

0174 Reduktion von Lachgas-Emissionen in der Abwasserreinigung

Deckblatt

Dokumentversion	6.3
Datum	20.10.2023

Gesuchsteller (Unternehmen) ¹	INFRAconcept ag
Name, Vorname	Dr. Stefan Binggeli
Strasse, Nr.	Sandrainstrasse 17
PLZ, Ort	3007 Bern
Tel.	+41 31 511 5100
E-Mail-Adresse	office@infraconcept.ch

Projektentwickler (Unternehmen)	
Name, Vorname	
Kontaktperson für Rückfragen (an Stelle von Gesuchsteller)?	<input type="checkbox"/> ja <input type="checkbox"/> nein
Tel.	
E-Mail-Adresse	

Gesuch

- Ersteinreichung (Art. 7 CO₂-Verordnung)
- erneute Validierung zur Verlängerung der Kreditierungsperiode (Art. 8a CO₂-Verordnung)
- erneute Validierung aufgrund einer wesentlichen Änderung (Art. 11 Abs. 3 CO₂-Verordnung)

¹ Hinweis: Sollte der Gesuchsteller im Laufe des Projektes ändern, so ist dies dem BAFU schriftlich mitzuteilen.

Inhalt

1	Angaben zum Projekt/Programm	4
1.1	Projekt-/Programmmzusammenfassung.....	4
1.2	Typ und Umsetzungsform.....	5
1.3	Projektstandorte	5
1.4	Beschreibung des Projektes/Programmes.....	6
1.4.1	Ausgangslage.....	6
1.4.2	Projekt-/Programmziel.....	7
1.4.3	Technologie.....	8
1.4.4	Einhaltung der massgeblichen gesetzlichen Bestimmungen	11
1.4.5	Programmspezifische Aspekte.....	11
1.5	Referenzszenario.....	15
1.6	Termine.....	16
2	Abgrenzung zu weiteren klima- oder energiepolitischen Instrumenten und Vermeidung von Doppelzählung	17
2.1	Finanzhilfen.....	17
2.2	Schnittstellen zu Unternehmen, die von der CO ₂ -Abgabe befreit sind	17
2.3	Doppelzählung aufgrund anderweitiger Abgeltung des ökologischen Mehrwerts	17
3	Referenzszenario und erwartete Emissionsverminderungen.....	19
3.1	Systemgrenze und Emissionsquellen	19
3.1.1	Systemgrenzen	19
3.1.2	Emissionen durch den Stromverbrauch	20
3.1.3	Emissionen durch Wärmebedarf	20
3.2	Einflussfaktoren.....	21
3.2.1	Generelle Einflussfaktoren	21
3.2.2	Projektspezifische Einflussfaktoren.....	22
3.3	Leakage	23
3.4	Projektemissionen.....	24
3.5	Referenzentwicklung.....	25
3.6	Erwartete Emissionsverminderungen (ex-ante).....	26
3.7	Dauerhaftigkeit der Speicherung von Kohlenstoff.....	27
4	Nachweis der Zusätzlichkeit.....	28
5	Aufbau und Umsetzung des Monitorings	31
5.1	Beschreibung der gewählten Nachweismethode.....	31
5.2	Ex-post Berechnung der anrechenbaren Emissionsverminderungen.....	32
5.2.1	Formeln zur ex-post Berechnung erzielter Emissionsverminderungen.....	32
5.2.2	Wirkungsaufteilung.....	33
5.3	Datenerhebung und Parameter	34
5.3.1	Fixe Parameter.....	35
5.3.2	Dynamische Parameter.....	36
5.3.3	Messwerte	37

Programmbeschreibung

5.3.4	Plausibilisierung der Daten und Berechnungen	40
5.3.5	Überprüfung der Einflussfaktoren und der ex-ante definierten Referenzentwicklung	43
5.4	Prozess- und Managementstruktur	44
5.4.1	Monitoringprozess	44
5.4.2	Qualitätssicherung und Archivierung.....	45
5.4.3	Verantwortlichkeiten und institutionelle Vorrichtungen.....	46
6	Sonstiges.....	46
7	Kommunikation zum Gesuch und Unterschriften	47
7.1	Einverständniserklärung zur Veröffentlichung der Unterlagen.....	47
7.2	Unterschriften.....	48
8	Literaturverzeichnis	49
Anhang	51

