund bereits 23% der Schweizer Bevölkerung angeschlossen.</p> <p>Die Lachgasemissionen wurden basierend auf den Stickstofffrachten und Eliminationsleistungen bezogen auf das Jahr 2020 ermittelt. Es wurde von einer einwohnerspezifischen Stickstofffracht von 14.4 g N/E/d ausgegangen.</p> <p>Der Emissionsfaktor für Lachgas in der biologischen Abwasserreinigung und Faulwasserbehandlung beträgt 0.025 kg N<sub>2</sub>O - N/kg N<sup>1)</sup> (gewichtet mit Anlagenklassifizierung aller ARAs) und für den Stickstoffeintrag in Gewässer 0.005 kg N<sub>2</sub>O-N/kg N<sup>1)</sup>. Daraus resultieren jährlich rund 1'800 t N<sub>2</sub>O<sup>2)</sup>. Mit einem Treibhausgaspotential von 265 kg CO<sub>2</sub>/kg N<sub>2</sub>O betragen die jährlichen THG-Emissionen schweizweit 477'000 t CO<sub>2</sub>-äq/a.</p>	
Emissionsfaktoren	
Biologische Reinigung & Gewässer (Stand 2020)	55-60 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Rücklaufbehandlung <sup>4)</sup>	1-2 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Unsicherheiten	
Die Datengrundlage, auf der die Emissionsfaktoren für Lachgas beruhen ist noch gering und muss in den nächsten Jahren erweitert werden.	Hoch
Quellen	
<sup>1)</sup> Wenzel Gruber et al. (2021), <i>Elaboration of a data basis on greenhouse gas emissions from wastewater management – Final report N2OklimARA</i> <sup>2)</sup> Michael Thomann et al. (2022), <i>Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA</i> <sup>3)</sup> Aqua und Gas Artikel Lachgasemissionen Faulwasserbehandlung (2023) <sup>4)</sup> Grobe Abschätzung mittels Einwohnerzahlen der Kläranlagen welche über eine Faulwasserbehandlung verfügen	

## 6.2.2 Methanemissionen

<b>Grundlagen</b>	
Methan hat ein Treibhausgaspotential von 28 kg CO <sub>2</sub> /kg CH <sub>4</sub> . Der Methananteil in Klärgas beträgt für gewöhnlich 60 - 65%.	
Die Methanemissionen aus den Kläranlagen der Schweiz wurde auf 4'280 t CH <sub>4</sub> /a geschätzt <sup>1)</sup> . Bezogen auf die Gesamtanlage wird mit einem Emissionsfaktor für Methan von 0.94% (CH <sub>4</sub> / CSB) gerechnet. Die Hauptemissionsquellen sind offene Stapelbehälter. Der Verlust von Methangas über offene Stapel beträgt ca. 5-10% der Gasproduktion einer ARA.	
Der Methanschlupf aus der Klärgasaufbereitung wird schweizweit auf ca. 379 t CH <sub>4</sub> /a geschätzt <sup>1)</sup> . Gemäss Vollzugshilfe für Leckagenkontrollen im Kanton Zürich (16.11.2020), beträgt der Klärgasverlust durch Leckagen ca. 1.5% bezogen auf die Gesamtklärgasproduktion. Basierend auf der schweizerischen Klärgasproduktion von rund 118 Mio. Nm <sup>3</sup> /a <sup>2)</sup> beträgt der Klärgasverlust über Leckagen somit ungefähr 1.5-2 Mio. Nm <sup>3</sup> /a.	
<b>Emissionsfaktoren</b>	
Kläranlage (Stand 2019)	10-15 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Gasbehandlung und -aufbereitung (Stand 2019)	1-2 kg CO <sub>2</sub> -äq /E/a
Leckagen über undichte Anlagenteile (Stand 2020)	2-3 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
<b>Unsicherheiten</b>	
Grosse Unterschiede zwischen Kläranlagen; Eine Einzelfallbetrachtung lohnt sich	Hoch
<b>Quellen</b>	
<sup>1)</sup> Wenzel Gruber et al. (2021), <i>Elaboration of a data basis on greenhouse gas emissions from wastewater management – Final report N2OklimARA</i>	
<sup>2)</sup> Stefan Binggeli et al. (2022), <i>Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung (VSA)</i>	

## 6.2.3 Kohlenstoffdioxid-Emissionen

### Biologische Abwasserbehandlung (biogenes CO<sub>2</sub>)

<b>Grundlagen</b>	
Die direkten CO <sub>2</sub> -Emissionen aus der biologischen Reinigung werden durch die Oxidation von organischem Material verursacht. Diese organische Fracht stammt hauptsächlich aus erneuerbaren Quellen und die Emissionen können daher als «neutral» betrachtet werden.	
Die Emissionen wurden basierend auf einem einwohnerspezifischen, organischen Frachtenfall von 0.12 kg CSB/E/d berechnet. Es wird davon ausgegangen, dass 75% dieser organischen Fracht in die biologische Reinigung gelangt und dort zu 50% oxidiert <sup>1)</sup> . Daraus resultiert eine Elimination der organischen Fracht durch biologische Oxidation von 37.5%.	
Rund 25% der organischen Fracht werden in der Vorklärung abgeschieden. Ein Teil der organischen Fracht, welche in die Biologie gelangt aber nicht oxidiert wird, wird in die Biomasse eingebaut und über den Überschusschlamm aus dem Abwasser entfernt. Die Gesamtelimination der ARA bezüglich organischer Fracht ist also höher als die Summe aus den 25% Elimination in der Vorklärung und 37.5% Elimination durch die biologische Oxidation.	

Emissionsfaktoren	
Biogenes CO <sub>2</sub> Biologische Reinigung	20-25 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Unsicherheiten	Relevanz Unsicherheit
k.A.	k.A.
Quellen	
<sup>1)</sup> Abschätzung durch Eawag, 15.3.2023	

### Klärgasverwertung (biogenes CO<sub>2</sub>)

Grundlagen	
Klärgas kann entweder mit einer Wärmekraftkopplung – hauptsächlich in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) - verwertet oder auf Erdgasqualität aufbereitet werden.	
Auf Schweizer ARAs werden jährlich rund 80 Mio. m <sup>3</sup> /a <sup>1)</sup> Klärgas in BHKWs verwertet. Durch die Verbrennung des Klärgases fallen schweizweit jährlich rund 150'000 t CO <sub>2</sub> /a an.	
Während der Gasaufbereitung werden dem Klärgas grosse Mengen CO <sub>2</sub> entnommen. Für gewöhnlich beträgt der Volumenanteil rund 30-35%. Basierend auf dem Energiegehalt im Klärgas, welches jährlich in die Biogasaufbereitung gelangt (214 GWh/a) <sup>1)</sup> ergibt sich eine Klärgasmenge von rund 35 Mio. m <sup>3</sup> /a (Annahme 6.1 kWh/m <sup>3</sup> ). Unter Berücksichtigung einer Dichte von 1.97 kg / m <sup>3</sup> CO <sub>2</sub> ergeben sich schweizweit jährliche Emissionen von ungefähr 24'000 t CO <sub>2</sub> /a.	
Emissionsfaktoren	Relevanz Unsicherheit
Biogenes CO <sub>2</sub> Klärgasaufbereitung (2020)	2-3 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Biogenes CO <sub>2</sub> Klärgasverwertung im BHKW (2020)	10-20 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Unsicherheiten	Relevanz Unsicherheit
k.A.	k.A.
Quellen	
<sup>1)</sup> Stefan Binggeli et al. (2022), Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung (VSA)	

### Fossiler Wärmeverbrauch ARA

Grundlagen	
Es ist keine Grundlage für den gesamtschweizerischen fossilen Brennstoffverbrauch zur Wärmeproduktion auf Kläranlagen bekannt. Im Jahr 2020 wurden im Kanton Zürich rund 2.5 GWh/a Wärme mit fossilen Brennstoffen erzeugt. Dies entspricht etwa 5% der gesamten theoretischen Wärmeproduktion auf einer ARA. Daraus resultiert eine einwohnerspezifische Wärmeproduktion durch fossile Energieträger von 1.7 kWh/E/a. Es wird davon ausgegangen, dass die Werte vom Kanton Zürich ungefähr dem schweizerischen Durchschnitt entsprechen.	
Der Emissionsfaktor für die Verbrennung von Erdgas liegt bei 56.0 t CO <sub>2</sub> -äq /TJ respektive 0.2 kg CO <sub>2</sub> -äq/kWh (Basis 2022) <sup>2)</sup> . Der Emissionsfaktor für die Verbrennung von Erdgas liegt bei 73.7 t CO <sub>2</sub> -äq /TJ respektive 0.26 kg CO <sub>2</sub> -äq/kWh (Basis 2022) <sup>2)</sup> .	

<b>Emissionsfaktoren</b>	
Wärmeverbrauch ARAs (2020, nur fossile Brennstoffe)	0.4 kg CO <sub>2</sub> äq/E/a
<b>Unsicherheiten</b>	<b>Relevanz Unsicherheit</b>
Annahme, dass der fossile Brennstoffverbrauch der Zürcher ARAs dem Schweizer Durchschnitt entspricht.	Aufgrund des tiefen Emissionsfaktors eher gering
<b>Quellen</b>	
<sup>1)</sup> AWEL (2020), <i>Energieeffizienz auf Zürcher ARA</i>	
<sup>2)</sup> BAFU (2023), <i>Faktenblatt CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz</i>	

## 6.3 Scope 2: Indirekte Emissionen eingekaufter Energie

### 6.3.1 Stromverbrauch ARA

<b>Grundlagen</b>	
Der Stromverbrauch der Schweizer ARAs liegt bei rund 461 GWh/a (Basis 2020) <sup>1)</sup> . Daraus resultiert ein mittlerer einwohnerspezifischer Stromverbrauch von rund 53 kWh/E/a respektive rund 36 kWh/EW/a. Als Vergleich beträgt der einwohnerspezifische Stromverbrauch im Kanton Zürich rund 50 kWh/E/a (75 GWh/a, 1.5 Mio E)	
50% aller Schweizer ARAs haben einen Stromverbrauch von grösser als 45 kWh/EW/a und 25% von grösser als 60 kWh/EW/a. Bei Kläranlagen von > 10'000 EW liegt der Stromverbrauch grössenteils unter den 45 kWh/EW/a (Insgesamt 91% des Gesamtstromverbrauchs). <sup>1)</sup>	
Im Kt. Zürich werden rund 60% des Gesamtstrombedarfs durch die biologische Reinigung verursacht <sup>2)</sup> .	
Die THG-Emissionen des Schweizerstrommixes betragen 0.128 kg CO <sub>2</sub> -äq/kWh <sup>3)</sup> .	
<b>Emissionsfaktoren</b>	
Stromverbrauch ARA (2020)	6-7 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Stromverbrauch Biologie (2020)	4-5 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
<b>Unsicherheiten</b>	<b>Relevanz Unsicherheit</b>
k.A.	k.A
<b>Quellen</b>	
<sup>1)</sup> Stefan Binggeli et al. (2022), <i>Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung (VSA)</i>	
<sup>2)</sup> AWEL (2020), <i>Energieeffizienz auf Zürcher ARA</i>	
<sup>3)</sup> BAFU (2018), <i>Umweltbilanz Schweizer Strommixe</i>	

### 6.3.2 Klärgasverwertung: Strom-, Wärme- und Biogasproduktion

<b>Basis</b>	
<p>Die Klärgasverwertung findet entweder mit Wärmekraftkopplung – vorwiegend in Blockheizkraftwerken – oder durch Aufbereitung auf Erdgasqualität statt. Mit dem Blockheizkraftwerk wird Strom und Wärme produziert, welche die ARA nutzen kann und somit den externen Bezug reduziert. Mit der Gasaufbereitung kann fossiles Erdgas im Gasnetz ersetzt werden. Im Jahr 2020 wurden in der Schweiz rund 143 GWh/a Strom- und 229 GWh/a nutzbare Wärme produziert. Ausserdem wurden 214 GWh/a in Form von Biomethan ins Gasnetz eingespeist. Für die Gasaufbereitung muss Strom aufgewendet werden. Der spezifische Stromverbrauch beträgt ca. 0.32 kWh/m<sup>3</sup> Gas respektive 0.05 kWh<sub>e</sub>/kWh Gas<sup>2)</sup>. Der Emissionsfaktor für die Verbrennung von Erdgas liegt bei 56.0 t CO<sub>2</sub>-äq /TJ respektive 0.2 kg CO<sub>2</sub>-äq/kWh (Basis 2022)<sup>3)</sup>. Der Emissionsfaktor für die Verbrennung von Erdöl liegt bei 73.7 t CO<sub>2</sub>-äq /TJ respektive 0.26 kg CO<sub>2</sub>-äq/kWh (Basis 2022)<sup>3)</sup>. Die THG-Emissionen des Schweizerstrommixes betragen 0.128 kg CO<sub>2</sub>-äq/kWh<sup>4)</sup>.</p>	
<b>Emissionsfaktoren (Einsparungen)</b>	
Stromproduktion BHKW (Substitution Strom)	-1.5 bis -2.5 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Wärmeproduktion BHKW (Substitution Wärme von Erdgas/Erdöl)	-5.5 bis -6.5 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Klärgasaufbereitung (Substitution von Erdgas im Gasnetz)	-4.5 bis -5.5 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
<b>Unsicherheiten</b>	
k.A.	k.A
<b>Quellen</b>	
<sup>1)</sup> Stefan Binggeli et al. (2023), Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung (VSA) <sup>2)</sup> VSA (2010), Handbuch Energie in ARA <sup>3)</sup> BAFU (2023), Faktenblatt CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz <sup>4)</sup> BAFU (2018), Umweltbilanz Schweizer Strommixe	