1 Angaben zum Programm

1.1 Programmzusammenfassung

Auf kommunalen Kläranlagen mit Verfahren zur Nitrifikation bzw. Nitritation von Ammonium-Stickstoff oder zum Verbrennen von Klärschlamm können bedeutende Lachgasemissionen entstehen. Diese sind u.a. abhängig von der Stickstofffracht, der Auslegung der Nitrifikation, dem Wirkungsgrad der Denitrifikation, den Prozessbedingungen (anoxische / aerobe Phasen / Abwassertemperatur) und der Verbrennungstemperatur. Die Zusammenhänge sind komplex und die Emissionen starken täglichen und teilweise saisonalen Schwankungen unterworfen.

Das vorliegende Programm zielt darauf ab, gezielte Massnahmen umzusetzen und damit die Lachgasemissionen der Abwasserreinigung zu vermindern. Das Programm entspricht dem Typ 8.1 Vermeidung und Substitution von Lachgas (N_2O). Die bekannten, wirksamen Massnahmen können in vier Typen gegliedert werden:

- **Typ A:** Faulwasserstripping. Durch eine zusätzliche Behandlung der Rückläufe aus der Schlammbehandlung mit einem physikalisch/chemischen Stripping-Verfahren können die Lachgasemissionen in der biologischen Reinigungsstufe (Nitrifikation) deutlich reduziert werden. Es wird ein reiner, hochkonzentrierter Ammoniumsulfat Dünger von bekannter, stabiler Qualität produziert. Dieser kann mit geeigneten Methoden in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Im Gegensatz zu mikrobiologischen Verfahren der Faulwasserbehandlung (z.B. Anammox) entstehen beim Stripping keine Lachgasemissionen.
- **Typ B:** Dynamische Regelung und Off-Gasmessung (DynARA). Mit Hilfe von dynamischen Regelungen der Prozessparameter in der biologischen Reinigungsstufe können der Wirkungsgrad der Denitrifikation erhöht und die Prozessbedingungen der Nitrifikation optimiert werden. Die Lachgasemissionen sinken so markant [34]. Dazu sind konstruktive Massnahmen an den Becken, Sauerstofftransfer-, Luftmengen-, Ammonium- und Nitrat-Messungen notwendig. Über ein Sensornetzwerk und intelligente Softsensoren werden die verfahrenstechnischen Parameter so gesteuert, dass die Lachgasemissionen minimiert werden.
- **Typ C:** Ersatz emissionsintensiver Nitritationsverfahren. Verfahren, die mit Zugabe von Kohlenstoffquellen betrieben werden, (typischerweise das «Sharon»-Verfahren) zeigen sehr hohe Lachgasemissionen [35,43]. Diese sind durch eine in Bezug auf die Lachgasproduktion ungünstige Auslegung der Nitritation bedingt. Die Emissionen können an der Quelle nur durch den Ersatz des Verfahrens reduziert werden. Damit wird gleichzeitig der ressourcenintensive Einsatz künstlicher Kohlenstoffquellen reduziert.
- **Typ D:** Verbrennung von N_2O -haltiger Abluft. Die mit Lachgas belastete Abluft aus Nitrifikations- und Nitritationsverfahren oder Schlammverbrennungsanlagen wird gesammelt und thermisch nachbehandelt [38]. Die Abluft bzw. die Abgase werden dazu in einem geschlossenen System einer regenerativ thermischen Oxidation zugeführt (RTO). Das RTO-Verfahren zeichnet sich durch einen hohen stofflichen und thermischen Wirkungsgrad aus [REDACTED]).

Das Referenzszenario entspricht der aktuellen Praxis, die keine der vier definierten Projekttypen vorsieht. Die aktuelle Praxis ist für die Erreichung aller gesetzlichen Grenzwerte ausreichend. Die erzielbaren Erträge, resp. Minderausgaben durch Einsparungen (Energie, Chemikalien) sind deutlich geringer als die Zusatzkosten. Die Wirtschaftlichkeit der Projekte ist nicht gegeben.

Das Monitoring der Projekttypen A und B basiert auf dem N2OklimARA Emissionsmodell [33]. Sind für die Projekt- und Referenzemissionen keine Standardwerte vorhanden, müssen diese in einer Langzeitmessung über 12 (Typ A und B) bzw. 12 Monate (Typ C) anlagenspezifisch ermittelt werden. Die Projektemissionen der Projekttypen B und C werden über die Wirkungskdauer der Projekte fortlaufend gemessen. Das Monitoring der Projekte Typ D misst die Lachgaskonzentrationen und Durchflüsse in der Zuluft zu der thermischen Verbrennung sowie im Abgas (online-Messungen). Die Emissionsminderungen ergeben sich aus der Differenz der beiden Messungen.

1.2 Typ und Umsetzungsform

Typ	<input type="checkbox"/> 1.1 Nutzung und Vermeidung von Abwärme <input type="checkbox"/> 2.1 Effizientere Nutzung von Prozesswärme beim Endnutzer oder Optimierung von Anlagen <input type="checkbox"/> 2.2 Energieeffizienzsteigerung in Gebäuden <input type="checkbox"/> 3.1 Nutzung von Biogas ² <input type="checkbox"/> 3.2 Wärmeerzeugung durch Verbrennen von Biomasse mit und ohne Fernwärme <input type="checkbox"/> 3.3 Nutzung von Umweltwärme <input type="checkbox"/> 3.4 Solarenergie <input type="checkbox"/> 3.5 Netz-unabhängiger Stromeinsatz <input type="checkbox"/> 4.1 Brennstoffwechsel bei Prozesswärme <input type="checkbox"/> 5.1 Effizienzverbesserung im Personentransport oder Güterverkehr <input type="checkbox"/> 5.2 Einsatz von flüssigen biogenen Treibstoffen <input type="checkbox"/> 5.3 Einsatz von gasförmigen biogenen Treibstoffen <input type="checkbox"/> 6.1 Abfackelung bzw. energetische Nutzung von Methangas ³ <input type="checkbox"/> 6.2 Methanvermeidung aus biogenen Abfällen ⁴ <input type="checkbox"/> 6.3 Methanvermeidung durch Einsatz von Futtermittelzusatzstoffen in der Landwirtschaft <input type="checkbox"/> 7.1 Vermeidung und Substitution synthetischer Gase (HFC, NF ₃ , PFC oder SF ₆) oder CO ₂ <input checked="" type="checkbox"/> 8.1 Vermeidung und Substitution von Lachgas (N ₂ O), meist Landwirtschaft <input type="checkbox"/> 9.1 Speicherung von Kohlenstoff in Holz <input type="checkbox"/> 9.2 Speicherung von Kohlenstoff in Böden ⁵ <input type="checkbox"/> 9.3 Speicherung von Kohlenstoff in nicht-organischen Materialien ⁶ <input type="checkbox"/> 9.4 Speicherung von Kohlenstoff im Untergrund <input type="checkbox"/> andere: <i>Nähere Bezeichnung</i>
------------	---

Umsetzungsform

Einzelnes Projekt
 Projektbündel
 Programm

1.3 Projektstandorte

Das Programm sieht vor, Kläranlagen und Schlammverbrennungsanlagen in der gesamten Schweiz einzubeziehen. Alle Projekttypen werden auf bestehenden Anlagen als zusätzliche Massnahmen realisiert. Die Projekttypen A und B sowie A und C können nicht am gleichen Standort kombiniert werden. Aus der Systemanalyse ergibt sich eine lokale Emissionsreduktion direkt am Standort der Anlage, die sich innerhalb des Systems quantifizieren lässt.

² Unter diesem Typ sind Projekte/Programme aufzuführen, bei denen in landwirtschaftlichen oder industriellen Biogasanlagen Biogas produziert wird und neben der reinen Methanvermeidung (=Kategorie 6) *zusätzlich* Bescheinigungen aus der Nutzung dieses Biogases in Form von Wärme oder aus der Einspeisung in ein Erdgasnetz generiert werden. Handelt es sich beim Projekt/Programm nur um Stromproduktion, welche durch die KEV abgegolten wird, und werden Bescheinigungen nur für den Methanvermeidungsteil generiert, fällt das Projekt/Programm unter den Typ 6.2.

³ Unter diesen Typ fallen beispielsweise Deponiegasprojekte oder Methanvermeidung auf Kläranlagen.

⁴ Unter diesen Typ fallen Biogasanlagen, die ausschliesslich für die Methanreduktion Bescheinigungen erhalten.

⁵ Unter diesen Typ fallen Projekte, die Biokohle als Dünger verwendet wird.

⁶ Unter diesen Typ fallen Projekte, die Biokohle als Baumaterial verwendet wird.