### 6.3.3 Abwasserwärmeverwendung: Wärmeproduktion

<b>Grundlagen</b>	
<p>Eine gesamtschweizerische Abschätzung der Abwasserwärmeverwendung im Ablauf der ARAs ist nicht bekannt. Im Kanton Zürich wurden im Jahr 2018 rund 60 GWh/a Wärme produziert. Dies entspricht einer einwohnerspezifischen Wärmeproduktion von rund 40 kWh/E/a. Unter der Annahme, dass dieser Wert für die gesamte Schweiz repräsentativ ist, errechnet sich eine gesamtschweizerische Wärmeproduktion von 0.35 TWh/a im 2018.</p> <p>Der Emissionsfaktor für die Verbrennung von Erdgas liegt bei 56.0 t CO<sub>2</sub>-äq /TJ respektive 0.2 kg CO<sub>2</sub>-äq/kWh (Basis 2022)<sup>2)</sup>. Der Emissionsfaktor für die Verbrennung von Erdgas liegt bei 73.7 t CO<sub>2</sub>-äq /TJ respektive 0.26 kg CO<sub>2</sub>-äq/kWh (Basis 2022)<sup>2)</sup>. Die THG-Emissionen des Schweizerstrommixes betragen 0.128 kg CO<sub>2</sub>-äq/kWh<sup>3)</sup>.</p>	
<b>Emissionsfaktoren (Einsparungen)</b>	
Abwasserwärmeverwendung (2018) (Substitution Wärme durch Erdgas/Erdöl)	-7 bis -9.5 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a

Unsicherheiten	Relevanz Unsicherheit
Annahme, dass die Abwasserwärmennutzung der Zürcher ARAs dem Schweizer Durchschnitt entspricht.	Hoch
Annahme, dass nur Erdgas oder Heizöl ersetzt werden	Hoch
Quellen	
<sup>1)</sup> AWEL (2020), <i>Energieeffizienz auf Zürcher ARA</i>	
<sup>2)</sup> BAFU (2023), <i>Faktenblatt CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz</i>	
<sup>3)</sup> BAFU (2018), <i>Umweltbilanz Schweizer Strommixe</i>	

#### 6.3.4 Solarenergie: Stromproduktion

Grundlagen	
Kläranlagen bieten grosse Flächen für Photovoltaik-Anlagen (PVA). Der Solarstrom kann zur Substitution des Stroms vom Netz verwendet werden.	
Der Emissionsfaktor für die Erstellung von PVAs liegt bei rund 0.08 kg CO <sub>2</sub> /kWh. Die THG-Emissionen des Schweizerstrommixes betragen 0.128 kg CO <sub>2</sub> -äq/kWh <sup>1)</sup> .	
Der heutige Ertrag aus PVAs auf Kläranlagen ist nicht bekannt. Das Gesamtpotential für den Ausbau von PVAs auf Kläranlagen wird auf rund maximal 100 MWp geschätzt <sup>2)</sup> . Dies entspricht einer jährlichen Stromproduktion von etwa 110 GWh/a <sup>2)</sup> . Die heutige Stromproduktion mit den bestehenden PV-Anlagen ist deutlich kleiner als mit der Klärgasverwertung in BHKWs (143 GWh/a <sup>3)</sup> und spielt somit eher eine untergeordnete Rolle.	
Emissionsfaktoren (Einsparungen)	
Solarstrom (heute)	k.A.
Unsicherheiten	Relevanz Unsicherheit
Keine Flächendeckende Datengrundlage zur Solarstromproduktion auf ARAs vorhanden	Vermutlich eher gering
Quellen	
<sup>1)</sup> BAFU (2018), <i>Umweltbilanz Schweizer Strommixe</i>	
<sup>2)</sup> <i>Solarenergie auf Kläranlagen</i> , Ernst A. Müller Umweltperspektiven 4 2021	
<sup>3)</sup> Stefan Binggeli et al. (2023), <i>Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung (VSA)</i>	

## 6.4 Scope 3: Indirekte Emissionen Eingekaufter Güter und Bausubstanz

### 6.4.1 Elimination von Mikroverunreinigungen

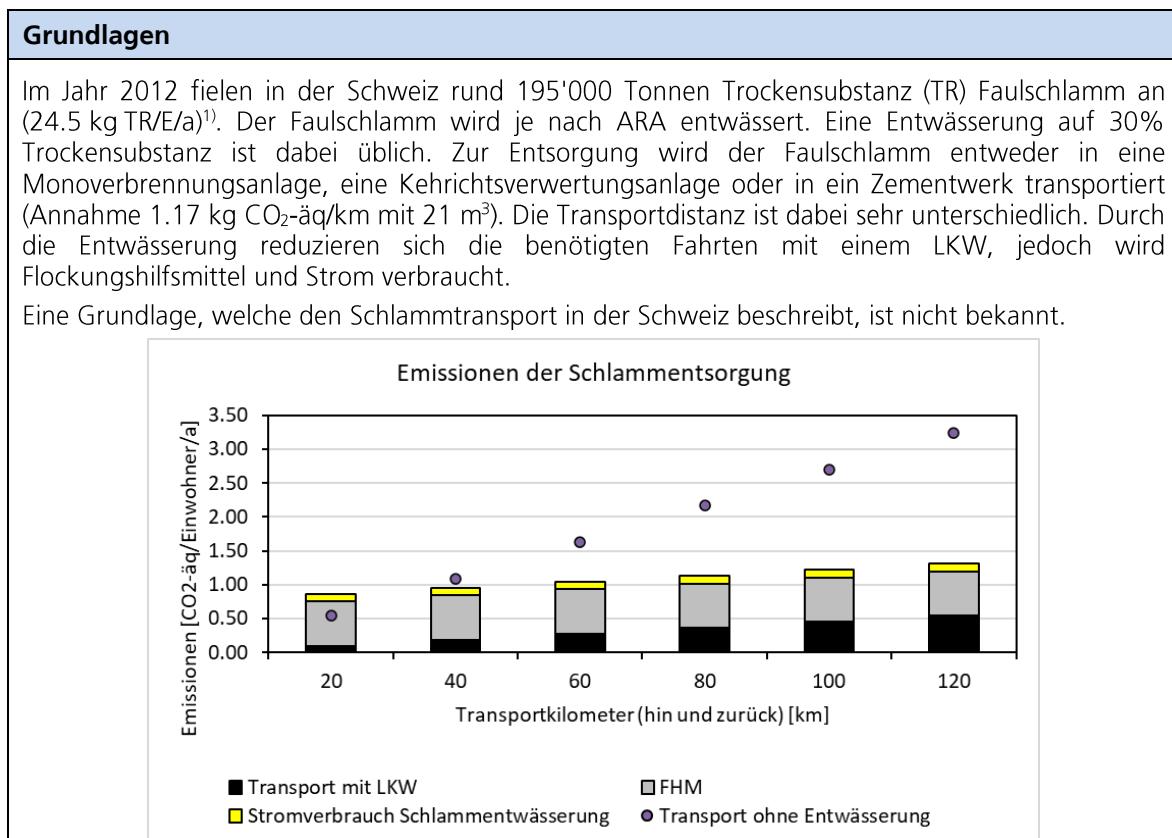
Grundlagen	
<p>Aktuell sind auf 19 Kläranlagen eine Stufe zur Elimination von Mikroverunreinigungen in Betrieb. Davon werden 9 mit einer Ozonung, 7 mit Pulveraktivkohle (PAK) und 3 mit einem granuliertem Aktivkohlefilter (GAK) betrieben. Es sind rund 1.15 Mio. Einwohner (ca. 13%, Stand 2022) angeschlossen. Auf die angeschlossenen Einwohner bezogen beträgt der Anteil Ozonung 61%, der Anteil Pulveraktivkohle 33% und der Anteil GAK 6%<sup>1)</sup>.</p> <p>Die Emissionsfaktoren für die EMV betragen 7 g CO<sub>2</sub>-äq/E/d für eine ARA mit Ozonung, 12 g CO<sub>2</sub>-äq/E/d für eine ARA mit GAK-Filter und 45 g CO<sub>2</sub>-äq/E/d für eine ARA mit PAK-Dosierung<sup>2)</sup>. Darin enthalten ist sowohl die Herstellung der Aktivkohle und des Flüssigsauerstoffs als auch der Stromverbrauch für den Betrieb des Verfahrens (Hebewerk, Nachbehandlung mit Filtration) und die Ozonherstellung vor Ort.</p> <p>Mit dem Ausbau der Stufe zur EMV wird der gesamtschweizerische Emissionsfaktor in den kommenden Jahren ansteigen (siehe Kapitel 6.6.2). Die Stufe zur EMV verursacht bei einer einzelnen ARA einen Anteil von rund 4% bei einer Ozonung und 20% bei PAK-Zugabe an den Gesamtemissionen<sup>2)</sup>.</p>	
Emissionsfaktoren	
Elimination von Mikroverunreinigungen (Stand 2022) (Aktivkohle und Ozon inkl. Stromverbrauch für Betrieb der Anlage und Ozonherstellung vor Ort.)	1 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a (Nach Voll-Ausbau ca. 4-5 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a) <sup>3)</sup>
Unsicherheiten	
Heute grosser Anteil Ozonung berücksichtigt	Hoch
Quellen	
<p><sup>1)</sup> Micropoll Plattform VSA (Stand 2022)</p> <p><sup>2)</sup> A&amp;G «Klimafreundlich Gewässer schützen» 2020 (Aline Meier, Christian Remy)</p> <p><sup>3)</sup> Mindestens 60% des Abwassers (BAFU Angabe, 2023) und zusätzlich 1.75 Mio. Einwohner (ca. 20%) durch die Motion 20.4262 (Schlussbericht Weiterentwicklung ARA, FHNW, Stand 28.07.2023) berücksichtigt. Annahme Aufteilung der Technologien: 50% Ozonung, 25% PAK und 25% GAK</p>	

### 6.4.2 Bau (Beton)

Basis	
<p>Der Emissionsfaktor für den Einsatz von Beton wird anhand eines Einzelfallbeispiels berechnet. Dieses Beispiel umfasst einen umfangreichen Umbau einer Kläranlage zur Kapazitätssteigerung. Insgesamt werden 11'000 m<sup>3</sup> Stahlbeton verbaut.</p> <p>Für Stahlbeton wird mit einem Emissionsfaktor von 425 kg CO<sub>2</sub>-äq/m<sup>3</sup> gerechnet (Beton für abwasserberührte Bauteile und 120 kg Bewehrung pro m<sup>3</sup> Beton). Der Abschreibehorizont liegt für gewöhnlich bei rund 50 Jahren. Der Emissionsfaktor wurde aber für einen konservativen Abschreibehorizont von 35 Jahren berechnet.</p>	

Emissionsfaktoren	
Beton (Einzelfallbeispiel)	3–4 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Unsicherheiten	Relevanz Unsicherheiten
Berechnung basiert auf einem Einzelfallbeispiel	Hoch
Quellen	
<sup>1)</sup> Beispiel Projekt Hunziker Betatech AG (2022)	

### 6.4.3 Schlammentsorgung (Transport)



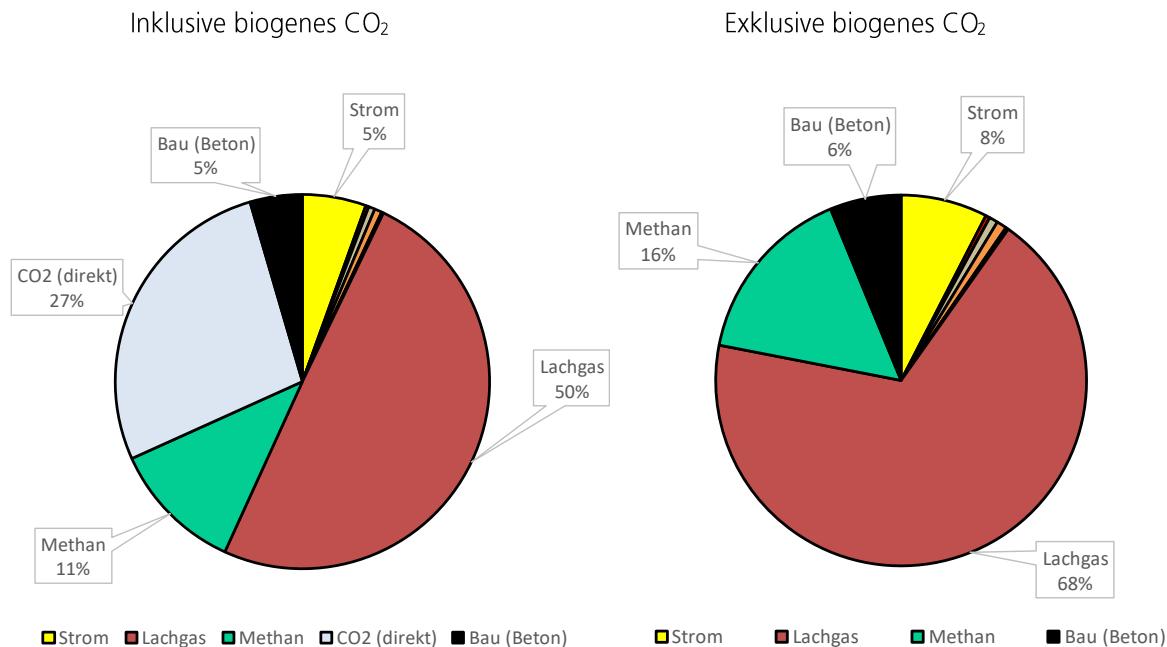
Emissionsfaktoren	
Schlammtransport ohne Entwässerung	0.5–3.5 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Schlammtransport mit Entwässerung	< 0.5 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Unsicherheiten	Relevanz Unsicherheiten
Emissionsfaktoren wurden unter der Annahme, dass immer der gesamte Klärschlamm gleichbehandelt wird, berechnet.	Hoch
Quellen	
<sup>1)</sup> BAFU (2012)	

#### 6.4.4 Fäll- und Flockungshilfsmittel

<b>Basis</b>	
Im Rahmen des Projekts Envelos im 2011 wurden die Emissionsfaktoren für die Herstellung der Fäll- und Flockungshilfsmittel (0.616 kg CO <sub>2</sub> / kg und 1.81 kg CO <sub>2</sub> /kg) aus der ProBas-Datenbank genommen <sup>1)</sup> .	
Der jährliche Faulschlammanfall in der Schweiz beträgt 195'000t Trockenrückstand (TR) <sup>2)</sup> . Der spezifische Flockungshilfsmittelverbrauch liegt bei 15 kg FHM / t TR <sup>3)</sup> .	
Emissionsfaktoren	
Flockungshilfsmittelverbrauch (2012)	< 1 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Fällmittelverbrauch (2022)	< 1 kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a
Unsicherheiten	Relevanz Unsicherheit
Eher veraltete Datengrundlage	Aufgrund der geringen Emissionen eher tief
Quellen	
<sup>1)</sup> Energiebedarf von Verfahren zur Elimination von organischen Spurenstoffen – Phase 1 (Envelos), 2011 <sup>2)</sup> BAFU 2012 Faulschlammenge 195'000t <sup>3)</sup> Garantiewerte Schlammentwässerungsanlagen <sup>4)</sup> Infoblatt VSA Fällmittelverbrauch (2022)	

## 6.5 Zusammenstellung IST-Zustand

In Abbildung 6-1 sind die Anteile der unterschiedlichen Emissionsquellen abgebildet. Den grössten Anteil bilden die Lachgas- und Methanemissionen sowie die «neutralen» biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Daneben werden durch den Stromverbrauch und durch den Einsatz von Beton am meisten THG-Emissionen verursacht.

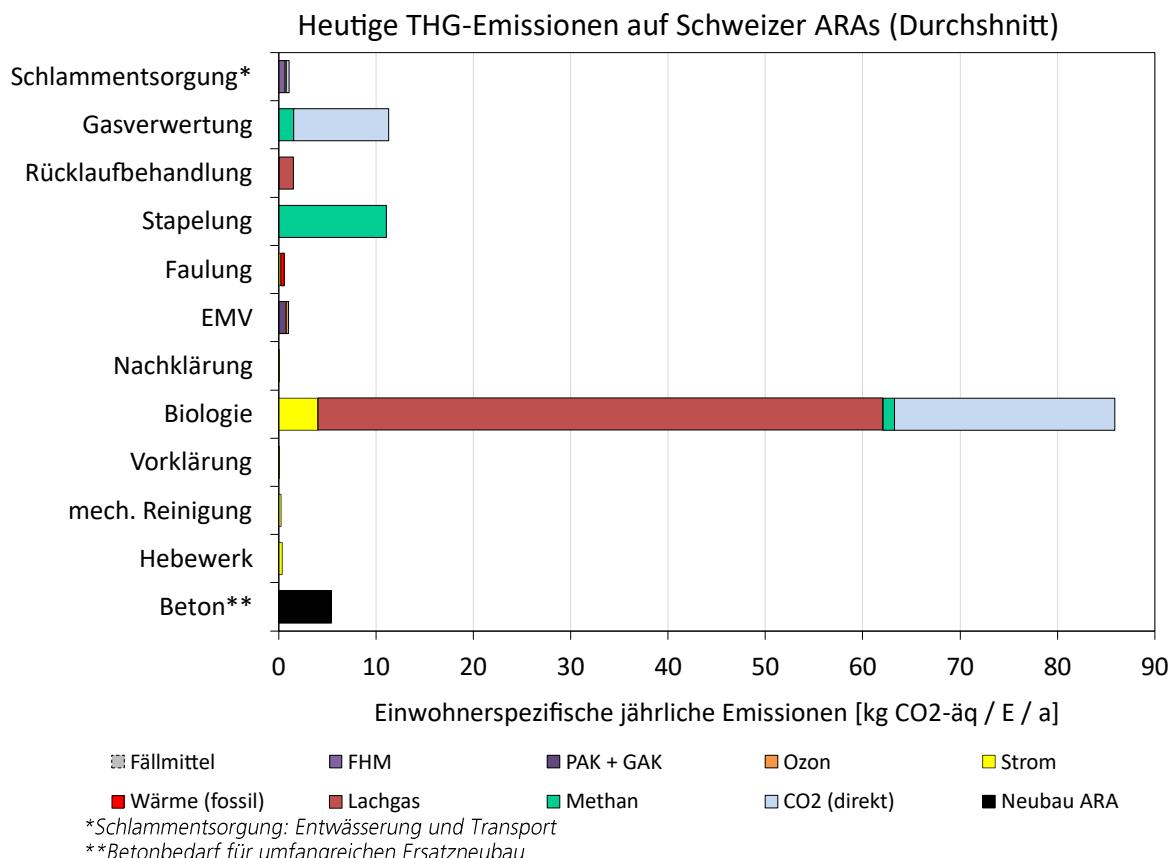


**Abbildung 6-1: Anteile der Emissionsquellen und -arten mit (links) und ohne (rechts) den biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen in der biologischen Reinigung und Klärgasverwertung (total 120 kg CO<sub>2</sub>-äq/E/a inkl. direkte biogene CO<sub>2</sub>-Emissionen)**

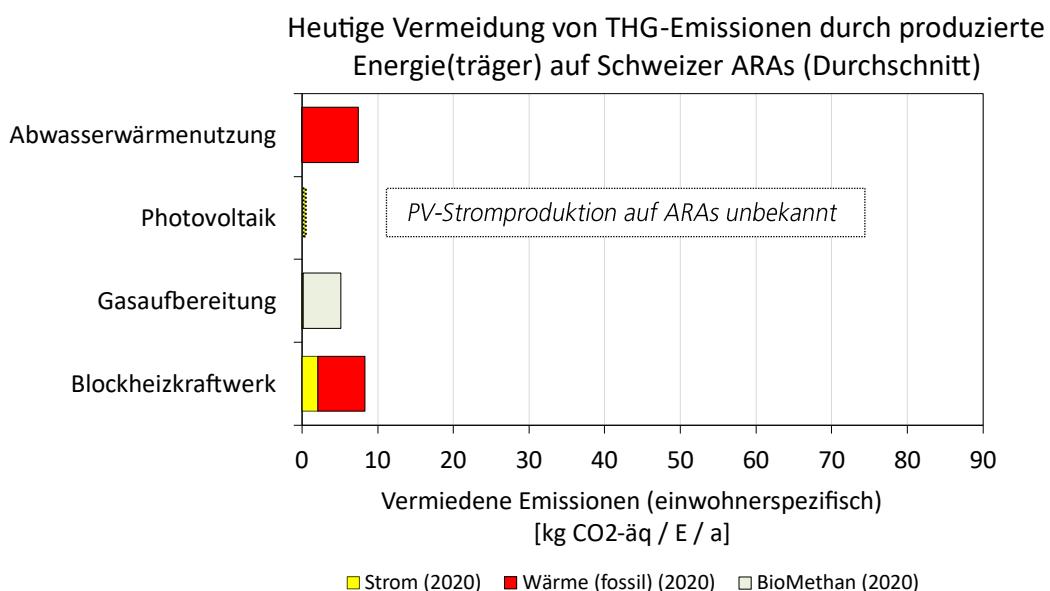
Bei der Betrachtung der einzelnen Verfahrensstufen zeigt sich, dass besonders in der biologischen Reinigungsstufe erhebliche THG-Emissionen in Form von Lachgas verursacht werden (Vergl. Abbildung 6-2). Lachgas hat nicht nur ein hohes Treibhausgaspotential, sondern ist auch schädlich für die Ozonschicht.

Werden nur die indirekten Emissionen betrachtet, wird deutlich, dass durch den Stromverbrauch der ARA und durch den Bau (Beton) einer Anlage am meisten Emissionen verursacht werden. Die EMV hat heute noch eine geringe Bedeutung, die THG-Emissionen werden durch den Vollausbau dieser Reinigungsstufe in den kommenden Jahren noch stark ansteigen (Vergl. Kapitel 6.6.2).

Die Abbildung 6-3 zeigt wie viel THG-Emissionen durch die Energie(träger)produktion auf ARAs heute effektiv vermieden werden. Die Nutzung des getrockneten Klärschlamm als Brennstoff wird nicht berücksichtigt, da die Schlammtrocknung ausserhalb der definierten Systemgrenze liegt (Vergl. Abgrenzungen in Kapitel 5.2.1).



**Abbildung 6-2: Direkte und indirekte Emissionen auf Schweizer ARAs im IST-Zustand (siehe Jahreszahlen für Berechnungsbasis). Durchschnitt aller ARAs, keine Einzelfallbetrachtung – Ausnahme beim Beton. Die Emissionen bezüglich EMV basieren auf dem heutigen Ausbau (19 Anlagen) und werden durch den Vollausbau noch deutlich ansteigen.**



**Abbildung 6-3: Heutige Vermeidung von THG-Emissionen durch Produktion von Strom, Wärme und Bio-Methan auf Kläranlagen. Da die Klärschlamm-trocknung ausserhalb der definierten Systemgrenze liegt, ist hier getrockneter Klärschlamm als Substituent für fossile Brennstoffe nicht aufgeführt.**

## 6.6 Entwicklungen bis Zielzustand 2050 (Szenarien)

### 6.6.1 Betrachtungshorizont

Die ARAs in der Schweiz verursachen heute über 1% der gesamten nicht biogenen THG-Emissionen. Werden die THG-Emissionen der ARAs bis zum Zielzustand im Jahr 2050 nicht reduziert, würde der Anteil über 10% betragen. Die Relationen der THG-Emissionen der verschiedenen Bereiche verändern sich somit stetig. In den nachfolgenden Kapiteln werden deshalb zu erwartende Veränderungen aufgelistet, welche die THG-Emissionen und Einsparungen beeinflussen.