1.4 Beschreibung des Projektes/Programmes

1.4.1 Ausgangslage

Entstehung von Lachgas während der Abwasserbehandlung

Nach dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Forschung sind für die emittierenden Prozessstufen von Lachgas auf Kläranlagen die Nitrifikation, sowie bei ungünstigen Prozessverhältnissen die Denitrifikation im Fokus [23, S. 25ff]. In den bekannten Prozessen sind die Lachgasemissionen im Jahresmittel korreliert mit der Stickstofffracht im Zulauf zu der entsprechenden Reinigungsstufe [33, 33a]. Diese stammt im Wesentlichen aus zwei Quellen:

- Abwasserzulauf
- Schlammbehandlung: Bei der Eindickung- und Entwässerung des ausgefaulten Schlammes (je nach Anlage auch von Drittanlagen) fällt stark ammoniumhaltiges Wasser an (im Folgenden als «Faulwasser» benannt).

Bei der Nitrifikation wird in einem zweistufigen Prozess Ammoniak über Nitrit (Ammonium-oxidierende Bakterien AOB) zu Nitrat (Nitrit-oxidierende Bakterien NOB) oxidiert (Abbildung 1). Im ersten Schritt der Oxidation durch AOB sind zwei N_2O Entstehungspfade identifiziert worden: Die Nitrifikanten-Denitrifikation und die Oxidation von Hydroxylamin. Insbesondere hohe Nitrit- sowie Stickstoffmonoxid-Konzentrationen führen zu einer erhöhten Produktion von Lachgas über die Nitrifikanten-Denitrifikation.

Bei der Denitrifikation dienen Stickstoffoxide (NO_3^- , NO_2^- , NO, N_2O) als Elektronenakzeptor für die Oxidation von organischen Substanzen. Die Stickoxide werden zu molekularem Stickstoff reduziert. Lachgas ist dabei ein Zwischenprodukt. Ungünstige Prozessbedingungen, wie z.B. ein ungünstiges CSB/N Verhältnis, kann die Reduktion von N_2O zu N_2 teilweise verhindern. Zudem kann das Vorliegen von O_2 bereits in niedrigen Konzentrationen die N_2O Produktion verschärfen. Gleichzeitig ist die Denitrifikation der einzige biologische Reduktionspfad für N_2O . Entsprechend ist eine optimal ablaufende Denitrifikation der wichtigste Prozess, um N_2O und seine Vorstufen (NO_3^- , NO_2^- , NO) zu reduzieren.

Die Lachgasemissionen zeigen eine sehr hohe tages- und jahreszeitliche Variabilität. Für eine genaue Erfassung sind 4 bis 12-monatige Messkampagnen erforderlich. Dabei spielt die mikrobiologische Populationsdynamik in den biologischen Reinigungsstufen eine wichtige Rolle. Starke Schwankungen im Jahresverlauf in der biologischen Zusammensetzung, welche durch die Abwassertemperatur induziert werden, können zu Emissionspeaks führen. Zudem können ungünstige Prozessbedingungen die Lachgasemissionen sprunghaft, resp. exponentiell, ansteigen lassen. Hier sind insbesondere ein tiefes CSB/N Verhältnis, erhöhte Konzentrationen von Zwischenprodukten (NO_3^- , NO_2^- , NO), potenziell vorhandene Hemmstoffe und Restsauerstoff in anoxischen Zonen relevant.

Typischerweise reduzieren tiefe Temperaturen im Winter die maximale Nitrifikationsrate. Im Falle eines Ungleichgewichts in den Aktivitäten von AOB und NOB kann es zur Akkumulation von Nitrit kommen. Bei erhöhten Stickstofffrachten im Tagesverlauf können dann eine Akkumulation von Nitrit in den Belebungsbecken beobachtet und höhere Lachgaskonzentration in der Abluft der Belebungsbecken gemessen werden [14, S.7]. Dabei werden im Ablauf der Kläranlage nicht unbedingt höhere Ammoniumkonzentrationen gemessen und die gesetzlichen Anforderungen der kantonalen Einleit- bzw. Betriebsbewilligung können eingehalten werden.

Bei Faulwasserbehandlungsreaktoren (Sharon, Anammox, Demon) können ebenfalls hohe betriebliche Variabilitäten der Emissionen auftreten, jedoch keine saisonalen Schwankungen [46]: Zusammensetzung und Temperatur des Faulwassers unterliegen nicht tages- und jahreszeitlichen Schwankungen. Teilweise kann es aus betrieblichen Gründen einen Wochenrhythmus geben mit tiefen Emissionen am Wochenende.

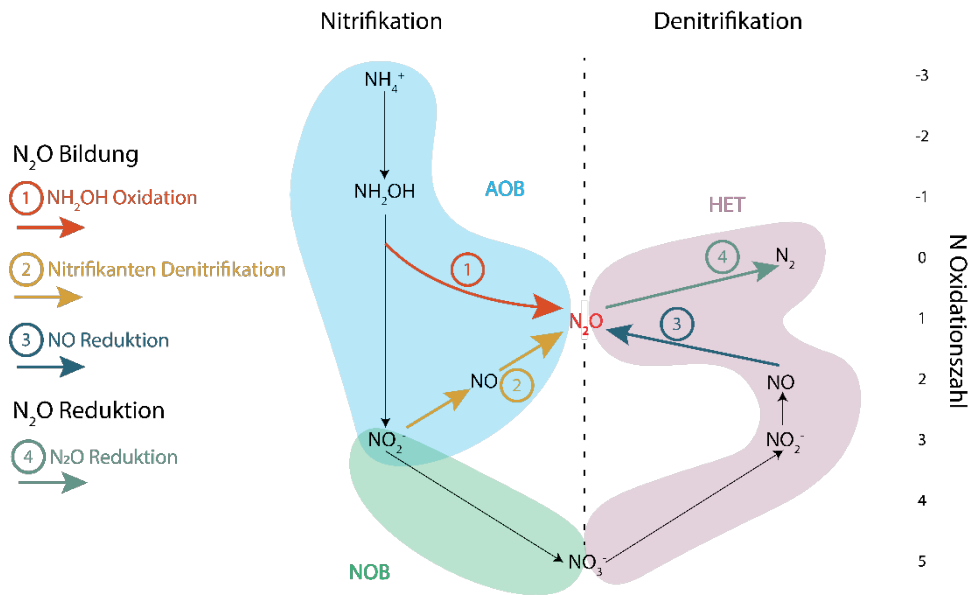


Abbildung 1: Lachgasbildung während des biologischen Stickstoffabbaus auf Kläranalgen

Entstehung von Lachgas in der Schlammverbrennung

Bei der Verbrennung des Klärschlammes entsteht aus dem in der Biomasse enthaltenen Stickstoff neben N_2 , NO_x auch N_2O . Die Mechanismen sind gut untersucht und dokumentiert [9]. Im Gegensatz zu CO_2 ist N_2O eine metastabile Verbindung und zerfällt ab 600°C in seine Elemente Stickstoff und Sauerstoff. Für einen gesicherten Zerfall sind homogene Verbrennungstemperaturen über 950°C erforderlich [42]. Schlammverbrennungsanlagen werden aus technischen und energetischen Gründen oft auf einem deutlich tieferen Temperaturniveau betrieben. Das kann zu hohen Lachgasemissionen führen.

Rechtliche Betrachtungen - Grenzwerte

In Bezug auf die Grenzwerte können die gesetzlich geforderte Ablaufkonzentrationen und der Wirkungsgrad bei der Reinigung (Anhang 3 GSchV) für Ammonium mit den bestehenden, bekannten Verfahren erreicht werden. Die Umsetzung von Massnahmen zur Vermeidung von Lachgasemissionen sind nicht gesetzlich vorgeschrieben oder notwendig zur Einhaltung der kantonalen Verfügungen (Einleitbewilligung). Für die Abluft von Verbrennungsprozessen bestehen keine gesetzlichen Grenzwerte für N_2O .

1.4.2 Programmziel

Ziel des Programms ist die Reduktion der Lachgasemissionen aus der Abwasserreinigung in der Schweiz. Für das Erreichen dieses Ziels wird in den einzelnen Projekten die Entstehung der Lachgasemissionen über verfahrenstechnische Massnahmen vermindert (Massnahmen an der Quelle) oder die Abluft gefasst und mit einem regenerativ-thermischen Verbrennungsprozess nachbehandelt (End-of-pipe-Technologie).

1.4.3 Technologie

Je nach Verfahrenstechnik der Kläranlage sind unterschiedliche Massnahmen für die Reduktion der Lachgasemissionen erforderlich.