### 6.6.2 Gesetzliche Anpassungen (GSchV.)

**Tabelle 6-1: Aktuelle und zukünftige Anforderungen der Gewässerschutzverordnung**

Was	Beschrieb	Einfluss THG-Emissionen	Wahrscheinlichkeit
Stickstoffelimination (Motion 20.4261 «Reduktion der Stickstoffeinträge aus den Abwasserreinigungsanlagen»)	Annahme: Erhöhung N-Elimination auf > 70% <sup>2)</sup> Ausbauhorizont ca. 2050	Abnahme Lachgasemissionen um bis zu 80% <sub>N2O</sub> <sup>1)</sup>	hoch
		Reduktion Stromproduktion BHKW ca. 15-20 GWh/a <sup>2)</sup>	hoch
		Reduktion Belüftungsenergie in biologische Reinigung durch Einsatz von Faulwasserbehandlung und CSB-Verbrauch für Denitrifikation ca. 38.5 GWh/a <sup>1)</sup>	hoch
	Erhöhung Anlagen mit Faulwasserbehandlung (Heute nur 13 von 740 Anlagen)	Erhöhung Lachgasemissionen (falls ohne RTO zur Abluftbehandlung realisiert)	hoch
	Erhöhung Emissionen durch Beckenvergrösserung	Erhöhung indirekter Emissionen	hoch
Ausbau Elimination von Mikroverunreinigungen (Gesetzesänderung 1.1.2016)	Ausbauhorizont 2040, Insgesamt 190 ARAs <sup>1)</sup>	Erhöhung indirekter Emissionen	sicher
Ausbau Elimination von Mikroverunreinigungen (Motion 20.4262 «Massnahmen zur EMV für alle Abwasserreinigungsanlagen»)	Insgesamt weitere 350 ARAs (= 1.75 Mio. E) <sup>1)</sup>	Erhöhung indirekter Emissionen	hoch

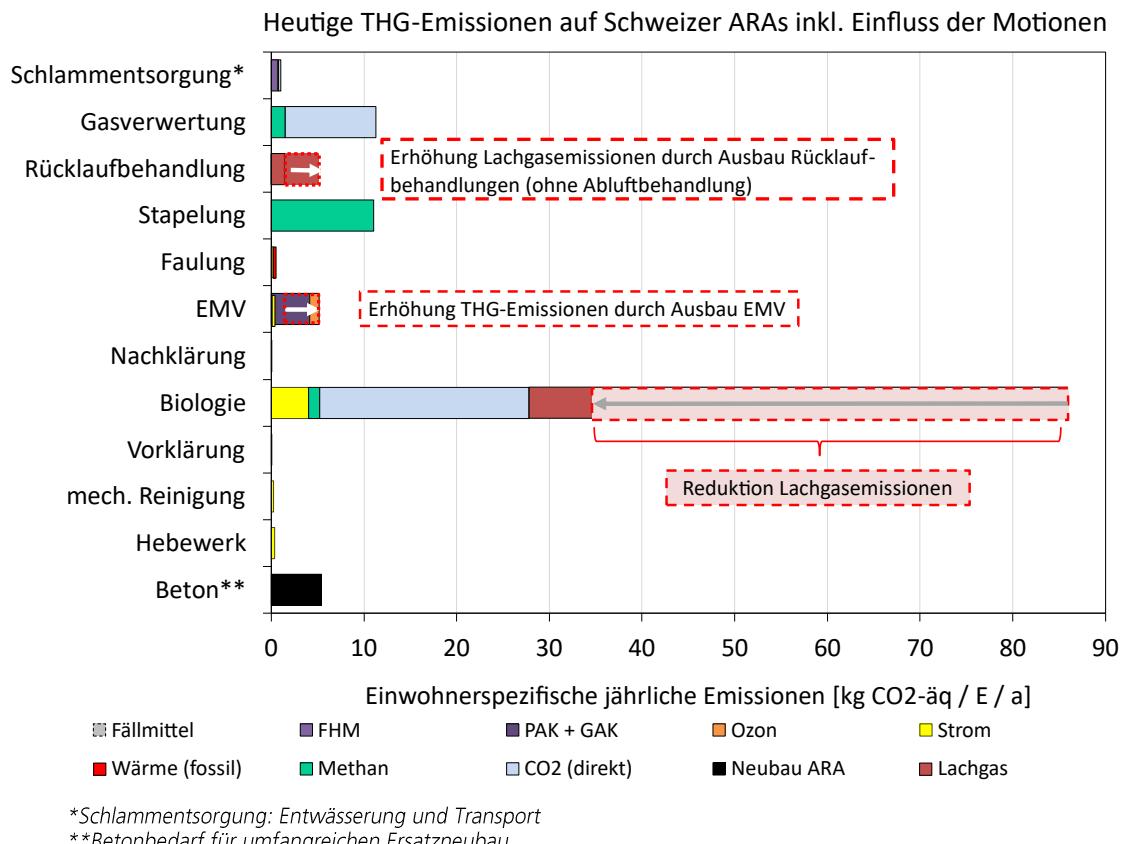
<sup>1)</sup> Schlussbericht Weiterentwicklung ARA, FHNW (Stand 28.07.2023)

<sup>2)</sup> Starke Abnahme der Lachgasemissionen bis zu einer Stickstoffelimination von 70%, danach Indizien für eine abflachende Abnahme. Bei grossen Anlagen bleiben die Emissionen mengenmässig relevant

**Fazit:** Durch die Steigerung der Stickstoffelimination auf > 70% werden die Lachgasemissionen als Nebeneffekt stark reduziert. Der Umsetzungshorizont ist jedoch sehr lange. Die beiden Effekte betreffend der sinkenden Stromproduktion aufgrund reduzierter Gasproduktion respektive den Einsparungen beim Stromverbrauch für die Belüftung kompensieren sich gegenseitig und haben somit einen vernachlässigbaren Einfluss auf die THG-Emissionen auf ARAs. In dieser Bilanz ist der Energieverbrauch der ARAs die neu nitrifizieren müssen, nicht berücksichtigt. Wie viel indirekte Emissionen für die erweiterten Beckenvolumina durch die Umsetzung der Motion 20.4261 verursacht werden, ist noch unklar.

Mit dem erweiterten Ausbau der EMV durch die Motion 20.4262, wird der Energie- und Betriebsmittelverbrauch deutlich ansteigen. Dies führt auch zu einem Anstieg der indirekten THG-Emissionen.

Die wesentlichen Veränderungen der THG-Emissionen durch die aktuellen und künftigen Anforderungen der Gewässerschutzverordnung sind in Abbildung 6-4 dargestellt.



**Abbildung 6-4: Veränderungen der THG-Emissionen durch die gewässerschutzgesetzlichen Anpassungen bezüglich Stickstoffeliminationen und Eliminationen von Mikroverunreinigungen ohne Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums.**

### 6.6.3 Weitere Szenarien

Nachfolgend sind weitere Szenarien aufgeführt, welche die THG-Emissionen auf Schweizer Kläranlagen möglicherweise beeinflussen. Eine quantitative Abschätzung der Effekte liegt nicht vor, weshalb auf eine grafische Darstellung verzichtet wurde.

## Strom- und Wärmesektor

**Tabelle 6-2: Entwicklungen im Strom- und Wärmesektor**

Was	Beschrieb	Einfluss THG-Emissionen	Wahrscheinlichkeit
Steigerung Anteil Erneuerbarer Strom (Netto-Null Ziel 2050)	Keine Stromerzeugung aus fossilen Energieträgern	Reduktion	hoch
Steigerung Anteil Erneuerbare Wärme (Netto-Null Ziel 2050)	Keine Wärmeproduktion aus fossilen Brennstoffen	Reduktion	hoch
Häufiger Stommangel	Häufiger Notstrombetrieb mit fossilen Brennstoffen	Erhöhung	tief

**Fazit:** Mit der Steigerung der erneuerbaren Energien sinkt der Emissionsfaktor für den Strom- und Wärmeverbrauch stetig. Die Kläranlagen können durch die Bereitstellung von erneuerbarer Energie (Abwasserwärmennutzung, Solarstrom, etc.) einen erheblichen Beitrag zu der laufenden Dekarbonisierung des Energiesektors beitragen. Im Wärmebereich werden jedoch bereits laufend fossile Heizsysteme ersetzt, wodurch die Konkurrenzfähigkeit und auch der Nutzen der Abwasserwärmennutzung bezüglich Vermeidung von THG-Emissionen über die Zeit abnehmen wird. Eine zeitnahe Umsetzung von Wärmeverbunden, die durch die Abwasserwärme versorgt werden, ist daher anzustreben.

## Technologie zur Abwasserreinigung

**Tabelle 6-3: Entwicklungen in der Technologie zur Abwasserreinigung**

Was	Beschrieb	Einfluss THG-Emissionen	Wahrscheinlichkeit
Kompaktere Verfahren	Durch die geforderte Stickstoffelimination wird die Nachfrage nach kompakten Verfahren steigen (granulierter Schlamm, Membranbioreaktoren)	Unterschiedliche Auswirkungen (Energie, Lachgas, Betriebsmittel)	hoch

**Fazit:** Es ist zu erwarten, dass kompakte Verfahren an Bedeutung gewinnen. Die Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch und somit THG-Emissionen sind unterschiedlich und gesamthaft schwierig abzuschätzen. Hier bedarf es noch weiteren Abklärungen resp. Forschungsprojekte

## Transportsektor

**Tabelle 6-4: Entwicklungen im Transportsektor**

Was	Beschrieb	Einfluss THG-Emissionen	Wahrscheinlichkeit
Netto-Null Ziel 2050	Der Transportsektor reduziert die THG-Emissionen durch seine Flotte bis 2050 stark.	Reduktion	hoch

**Fazit:** Wird der Transportsektor seine Emissionen reduzieren, wirkt sich dies positiv auf die indirekten Emissionen durch die ARA aus. Bei den Schlammtransporten macht der Kraftstoffverbrauch einen erheblichen Anteil der Emissionen aus. Insgesamt macht der Schlammtransport einen sehr kleinen Teil der THG-Emissionen auf ARAs aus.

## 6.7 Schlussfolgerungen

- Der heutige THG-Ausstoss der Kläranlagen macht mehr als 1 % des heutigen nicht-biogenen Gesamtausstoss der Schweiz aus. Werden die THG-Emissionen der ARAs bis zum Zielzustand im Jahr 2050 nicht reduziert, würde der Anteil über 10% betragen.
- Die THG-Emissionen werden heute durch direkte Emissionen – besonders durch Lachgasemissionen dominiert.
- Nebst den Lachgasemissionen, sind auch Methanemissionen relevant. Diese werden heute grösstenteils durch offene Schlammstapel, über Leckagen im Gassystem und in der Gasverwertung emittiert.
- Entsprechend können die ARAs den grössten Beitrag durch die Vermeidung dieser prozessbedingten, direkten Emissionen leisten.
- Lachgas und Methanemissionen werden durch bereits laufende respektive geplante Massnahmen teilweise reduziert (Motion 20.4261 und KliK).
- Bei den heutigen indirekten Emissionen sind der Stromverbrauch der biologischen Reinigung und der Beton im Bau dominant.
- Durch den Ausbau der EMV ist mittelfristig mit einem starken Anstieg des Energie- und Betriebsmittelverbrauchs und somit auch den damit verbundenen indirekten Emissionen zu rechnen. Gleichzeitig führen die Netto Null Ziele im Energiesektor respektive beim Aktivkohle-Lieferanten bei deren Umsetzung zu einer Reduktion der entsprechenden Emissionsfaktoren.
- Aufgrund der Netto Null Ziele der Schweiz müssen die indirekten Emissionen (Scope 2 und 3) bis im 2050 vollständig durch den Verursacher (Produzent, Lieferant) vermieden respektive kompensiert werden.
- Mit der Klärgasverwertung und Abwasserwärmeverwendung werden bedeutende Mengen fossiler Energieträger substituiert und THG-Emissionen vermieden. Dies ist ein wichtiger Beitrag zur Erreichung des Netto Null Ziels innerhalb des Strom- und Wärmesektors (Vergl. Tabelle 6-2).
- Die direkten – biogenen – CO<sub>2</sub>-Emissionen können zwar als «neutral» betrachtet werden, sind aber aufgrund ihres Mengenanteils auf ARAs und der stellenweisen hohen Konzentration (Gasaufbereitung, Verbrennung Klärgas) als mögliche CO<sub>2</sub>-Senke relevant (Entnahme und Speicherung)

## 6.8 Risiken, Offene Punkte

- Abschätzung der effektiven Erhöhung indirekter Emissionen durch Beckenvergrösserungen für die Stickstoffelimination in Relation zu den vermiedenen Lachgasemissionen.
- Abschätzung des Einflusses der verschiedenen biologischen Reinigungsverfahren auf die THG-Emissionen.
- Für den Bau erfolgte nur eine grobe Abschätzung für den Einsatz von Stahlbeton. Andere Bereiche wie der Ersatz von Verfahrenstechnik oder Aushubarbeiten sind noch gar nicht berücksichtigt.
- Neue, noch unbekannte gewässerschutzrechtliche Rahmenbedingungen