A. Separate, physikalisch/chemische Faulwasserbehandlung

Bei Massnahme A wird eine neue, separate, physikalische/chemische Faulwasserbehandlung nach dem Stripping-Verfahren gebaut (siehe Abbildung 2, [8,16]). Diese ermöglicht, den im Faulwasser enthaltenen Stickstoff als Ammoniak auszublasen und mittels Schwefelsäure zu binden. Als Produkt entsteht ein qualitativ hochwertiger Ammoniumsulfat-Dünger, der in die Landwirtschaft ausgetragen werden kann. Im Gegensatz zu mikrobiologischen Faulwasserbehandlungsverfahren (z.B. Anammox), verursacht das chemische Stripping keine Lachgasemissionen. Die Massnahme A ist geeignet für Kläranlagen mit hohem Faulwasseranfall und nicht vollständiger, ganzjähriger Denitrifikation.

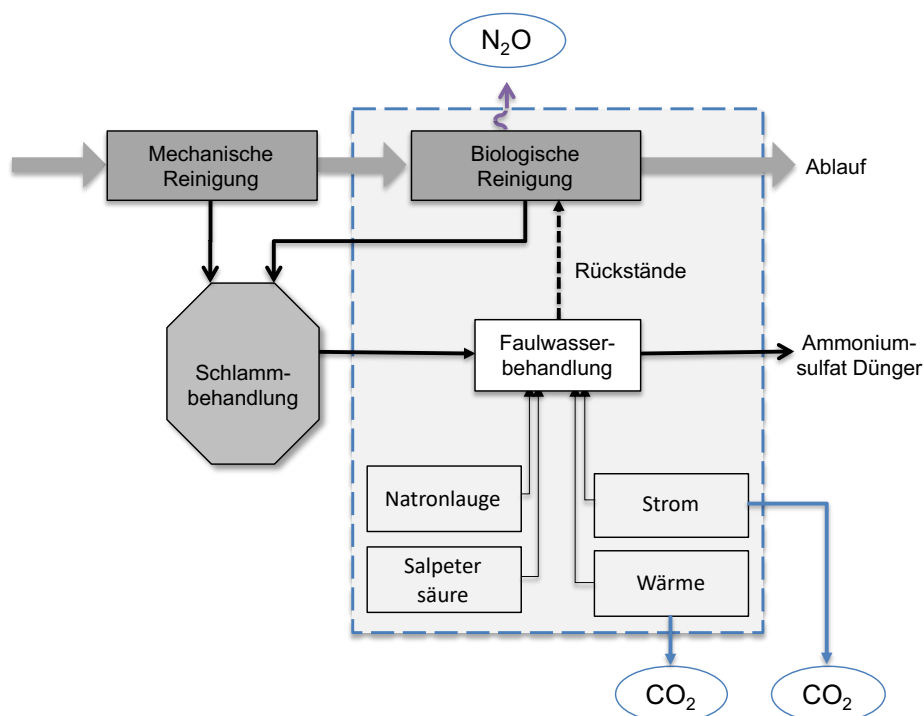


Abbildung 2: Schema einer Kläranlage mit einer zusätzlichen Behandlung der Rückläufe mit Stripping. Im Referenzszenario wird das Faulwasser nicht behandelt und direkt in die Biologische Reinigung geleitet.

B. Implementierung einer dynamischen Regelung (DynARA)

Die biologische Reinigungsstufe wird umgebaut und mit einer dynamischen Regelung ausgerüstet [34]. Es zeigt sich, dass für eine optimale Behandlung der Stickstofffracht der zeitliche Verlauf der Ammoniumfracht und des leichtabbaubaren Substrats eine grosse Rolle spielen. Die Konzentrationen dieser Stoffe unterlaufen je nach Einzugsgebiet starken Schwankungen im Tages- und Wochenverlauf. Auch saisonale Schwankungen spielen eine Rolle. Ziel der dynamischen Regelung ist es, diese Schwankungen zu erfassen und die Regelung der biologischen Reinigungsstufe optimal an den Lastzustand anzupassen. Dazu erforderlich sind separate, mess- und steuerbare Kompartimente, Nitrat-, Nitrit- und Ammoniummessungen, Luftmengenmessungen und -regelungen je Kompartiment

sowie Off-Gasmessungen (Abbildung 3). Ein Sensornetzwerk kombiniert die verschiedenen Signale und regelt über Softsensoren⁷ die einzelnen Kompartimente.