## 7 Handlungsbedarf und Verbesserungspotential

### 7.1 Handlungsbedarf

Aus dem IST-Zustand wurden folgende Handlungsfelder zur Senkung der THG-Emissionen auf Schweizer ARAs abgeleitet:

- Vermeidung der Lachgasemissionen in der biologischen Reinigung
- Vermeidung der Methanemissionen durch Leckagen und offene Schlammtapeten
- Reduktion des Stromverbrauchs in der biologischen Reinigung
- Vermeidung indirekte Emissionen durch Betriebsmittelverbrauch (Insbesondere bei EMV)
- Ausbau Energiegewinnung auf ARAs (Stromproduktion, (Abwasser)-wärmerückgewinnung)
- CO<sub>2</sub>-Entnahme (und Speicherung): Das CO<sub>2</sub> stammt hauptsächlich aus erneuerbaren Quellen und kann daher als neutral angesehen werden. Durch die Entnahme und Speicherung dieses CO<sub>2</sub> entstehen quantitativ relevante Potentiale zur Senkung der absoluten CO<sub>2</sub>-äq der biologischen Abwasserreinigung.
- Kauf von Strom aus erneuerbaren Quellen

### 7.2 Kategorisierung der Massnahmen

Basierend auf dem Handlungsbedarf werden zusammen mit der Begleitgruppe Massnahmen in sechs Kategorien ausgeschieden:

- |                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| • Lachgasemissionen                   | – 5 Massnahmen (L)  |
| • Methanemissionen                    | – 2 Massnahmen (M)  |
| • Direkte CO <sub>2</sub> -Emissionen | – 4 Massnahmen (C)  |
| • Energie(-verbrauch)                 | – 4 Massnahmen (E)  |
| • EMV                                 | – 3 Massnahmen (MV) |
| • Bau                                 | – 4 Massnahmen (B)  |

### 7.3 Beurteilung der Massnahmen

Die Beurteilung der Massnahmen erfolgt basierend auf den nachfolgend beschriebenen Kriterien. Pro Kriterium wurden 0-3 Punkte vergeben. Für die Beurteilung wurden aus den einzelnen Unterkriterien die gewichteten Überkriterien «Potential für THG-Vermeidung» (y-Achse) und «Machbarkeit der Massnahmen» (x-Achse) gebildet. Die Überkriterien werden aus dem Summenprodukt der vergebenen Punktzahl und der Gewichtung der einzelnen Unterkriterien berechnet. Pro Überkriterium können maximal 18 Punkte erreicht werden. Eine Massnahme mit einer Machbarkeit zwischen 10 - 18 wird als «machbar» bis «sehr gut machbar» eingestuft. Liegt die Machbarkeit in einem Bereich von 0 – 8 wird die Massnahme als «nicht machbar» bis «schlecht machbar» eingestuft. Nachfolgend sind die Unterkriterien und deren Gewichtung beschrieben.

#### Potential

- Verbesserungspotential (Basis IST-Zustand) [kg CO<sub>2</sub>-äq/E/a] (Gewichtung = 2)
- Potentialentwicklung (Basis 2050): (Gewichtung = 4)

*Die Bewertung der «Potentialentwicklung» entspricht dem «Verbesserungspotential (Basis IST-Zustand)», sofern ohne die Umsetzung der Massnahme selbst, keine Veränderungen zu erwarten sind. Dadurch soll vermieden werden, dass Massnahmen vernachlässigt werden, weil bereits von einer gesicherten Umsetzung ausgegangen wird.*

**Machbarkeit:**

- Kosten/ Finanzierung (gesicherte Finanzierung? / Kostenhöhe) (Gewichtung = 2)
- Umsetzbarkeit (technisch / politisch) (Gewichtung = 2)
- Umsetzungsdauer (Gewichtung = 1)

*Falls die Massnahme nicht vor 2050 umgesetzt werden kann, wird mit 0 Punkten bewertet. Kann die Massnahme ohne grössere Einschränkungen theoretisch sofort umgesetzt werden wird mit 3 Punkten bewertet.*

- Nebeneffekte (positiv/negativ) (Gewichtung = 1)

*Falls weder positive noch negative Nebeneffekte zu erwarten sind, wird mit 1.5 Punkten bewertet. Bei negativen Effekten reduziert sich, bei positiven Nebeneffekten erhöht sich die Punktzahl.*

## 7.4 Massnahmen und Beurteilung

Die Tabelle 7-1 zeigt die Massnahmen und deren Beurteilung bezüglich Potentials zur THG-Vermeidung und Machbarkeit. Es ist zu beachten, dass die Massnahmen nicht zwingend kumulativ wirken.

**Tabelle 7-1: Massnahmenliste und Beurteilung**

Was		Massnahme	Beschrieb und Machbarkeit (nicht bis schlecht machbar, machbar bis gut machbar, neutral)	Verbesserungspotential Heute [kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a] (hohes Potential, mittleres Potential, geringes Potential)	Verbesserungspotential Künftig (2050) [kg CO <sub>2</sub> -äq/E/a] (↓ Abnahme / Zunahme ↑)
<b>Scope 1: Direkte Emissionen</b>					
N <sub>2</sub> O	L1	Leistungssteigerung Stickstoffelimination > 70% <sub>N</sub>	Die Lachgasreduktion erfolgt durch die Erhöhung der Stickstoffelimination. Die Erfolgskontrolle kann durch periodische Emissionsmessungen gewährleistet werden (wird BAFU-intern noch diskutiert). <b>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</b>	- 50 bis 60 <sup>1)</sup> (exkl. Bau)  (Gemäss Kapitel 6.6.2 und Tabelle 6-1 ist der Netto-Effekt der Biogaseinbussen und des reduzierten Stromverbrauchs vernachlässigbar)	Nach schweizweiter Erhöhung der Stickstoffelimination weniger Potential vorhanden  ↓
	L2	Betriebliche Optimierung bei denitrifizierenden Anlagen (Sofortmassnahmen)	Schnellere (Teil-)Umsetzung der Massnahmen L1 durch betriebliche Optimierung bei denitrifizierenden Anlagen: - Erhöhung interne Rezirkulation - intermittierende Belüftung - Verkürzung Aufenthaltszeit VKB Die Erfolgskontrolle kann durch periodische Emissionsmessungen gewährleistet werden (wird BAFU-intern noch diskutiert). <b>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</b>	Noch offen > - 10	Nach schweizweiter Erhöhung der Stickstoffelimination weniger Potential vorhanden  ggf. höhere Bedeutung, wenn mehr denitrifizierende Anlagen mit Elimination von < 70% <sub>N</sub> existieren  ↓

	L3	Abluftbehandlung bestehender Faulwasserbehandlungsanlagen (z.B. mit RTO)	<p>Zur Entlastung der biologischen Reinigung werden Faulwasserbehandlungen nachgerüstet (Stabilisierung Nitrifikation, Verbesserung Denitrifikation durch C zu N Verhältnis). Die Lachgasemissionen in der Faulwasserbehandlung werden durch Abluftbehandlung oder Stripping vermieden.</p> <p>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</p>	-1 bis 2	<p>Es gibt noch keinen Zwang FAW- Behandlungen "ohne Lachgasemissionen" zu errichten --&gt; Neue Anlagen ohne Abluftbehandlung denkbar</p> <p>↑</p>
	L4	Vermeidung von Lachgasemissionen in der biologischen Reinigung durch Ausrüstung von ARAs mit Faulwasserbehandlungsanlagen (inkl. Abluftbehandlung z.B. mit RTO als Zusatz; oder Stripping)	<p>Zur Entlastung der biologischen Reinigung werden Faulwasserbehandlungen nachgerüstet (Stabilisierung Nitrifikation, Verbesserung Denitrifikation durch C zu N Verhältnis). Die Lachgasemissionen in der Faulwasserbehandlung werden durch Abluftbehandlung oder Stripping vermieden.</p> <p>Rein für die Reduktion von THG-Emissionen ist die Massnahme aufgrund der undefinierten Verantwortlichkeit zur Finanzierung und wegen des erhöhten Energiebedarfs «nicht machbar» bis «schlecht machbar».</p>	-4 bis -17	<p>ohne Umsetzung der Massnahme keine Veränderung des Potentials erwartet</p> <p>→</p>
	L5	Abluftbehandlung Biologiebecken	<p>Abdeckung Biologiebecken &amp; Abluftbehandlung</p> <p>Die Massnahme verursacht erhebliche Kosten und ist nur selektiv für grosse Anlagen, welche auch ein dazu geeignetes biologisches Reinigungsverfahren betreiben (z.B. Festbett) denkbar. Betrachtet man die gesamte Branche der ARAs ist die Massnahme «nicht machbar» bis «schlecht machbar».</p>	theoretisch -50 bis -60 (nur wenige Anlagen kommen in Frage, der Abwasseranteil von Festbettanlagen beträgt 13%)	<p>Nach schweizweiter Erhöhung der Stickstoffelimination weniger Potential vorhanden</p>

CH <sub>4</sub>	M1	Nachträgliche Stapelabdeckung	Abdeckung offener Schlammstapelbehälter und Anschluss ans Gassystem der Kläranlage. <i>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</i>	- 10 <i>(Vermeidung Emissionen aus allen offenen Stapeln)</i>	ohne Umsetzung der Massnahme keine Veränderung des Potentials erwartet
	M2	Behebung von Leckagen durch Messpflicht mit Umsetzungsnachweis	Leckagen erkennen und abdichten. <i>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</i>	Vermutlich grosse Unterschiede zwischen Anlagen	ohne Umsetzung der Massnahme keine Veränderung des Potentials erwartet
CO <sub>2</sub>	C1	Sammlung und Verflüssigung biogenes CO <sub>2</sub> im biologischen Reinigungsprozess	Biologiebecken werden abgedeckt und die Abluft aufgefangen. Das CO <sub>2</sub> wird gesammelt und verflüssigt. Das CO <sub>2</sub> fällt hier in einer geringen Konzentration an. <i>Die Massnahme verursacht erhebliche Kosten, ist technisch sehr anspruchsvoll und die Planung zeitintensiv. Die Massnahme ist daher «nicht machbar» bis «schlecht machbar».</i>	- 20 bis 30 <i>(Annahme gesamtes CO<sub>2</sub> kann gesammelt werden)</i>	zentrale Negative Emission Technology (NET) 
	C2	Sammlung und Verflüssigung des abgeschiedenen CO <sub>2</sub> im Prozess der Klärgasaufbereitung	Das bei der Gasaufbereitung anfallende CO <sub>2</sub> wird aufgefangen und verflüssigt. Die CO <sub>2</sub> -Entnahme ist bereits Teil des Prozesses. <i>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</i>	-2 bis -3 <i>(Annahme gesamtes CO<sub>2</sub> kann gesammelt werden)</i>	zentrale Negative Emission Technology (NET) 
	C3	Sammlung und Verflüssigung des CO <sub>2</sub> aus dem Rauchgas der BHKWs	Das bei der Klärgasverbrennung anfallende CO <sub>2</sub> wird aufgefangen und verflüssigt. Bei der Verbrennung fällt das CO <sub>2</sub> relativ konzentriert an. <i>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</i>	- 10 bis -20 <i>(Annahme gesamtes CO<sub>2</sub> kann gesammelt werden)</i>	zentrale Negative Emission Technology (NET) 
	C4	Substitution fossiler Wärmequellen auf ARAs (Vermeidung direkter Emissionen aus stationärer Verbrennung)	Vollständiger Verzicht auf fossile Brennstoffe auf ARAs. <i>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</i>	< - 0.5 <i>(Basierend auf fossilen Brennstoffverbrauch auf Zürcher ARAs)</i>	ohne Umsetzung der Massnahme keine Veränderung des Potentials erwartet