Nach dem Einbau von Kompartimenten und der permanenten Installation der Messtechnik (Luftmengenmessung, Abluftmessung, Nitratmessung, Ammoniummessung), wird die biologische Reinigung während zwei Jahren analysiert und optimiert. In der Optimierungsphase ist bereits mit einer bedeutenden Emissionsreduktionen zu rechnen. Um die Emissionen mit Hilfe des Sensornetzwerks weiter zu senken und die Wirksamkeit der Massnahmen zu gewährleisten, werden die Lachgasemissionen fortlaufend über die Wirkungsdauer des Projekts gemessen. Die Massnahme eignet sich für nitrifizierende und teil-denitrifizierende Anlagen nach dem Belebtschlamm-, SBR oder A/I Verfahren.

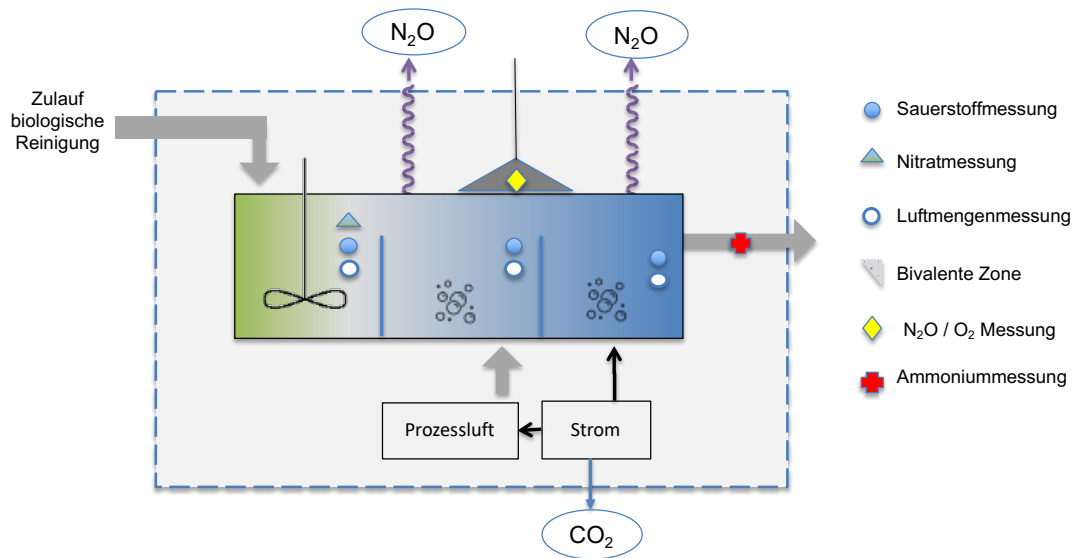


Abbildung 3: Verfahrensschema der biologischen Reinigungsstufe einer kommunalen Kläranlage, die nach dem DynARA Prinzip optimiert wurde. Im Referenzszenario fehlt das Sensornetzwerk, die gezielte Belüftungssteuerung in den einzelnen Kompartimenten sowie die bivalente erste Zone.

C. Ersatz emissionsintensiver Nitritationsverfahren

Emissionsintensive Nitritationsverfahren zur Faulwasserbehandlung werden typischerweise mit Zugabe von Kohlenstoffquellen betrieben (z.B. «Sharon»- Verfahren) und erfordern die Nitritation des gesamten Stickstoffs. Das Verfahren wird in einem Zyklus mit belüfteten (Nitritation) und unbelüfteten Kompartimenten (Denitrifikation) betrieben mit sehr hoher Rezirkulation. In den unbelüfteten Kompartimenten muss ein organisches Substrat (z.B. Glykol) zugesetzt werden [35]. Die wechselnden Phasen in Kombination mit der Zugabe von Substrat führen zu sehr hohen Lachgasemissionen [43]. Dabei ist davon auszugehen, dass diese von den ammonium-oxidierenden Bakterien und heterotrophen denitrifizierenden Bakterien bei niedrigen O₂-Konzentrationen und hoher organischer Belastung entstehen. Mit der Umsetzung der Massnahme wird der emissionsintensive Reaktor durch ein anderes System (z.B. Anammox, chemisches Stripping) mit vergleichbarem Wirkungsgrad ersetzt [z.B. 41]. Eine ersatzlose Aufhebung des Reaktors ist nicht möglich, da dies mutmasslich zu höheren Emissionen in der biologischen Reinigungsstufe führen würde.