Scope 2: indirekte Emissionen aus eingekaufter, netzgebundener Energie					
Energie	E1	Reduktion Stromverbrauch	Reduktion des Stromverbrauchs um ca. 10% durch gesteigerte Effizienz der Maschinen oder energetisch optimiertem Betrieb. <i>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</i>	-0.5 bis – 1 (Basis Strommix heute)	Gesamtstrombedarf in der Schweiz steigt (Elektromobilität, Wärmeproduktion...) 
	E2	Ausbau Abwasserwärmeverwendung (Wärmebereitstellung und Nutzung)	Potential zur Wärmeproduktion von ca. 2 TWh/a <sup>2)</sup> (Entspricht ca. 2% des heutigen resp. 2.5 % des künftigen Wärmebedarfs der Schweiz) <sup>2)</sup> Das Potential wird als sehr gross eingeschätzt, jedoch verursacht die Massnahme erhebliche Kosten und einen enormen Betriebsaufwand (Verwaltung der Kunden etc.). Zudem liegt die Umsetzung aufgrund der vielen beteiligten Interessengruppen nicht in den Händen der ARAs. Auf Ebene der ARAs ist die Wärmerückgewinnung und Bereitstellung gut machbar. Der Nutzen der Wärme erfordert jedoch Interventionen über die Systemgrenze hinaus.	ca. -50 (Annahme Substitution Erdöl und Erdgas)	Heute können fossile Energieträger substituiert werden. Künftig werden nur noch Wärmesonden, Holzschnitzelanlagen o.ä. substituiert. 
	E3	Ausbau Photovoltaik-Anlagen	Ca. 70 – 110 GWh/a (Entspricht ca. 0.2% des heutigen CH-Strombedarfs) <sup>3)</sup> <i>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</i>	-0.5 bis - 1 (Basis Strommix heute)	Gesamtstrombedarf in der Schweiz steigt (Elektromobilität, Wärmeproduktion...) Es wird davon ausgegangen, dass der Solarstrom auf ARAs für die Dekarbonisierung des Strommixes in der Schweiz benötigt wird.
	E4	Valorisierung Kohlenstoff	Erhöhung Gasanteil in der Klärgasverwertung oder -aufbereitung. Erhöhung Gasproduktion durch höhere Abscheideleistung in der Vorklärung und somit	Unbekannt	unbekannt

		Strom-, Wärme- oder Biogasproduktion (Konflikt mit Stickstoffelimination). Wenn die Valorisierung des Kohlenstoffs erreicht werden kann ohne die Stickstoffelimination zu beeinträchtigen ist die Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar».		
--	--	--	--	--

Scope 3: Indirekte Emissionen aus vorgelagerter / nachgelagerter Wertschöpfungskette					
MV	MV1	Verwendung erneuerbarer Kohle	Bei der Umsetzung einer EMV mit PAK werden erneuerbare PAK-Produkte getestet und falls möglich verwendet. Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».	< -0.5 <sup>4)</sup>	Potential nimmt durch Ausbau EMV-Anlagen stark zu (siehe Kapitel 7.4) 
	MV2	Verbesserung Betrieb	Reduktion des Aktivkohle- und Ozonverbrauchs Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».	< -0.5 <sup>4)</sup>	Potential nimmt durch Ausbau EMV-Anlagen stark zu, ggf. Abnahme durch GSchV. Anpassungen (höhere Eliminationsleistung) (siehe Kapitel 7.4) 
	MV3	Erhöhung Anteil Reaktivat	Steinkohle mit 50% Reaktivat Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».	< -0.5 <sup>4)</sup>	Potential nimmt durch Ausbau EMV-Anlagen stark zu (siehe Kapitel 7.4) 
Bau	B1	Betoneinsparung	Reduktion der zu verbauenden Kubaturen durch Effizienz Steigerung im Bau oder neuartigen Produkten Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».	- 0.5 bis -1	ggf. Reduktion des Potentials durch Verfügbarkeit von klimafreundlicherem Beton

	B2	Betoneinsparung durch Steuerungsoptimierung	Leistungssteigerung der ARA durch optimierte Steuerung der biologischen Reinigung, wodurch bauliche Vergrösserung vermieden/reduziert wird. <i>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</i>	- 0.5 bis -1	ggf. Reduktion des Potentials durch Verfügbarkeit von klimafreundlicherem Beton
	B3	Einsparungen beim Stahl	Einsatz alternativer Baumaterialien für Gebäude und Rohrleitungen <i>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</i>	- 0.5 bis -1	
	B4	Vermeidung tiefer Baugruben und Aushub	Durch die Anpassung des Wasserspiegels mit Hebewerken wird die Baugrubentiefe verringert werden. <i>Die Massnahme ist «machbar» bis «sehr gut machbar».</i>	- 0.5 bis -1	

<sup>1)</sup> Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA, Michael Thomann et al. (2022),

<sup>2)</sup> Dekarbonisierung des Wärme-/Kältesektors, Ernst A. Müller, Martin Jakob, Andre Müller, Aqua und Gas N°9 2020

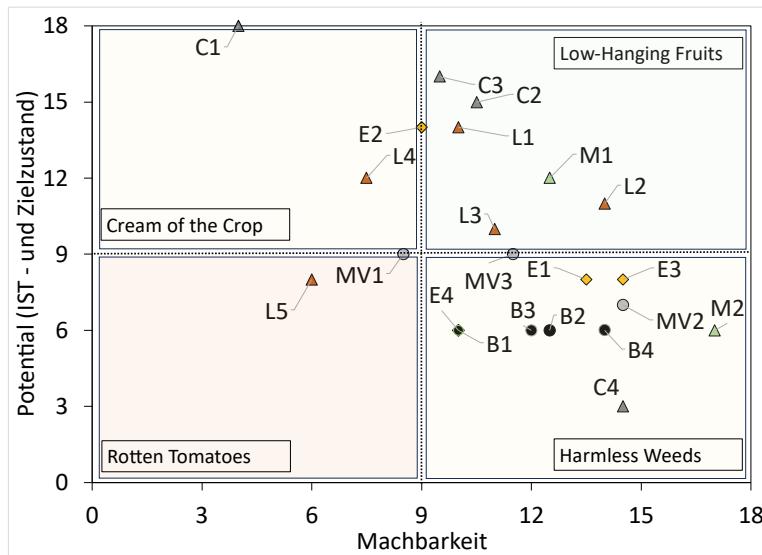
<sup>3)</sup> Solarenergie auf Kläranlagen, Ernst A. Müller Umweltperspektiven 4 2021

<sup>4)</sup> A&G «Klimafreundlich Gewässer schützen» 2020 (Aline Meier, Christian Remy)

## Priorisierung der Massnahmen

Die Abbildung 7-1 zeigt die beurteilten Massnahmen in der grafischen Darstellung. In der Abbildung ist das Potential (y-Achse) gemäss Kapitel 7.3 dargestellt. Das dargestellte Potential ist ein gewichtetes Mittel aus dem heutigen Verbesserungspotential und der Potentialentwicklung bis zum Zielzustand 2050. Die Massnahmen, für welche sich diese beiden Potentiale unterscheiden, werden weiter unten diskutiert.

- **«Low-Hanging Fruits»:** Die Massnahmen (L1, L2, L3, M1, C2 und C3) im oberen rechten Quadranten wurden sowohl mit einem hohen Potential für die Vermeidung von THG-Emissionen als auch einer hohen Machbarkeit bewertet. Bei diesen Massnahmen muss lediglich die Umsetzung sichergestellt werden. Gesetze oder marktwirtschaftliche Instrumente sind vermutlich notwendig, um die erforderlichen Anreize für die Umsetzung zu erzeugen.
- **«Cream of the Crop»:** Die Massnahmen (C1, E2 und L4) im oberen linken Quadranten haben ein grosses Potential zur Vermeidung von THG-Emissionen, sind aber in der Machbarkeit limitiert. Zusätzliche Massnahmen wie Förderung, Entwicklung in der Technologie oder Steigerung der verfügbaren Ressourcen sind nötig, um die Machbarkeit zu erhöhen.
- **«Harmless Weeds»:** Die Massnahmen im unteren rechten Quadranten haben kein grosses Potential bezüglich Vermeidung von THG-Emissionen, wären aber aufgrund der Machbarkeit einfach/gut durchzusetzen. Dies Massnahmen dürfen nicht vernachlässigt werden, sind aber erst in zweiter Priorität zu verfolgen.
- **«Rotten Tomatoes»:** Die Massnahmen im unteren linken Quadranten sind aktuell weder bezüglich des Potentials für THG-Einsparungen noch der Machbarkeit interessant für die Weiterverfolgung. Die Massnahme L5 verliert aufgrund der kommenden Steigerung der Stickstoffelimination an Potential. Bei dem heutigen noch hohen Potential ist die Lachgaselimination in der Abluft einer biologischen Reinigung noch nicht Stand der Technik. Wird dies künftig der Fall sein, wird das Potential aber bereits stark abgenommen haben.



L1	Leistungssteigerung Stickstoffelimination	E1	Reduktion Stromverbrauch
L2	Betriebliche Optimierung bei denitrifizierenden Anlagen	E2	Ausbau Abwasserwärmenutzung
L3	Abluftbehandlung bestehender FAW-Behandlungen	E3	Ausbau Photovoltaik-Anlagen
L4	Ausrüstung ARAs mit FAW-Behandlungen (mit Abluftbehandlung)	E4	Valorisierung Kohlenstoff
L5	Abluftbehandlung Biologiebecken (Lachgasvernichtung)	MV1	Verwendung erneuerbarer Kohle
M1	Nachträgliche Stapelabdeckung	MV2	Verbesserung Betrieb
M2	Behebung von Leckagen durch Messpflicht mit Umsetzungsnachweis	MV3	Erhöhung Anteil Reaktivat
C1	CO2-Entnahme biogenes CO2 im biologischen Reinigungsprozess	B1	Betoneinsparung im Bau
C2	CO2-Entnahme im Prozess der Klärgasaufbereitung	B2	Betoneinsparung durch Steuerungsoptimierung
C3	CO2-Entnahme aus dem Rauchgas der BHKWs	B3	Stahleinsparung durch alternative Materialien
C4	Substitution fossiler Wärmequellen auf ARAs	B4	Vermeidung von tiefen Baugruben

**Abbildung 7-1: Grafische Darstellung der Beurteilung der Massnahmen. Das Potential wird aus dem gewichteten Mittel vom Potential heute und dem Potential künftig (2050) berechnet (Vergl. Kapitel 7.2).**

### Potentialentwicklung

In Kapitel 6.6 wurden die Entwicklungen und deren Einfluss auf die THG-Emissionen auf ARAs beschrieben. In Abbildung 7-2 sind jene Massnahmen dargestellt, für welche eine massgebende Veränderung des Potentials bis 2050 erwartet wird (Vergl. Tabelle 7-1). In der Abbildung wird die Verschiebung vom heutigen Potential (Ausgangspunkt) zum künftigen Potential (Endpunkt) gezeigt. Die Variabilität in der Machbarkeit wurde nicht beurteilt und als konstant angenommen.

Die Lachgasemissionen in der biologischen Reinigung werden durch die Leistungssteigerung bezüglich Stickstoffelimination (> 70%) reduziert. Folglich wird das Potential der Massnahmen L1 und L2 stark reduziert, bleibt aber immer noch relevant. Die Faulwasserbehandlung ist eine der möglichen Massnahmen zur Leistungssteigerung, weshalb ein Ausbau dieser Verfahrensstufe erwartet wird. Da eine Abluftbehandlung zum jetzigen Zeitpunkt nicht gefordert wird, können die THG-Emissionen durch die Faulwasserbehandlung zunehmen. Als Konsequenz steigt auch das Potential der Massnahme L3 (Abluftbehandlung).

Durch den Ausbau der EMV steigt der Energie- und Betriebsmittelverbrauch (Flüssigsauerstoff, Aktivkohle) stark an. Basierend auf den heutigen Emissionsfaktoren für Strom und Aktivkohle werden auch die daraus resultierenden THG-Emissionen deutlich ansteigen. Nicht berücksichtigt ist, dass der Energie- und Gütersektor auch Massnahmen zur Erreichung des Netto-Null Ziels treffen werden. Gemäß Kapitel 6.6.3 wird die Dekarbonisierung des Energiesektors bis im 2050 erwartet. Die auf ARAs produzierten Strom und Wärme leisten ihren Beitrag dazu. Im Gegensatz zu den Betriebsmitteln für die EMV, können die ARAs die Entwicklung im Energiesektor direkt beeinflussen.

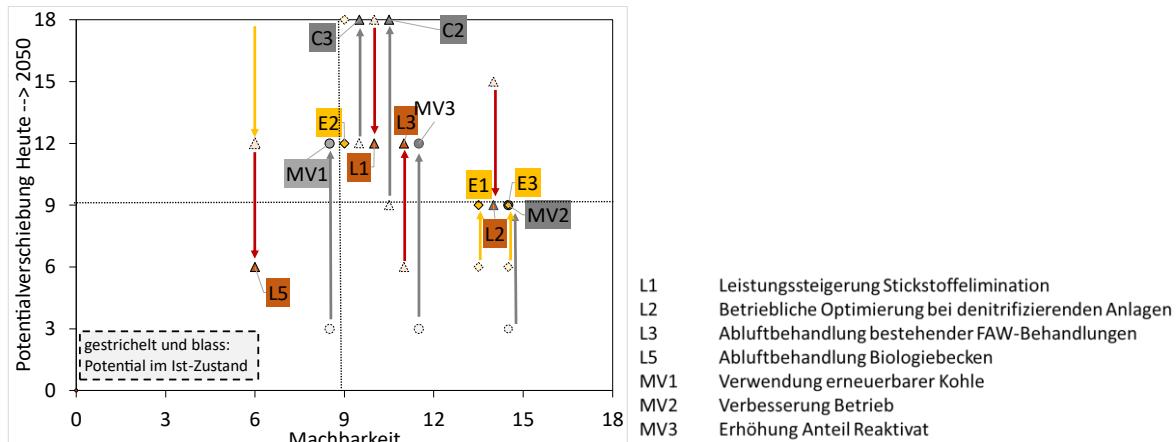


Abbildung 7-2: Massnahmen für welche sich das Potential gemäss der Beurteilung in Tabelle 8 1 bis zum Zielzustand 2050 verändern wird.

## 7.5 Schlussfolgerungen

- Den grössten Beitrag zur Reduktion der THG-Emissionen können ARAs durch die Vermeidung von prozessbedingten, direkten Emissionen (Lachgas, Methan) leisten. Als Senke ( $\text{CO}_2$  Entnahme und Speicherung) werden die ARAs vermutlich eine untergeordnete Rolle spielen.
- Die effektivsten Massnahmen zur Reduktion der Lachgas- und Methanemissionen (L1, L2, L3, M1 und M2) sind grundsätzlich bekannt und schneiden bezüglich Machbarkeit auch gut ab.
- Das Potential der Massnahmen zur Vermeidung von Lachgasemissionen wird sich durch das Inkrafttreten der aktualisierten GSchV stark reduzieren. Dennoch bleiben die verbleibenden Emissionen relevant. Der Fokus der Massnahmen wird sich aber ändern (z.B. Massnahmen Biologie zu Faulwasserbehandlungsanlagen) und die Anlagengrösse wird über die sinngemäße Umsetzung entscheiden.
- Massnahmen betreffend Betriebsmittel, Bau und Energie haben bezüglich THG-Vermeidung ein tieferes Potential, sind aber grundsätzlich machbar.
- Die Massnahmen zur Vermeidung von indirekten Emissionen durch die EMV gewinnen durch den Ausbau dieser Reinigungsstufe und den dadurch steigenden Betriebsmittelverbrauch an Bedeutung.
- Obwohl die THG-Emissionen durch den Ausbau der EMV zunehmen werden, ist das Verbesserungspotential verglichen zu den direkten Emissionen (Lachgas, Methan und  $\text{CO}_2$ ) noch eher gering. Trotzdem dürfen diese Massnahmen nicht vernachlässigt werden.
- Die Massnahmen zur  $\text{CO}_2$  Entnahme (und Speicherung) könnten durch ihre Funktion als negative Emissionstechnologie an Bedeutung gewinnen. Die Technologie ist aus dem Bereich von Verbrennungsanlagen bekannt und verfügbar. Die Mengen auf ARAs spielen aber vergleichsweise eine untergeordnete Rolle. Es wird sich am Markt zeigen, ob die ARAs als Senken konkurrenzfähig sein werden.

## 7.6 Risiken, Offene Punkte

- Das berechnete Potential aller Massnahmen zur  $\text{CO}_2$  Entnahme (und Speicherung) basiert der Annahme, dass theoretisch das gesamte anfallende  $\text{CO}_2$  aufgefangen werden kann. Es erfolgte keine Untersuchung welche ARAs tatsächlich in Frage kommen und wie hoch die dortigen Emissionen sind.
- Die Bewertung der Massnahmen folgt keiner strikt definierten Metrik, wodurch eine gewisse Subjektivität in der Bewertung nicht ausgeschlossen werden kann.

## 8 Umsetzung der Massnahmen

### 8.1 Vorgehen

- Definition möglicher Mindestanforderung zur Vermeidung von THG-Emissionen
- Definition möglicher Lenkungsmöglichkeiten
- Definition des Interventionsgrads zur Umsetzung der Massnahmen mittels Regulierungspyramide

### 8.2 Mindestanforderungen

Nummerische Mindestanforderungen bezüglich THG-Emissionen werden grundsätzlich nicht gewünscht. Vielmehr sollt die Vermeidung von THG-Emissionen in bestimmten Bereichen als Stand der Technik betrachtet werden und mit einer Umsetzungspflicht belegt werden:

- Ganzjährige Nitrifikation zur Reduktion von Lachgasemissionen (L1, L2 und L4)
- Abluftbehandlung bei Faulwasserbehandlung zur Vermeidung von Lachgasemissionen (L3)
- Stapelabdeckung zur Vermeidung von Methanemissionen und Steigerung Gasausbeute (M1)
- Prüfpflicht bezüglich Methanleckagen (M2)

Für nummerische Mindestanforderungen bezüglich Lachgasemissionen fehlt die Datengrundlage.

### 8.3 Lenkungsmöglichkeiten

Bis 2030 können über die Klik-Programme Fördergelder für Massnahmen zur CO<sub>2</sub>-Kompensation eingeholt werden. Die Programme umfassen Massnahmen zur Vermeidung von Methanemissionen und Lachgasemissionen sowie Abwärmenutzung. Die Klik-Programme sind Teil der Kompensationspflicht für Treibstoff-Importeure, welche im CO<sub>2</sub>-Gesetz verankert ist. Es handelt sich dabei also nicht um öffentliche Gelder. Das CO<sub>2</sub>-Gesetz ist noch bis 2030 in Kraft. Die Zukunft nach 2030 ist noch unbekannt. Alternativ können CO<sub>2</sub>-Einsparungen auf dem freien Markt – zu schlechteren Konditionen – gehandelt werden.

### 8.4 Interventionsgrad für Umsetzung der Massnahmen

In Tabelle 8-1 ist der Interventionsgrad zur Sicherstellung jeder Massnahme aufgelistet. Die Interventionsgrade werden von der Regulierungspyramide gemäss Gunningham und Gabrovsky übernommen. Die Pyramide war die Diskussionsgrundlage für die Tabelle 8-1.

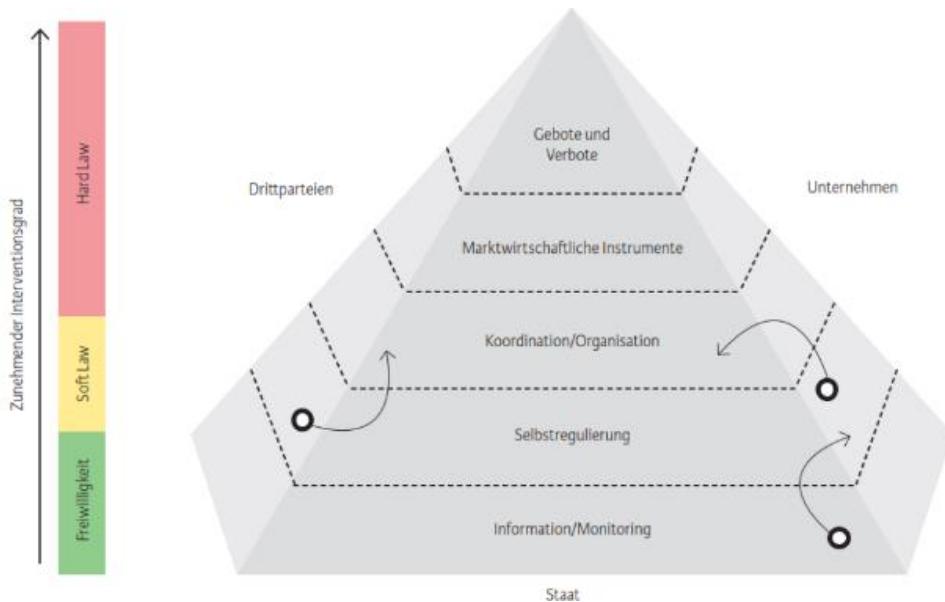


Abbildung 8-1 Regulierungspyramide gemäss Cunningham und Gabrosky

Tabelle 8-1: Interventionsgrad zur Sicherstellung der Umsetzung der Massnahmen

Beurteilung	Massnahme		Interventionsgrad
Low Hanging Fruits (Grosses Potential, gute Machbarkeit)	L1	Leistungssteigerung Stickstoffelimination > 70% <sub>N</sub>	Gebot (kommt mit Motion 20.4261)
	L2	Betriebliche Optimierung bei denitrifizierenden Anlagen (Sofortmassnahmen)	Marktwirtschaftliche Instrumente und Information (Beschleunigte Umsetzung durch finanzielle Anreize denkbar)
	L3	Abluftbehandlung bestehender Faulwasserbehandlungsanlagen	Information, Gebot prüfenswert
	M1	Nachträgliche Stapelabdeckung	Information, Gebot prüfenswert
	C2	Sammlung und Verflüssigung des abgeschiedenen CO <sub>2</sub> im Prozess der Klärgasaufbereitung	Marktwirtschaftliche Instrumente (Beschleunigte Umsetzung durch finanzielle Anreize denkbar)
	C3	Sammlung und Verflüssigung des CO <sub>2</sub> aus dem Rauchgas der BHKWs	Marktwirtschaftliche Instrumente (Beschleunigte Umsetzung durch finanzielle Anreize denkbar)

Cream of the Crop (Grosses Potential, schlechte Machbarkeit)	C1	Sammlung und Verflüssigung biogenes CO <sub>2</sub> im biologischen Reinigungsprozess	Marktwirtschaftliche Instrumente (Beschleunigte Umsetzung durch finanzielle Anreize denkbar)
	E2	Ausbau Abwasserwärmeverwendung (Wärmebereitstellung und Nutzung)	Marktwirtschaftliche Instrumente (Beschleunigte Umsetzung durch finanzielle Anreize denkbar)
	L4	Vermeidung von Lachgasemissionen in der biologischen Reinigung durch Ausrüstung von ARAs mit Faulwasserbehandlungsanlagen (inkl. Abluftbehandlung)	Zur Reduktion von THG-Emissionen nicht empfohlen (In Einzelfällen durchaus sinnvoll <sup>1)</sup> )
Harmless Weeds (Kleines Potential, gute Machbarkeit)	M2	Behebung von Leckagen durch Messpflicht mit Umsetzungsnachweis	Gebot prüfenswert
	C4	Substitution fossiler Wärmequellen auf ARAs (Vermeidung direkter Emissionen aus stationärer Verbrennung)	Gebot prüfenswert
	E1	Reduktion Stromverbrauch	Marktwirtschaftliche Instrumente (Beschleunigte Umsetzung durch finanzielle Anreize denkbar)
	E3	Ausbau Photovoltaik-Anlagen	Marktwirtschaftliche Instrumente (Beschleunigte Umsetzung durch finanzielle Anreize denkbar)
	E4	Valorisierung Kohlenstoff	Information
	MV2	Verbesserung Betrieb	Information
	MV3	Erhöhung Anteil Reaktivat	Information
	B1	Betoneinsparung	Information
	B2	Betoneinsparung durch Steuerungsoptimierung	Information
	B3	Einsparungen Stahl	Information
Rotten Tomatoes (kleines Potential, schlechte Machbarkeit)	B4	Vermeidung tiefer Baugruben und Aushub	Information
	L5	Abluftbehandlung Biologiebecken	Information (In Einzelfällen durchaus sinnvoll <sup>2)</sup> )
	MV1	Verwendung erneuerbarer Kohle	Selbstregulierung

<sup>1)</sup> Fallbeispiele (ARA Hofen, ARA Werdhölzli) haben gezeigt, dass die Nachdosierung von Faulwasser zu einem schlechten Kohlenstoff- zu Stickstoffverhältnis und somit erhöhten Lachgasemissionen führen, weshalb in diesen Fällen eine Faulwasserbehandlung trotzdem sinnvoll sein kann.

<sup>2)</sup> Zum Beispiel bei Festbettanlagen ARA Bern, STEP Genève

## 8.5 Schlussfolgerungen

- Die Lachgasemissionen werden zu einem grossen Teil durch die Motion 24.4261 adressiert. Obwohl die Emissionsfaktoren stark vermindert werden, bleiben die Lachgasemissionen - besonders bei sehr grossen Anlagen - relevant.
- Die Umsetzungswahrscheinlichkeit der Massnahmen L3, M1 und M2 wäre durch eine gesetzliche Verpflichtung erhöht.
- Stapelabdeckungen (M1) sollen künftig per Gesetz gefordert werden. Bisher bestand die Möglichkeit zur freiwilligen Umsetzung mit Vergütung für Stapelabdeckungen und konnte genutzt werden.
- Im Bereich des Baus und Betriebsmittelverbrauch zur EMV sollen die Massnahmen über den Informationsfluss umgesetzt werden.
- Projekte zur CO<sub>2</sub>-Entnahme (und Speicherung) brauchen für die Umsetzung einen finanziellen Anreiz und müssen den Mehraufwand für die ARAs kompensieren. Da sie nicht in deren Aufgabengebiet liegt und geregelt werden, können sie nicht über die Gebühren finanziert werden.
- Auch ARAs werden künftig ihre nicht-vermeidbaren THG-Emissionen kompensieren müssen. Dann stellt sich die Frage, ob es günstigere Alternativen gibt als das eigene, biogene CO<sub>2</sub> zu sammeln. Dies ist nur bei Speicherung des biogenen CO<sub>2</sub> sinnvoll.
- Keine Überregulierung durch nummerische Anforderungen, sondern eher Umsetzung von Prüfpflichten und des Stands der Technik.
- Die aktuellen Fördermechanismen laufen nur noch bis 2030 und basieren auf dem Prinzip der CO<sub>2</sub>-Kompensation.

## 9 Zusammenfassung / Schlussbetrachtung

- Die heutigen THG-Emissionen durch die gesamtschweizerische Abwasserreinigung auf Kläranlagen konnten aufgezeigt und die grössten Quellen identifiziert werden. Ausserdem wurden künftige Entwicklungen berücksichtigt und deren Einfluss auf die THG-Emissionen besprochen (Elimination von Mikroverunreinigungen, Leistungssteigerung Stickstoffelimination, usw.)
  - ARAs können primär durch die Vermeidung der direkten, prozessbedingten THG-Emissionen (Lachgas, Methan) einen Beitrag zum Netto-Null Ziel der Schweiz leisten.
  - Die Lachgasemissionen dominieren die THG-Emissionen auf Kläranlagen, werden aber durch die kommende Anpassung der GSchV bereits adressiert bleiben aber relevant. Aufgrund der immer noch kleinen Datengrundlage sind die Emissionsfaktoren mit Unsicherheit behaftet.
  - Das biogene CO<sub>2</sub> fällt im Vergleich zu den restlichen THG-Emissionen auf ARAs in bedeutenden Mengen an. Im Vergleich zu Verbrennungsanlagen sind diese Mengen jedoch eher klein. Die Machbarkeit hängt stark davon ab, ob sich die CO<sub>2</sub>-Entnahme auf ARAs marktwirtschaftlich durchsetzen kann.
  - Bauliche Massnahmen spielen im Vergleich zum Betrieb eine eher untergeordnete Rolle.
- Das Verbesserungspotential konnte aus dem Ist-Zustand abgeleitet und ein breiter Massnahmenkatalog erstellt und beurteilt werden.
- Eine vereinheitlichte Darstellung der unterschiedlichen Emissionsquellen ist erfolgt. Dies macht die Massnahmen miteinander vergleichbar.
- Die Massnahmen konnten qualitativ aus ökonomischer und betrieblicher Sicht beurteilt werden. Einzelfallbetrachtungen für spezifische ARAs sind grundsätzlich nicht erfolgt.
- Auf numerische Mindestanforderungen bezüglich THG-Emissionen sollte aufgrund der mangelhaften Datengrundlage und schwierigen Anwendbarkeit für die unterschiedlichen Anlagengrössen und Rahmenbedingungen verzichtet werden. Vielmehr sollte die Umsetzung des Stands der Technik und die Erhebung der Emissionen durchgesetzt werden.

## 10 Offene Punkte

- Excel-Tool für die Ermittlung der THG-Emissionen einer individuellen Kläranlage
- Motivation und Anleitung zur Senkung der THG-Emissionen für Betreiber (Sofortmassnahmen)
- Übersicht THG-Emissionen der verschiedenen biologischen Reinigungsverfahren
- Ansätze für verschiedene Grössenklassen von ARAs
- Sensibilisierung der Betreiber

## 11 Anhang

### 11.1 Begleitgruppe

Für die Bearbeitung der Studie wurde eine Begleitgruppe mit Experten aus verschiedenen Bereichen zusammengestellt.

	Name	Organisation	Funktion
Experten Klima/Energie vom Bund (3-4)	Damian Dominguez	BAFU	PL 'Gesetzesaktualisierung'
	Sébastien Lehmann	BAFU	PL Projekt Netto Null
	Elena Burri / Melanie Gay / Aric Gliesche	BAFU	CO2-Kompensation BAFU
	Nathalie Bachmann	BFE	Erneuerbare Energien
Experten Klima/Energie Kantone (2-3)	Reto Manser	AWA Bern	Sektionsleitung
	Edith Durisch	AWEL Zürich	Siedlungswasserwirtschaft
Experten Klima/Energie Gemeinden (1-2)	Urs Reichmuth	ARA Untermarch, Lachen	Sektionsleitung ARA
	Reto Manser (als Stv. für Christian Abegglen)	VSA	Betriebsleiter
VSA / SVKI / Betreiber (1-2)	Adrian Schuler	ARA Bern / SVKI	Leiter CC Abwasserreinigung
	Christian Zumkeller	SIG (Genève)	Geschäftsführer
	Wenzel Gruber	EAWAG	Leiter Sektion Abwasser
Forschung (2-3)	Adriano Joss	EAWAG	Abteilung Verfahrenstechnik / Begleitung Lachgasprojekte
	Michael Thomann	FHNW	Abteilung Verfahrenstechnik / Begleitung Lachgasprojekte
Infrawatt (1)	Laure Deschaintre / Urban Frei	InfraWatt	Leiter Gruppe Umwelt- und Wassertechnologie

Abbildung 11-1: Begleitgruppe

### 11.2 Workshops

Die Erarbeitung der Meilensteine erfolgte in insgesamt vier Workshops:

	2023											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Sitzungen</b>												
Workshop 1: Verbesserungspotential												
Workshop 2: Mindestanforderungen												
Workshop 3: Massnahmen												
Workshop 4: Abschlussdokumentation												
<b>Projektschritte</b>												
Schritt 1: Dokumentation Ist Zustand												
Schritt 2: Identifikation Handlungsbedarf/Verbesserungspotential												
Schritt 3: mögliche Mindestanforderungen und Lenkungsmöglichkeiten												
Schritt 4: Priorisierung von Massnahmen anhand definierter Kriterien												
Dokumentation und Vernehmlassung												
Abschluss												
Aqua und Gas Artikel (D/F/I)												

Abbildung 11-2: Meilensteinprogramm

Im nachfolgenden sind die Beschlüsse aus den Workshops aufgelistet:

#### 11.2.1 Workshop 1: Verbesserungspotential (13. Februar 2023)

##### Systemgrenze:

- Das Abwassernetz kann grundsätzlich abgegrenzt werden. Die Abgrenzung muss jedoch klar begründet sein.

- Ein Hinweis zu den möglichen Entwicklungen im Netz und deren Auswirkungen auf die zu reinigende Abwassermenge muss gemacht werden.
- Die Kältebereitstellung wird trotz des vorhandenen Marktes und Potentials ausgegrenzt, da diese mit der heutigen Erwärmung der Oberflächengewässer stark im Konflikt steht.
- Leckagen und Schlupf (Gasaufbereitung) müssen bei den Methanemissionen berücksichtigt werden. Im Kanton Zürich erfolgen im Rahmen des Massnahmenplan «Klimaschutz» bereits verbindliche Überwachungen.
- In Bezug auf die Systemgrenze muss auch ein Hinweis für die Bilanzierung erfolgen. Einsparungen dürfen grundsätzlich nicht bereits anderen Projekten gutgeschrieben werden (Vermeidung von Doppelzählungen).
- Die verschiedenen biologischen Reinigungsverfahren können als mögliche Szenarien behandelt werden und deren Beitrag zu Netto-Null verglichen werden. Die Basis bildet jedoch die Belebtschlamm Biologie.
- Die direkten CO<sub>2</sub> Emissionen aus der biologischen Reinigung sind aufgrund ihrer grossen Mengen aufzuzeigen.
- Es gilt das Potential für eine wirtschaftliche CO<sub>2</sub>-Sequestrierung abzuschätzen.

#### **Dokumentation IST-Zustand:**

- In der Studie wird das Treibhausgas- Potential [kg CO<sub>2</sub>-äq] berücksichtigt und keine aggregierende Ökobilanzierung (z.B. Umweltbelastungspunkte o.ä.) durchgeführt.
- Die spezifischen THG-Emissionen werden pro Einwohner (E) und nicht pro Einwohnerwerte (EW) angegeben.
- Der IST-Zustand wird nicht mit exakten Zahlen beziffert. Die Angaben sind als Bereiche zu verstehen.
- Die angegebenen Zahlen werden mit Bezugsjahren referenziert.
- Künftig wird davon ausgegangen, dass sich die Verfahren zur Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV) gleichmässiger aufteilen (50% Ozon, 50 Aktivkohle → 25 % Pulveraktivkohle (PAK), 25% Granulierte Aktivkohle-Filter (GAK)). Eine exakte Prognose konnte nicht erfolgen. Der Vorschlag der 50%/50% Aufteilung von Ozon- und Aktivkohleverfahren wird akzeptiert.
- Der fossile Energiebedarf wurde mit der Datengrundlage des Kanton Zürichs berechnet und als repräsentativ für die ganze Schweiz angenommen. Unsicherheiten durch eine fehlende Klassifizierung der Anlagengrösse, werden in Kauf genommen.
- Für die Berechnung des Stromverbrauchs durch die Abwasserwärmeverwendung wird mit einem Coefficient of Performance von 4 gerechnet. Das ist grundsätzlich eher konservativ, aber für den Detaillierungsgrad der Studie angemessen.

### **11.2.2 Workshop 2: Mindestanforderungen (5. April 2023)**

#### **Mindestanforderungen**

- Für Lachgas werden zusätzliche numerische gesetzliche Anforderungen neben der Erhöhung der Anforderungen an die Stickstoffelimination nicht als sinnvoll erachtet. Es fehlt dazu die Datengrundlage.
- Eine Prüfpflicht für Lachgas- und Methanemissionen wird als sinnvoll erachtet.
- Die Rücklaufbehandlung braucht eine Abluftbehandlung.

- Schnellere Umsetzung durch betriebliche Optimierungen sollen gefördert respektive angeregt werden.

### 11.2.3 Workshop 3: Massnahmen (15. Juni 2023)

- Die Massnahmen werden anhand des Potentials zur Treibhausgasvermeidung (IST / Künftig) und der Machbarkeit beurteilt.
  - Das Potential setzt sich aus dem Potential im IST-Zustand und der Potentialentwicklung (Basis 2050) zusammen. Werden keine Veränderungen des Potentials vom IST-Zustand erwartet, ohne dass die Massnahme selbst umgesetzt wird, bleibt die Bewertung gleich.
  - Die Machbarkeit setzt sich aus den Kriterien «Kosten/Finanzierung», «technische Umsetzbarkeit», «Umsetzungsdauer» und «Nebeneffekte» zusammen.
- Folgende Massnahmen wurden im Rahmen des Workshops ergänzt oder präzisiert:

#### Lachgas:

- **L2: Betriebliche Optimierung:** Präzisierung auf «dentifizierende Anlagen» (BAFU, HBT nachträglich)
- **L3: Abluftbehandlung bestehender Faulwasserbehandlungsanlagen mit RTO** (Regenerative Thermische Oxidation) als separate Massnahme (*Diskussion WS 3*)
- **L4: Ausrüstung ARAs mit Faulwasserbehandlungsanlagen** mit RTO oder Stripping, um Lachgasemissionen zu vermeiden. Die Vorgabe der Technologie wurde aus der Massnahmenliste entfernt (*Diskussion WS sowie Rückmeldung Eawag/FHNW 22.06.23*).
- **L5: Abluftbehandlung Biologiebecken mit RTO:** Abdeckung Biologiebecken und Ablufbehandlung mit regenerativer thermischer Oxidation (*Diskussion WS 3*)

*Hinweis: Nach Rücksprache mit dem BAFU wurde das Lachgas-Monitoring nicht als separate Massnahme aufgenommen, aber in die Massnahmen L1 und L2 als Erfolgskontrolle einbezogen. Das BAFU führt die Diskussion über den Umgang mit dem Lachgas-Monitoring intern und informiert.*

#### CO<sub>2</sub>:

- **C3: CO<sub>2</sub>-Squestrierung aus Rauchgas der BHKWs:** Das bei der Klärgasverbrennung anfallende CO<sub>2</sub> wird aufgefangen und verflüssigt (*Diskussion WS 3*).