⁷ Softsensoren werden aus den Signalen von verschiedenen realen Sensoren berechnet. Durch die Kombination von verschiedenen Signalen, kann die Zuverlässigkeit vom Softsensor stark verbessert werden.

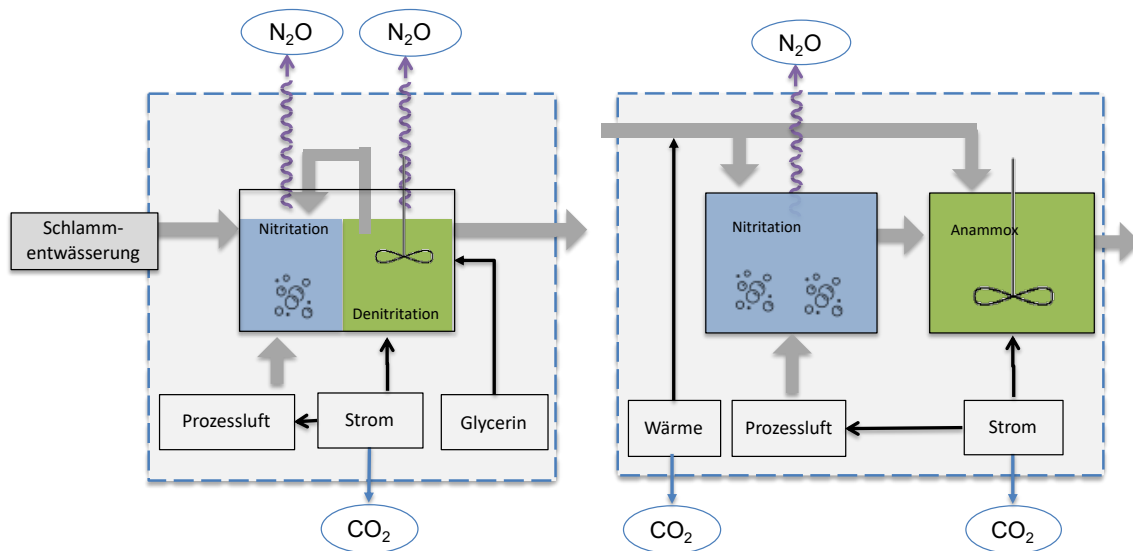


Abbildung 4: Umbau eines emissionsstarken Reaktors (links, «Sharon»-Verfahren) zu einem zweistufigen Anammox-Prozess (rechts).

D. Thermische Behandlung der gesammelten Abluft mit RTO

Die Abluft von emittierenden Verfahrensstufen (z.B. Festbettbiologie, Anammox-Reaktoren oder SVA-Anlagen) wird gesammelt und in eine neue Behandlungsstufe (RTO-Anlage) zur Reduktion der Lachgas-Emissionen geführt. Die RTO-Anlage ist ein vollautomatisches Abluftbehandlungssystem nach dem Prinzip der Regenerativen Thermischen Oxidation (möglich in 2- oder 3-Bett Ausführung). Je nach Abluftzusammensetzung ist ein Entstickungssystem (SCR-Kat) erforderlich. Die Technologie der Regenerativen Thermischen Oxidation (RTO) wurde für die Verbrennung von Lachgas bis dato in industriellen Prozessen vor allem in der Salpetersäureproduktion und in der thermischen Abfallbehandlung eingesetzt. Bereits im Einsatz ist eine Anlage auf der ARA REAL (Schlammverbrennung). Für den Einsatz in sauerstoffreicher, feuchter und kühler Abluft wurde ein zweimonatiger Pilotversuch auf der arabern durchgeführt [38]. Es werden rund [REDACTED] erreicht. Stickoxide in den Abgasen müssen je nach Fall mit einem SCR-Katalysator behandelt werden. Der thermische Wirkungsgrad der Anlage beträgt [REDACTED], die benötigte Wärmeenergie wird mit klimaneutralem Klärgas bereitgestellt [44]. Die Massnahme ist geeignet für abgedeckte Verfahren (insbesondere Anammox, Festbett-Anlagen) und Schlammverbrennungen, bei denen keine Lachgaselimination über eine Erhöhung der Brenntemperatur möglich ist.

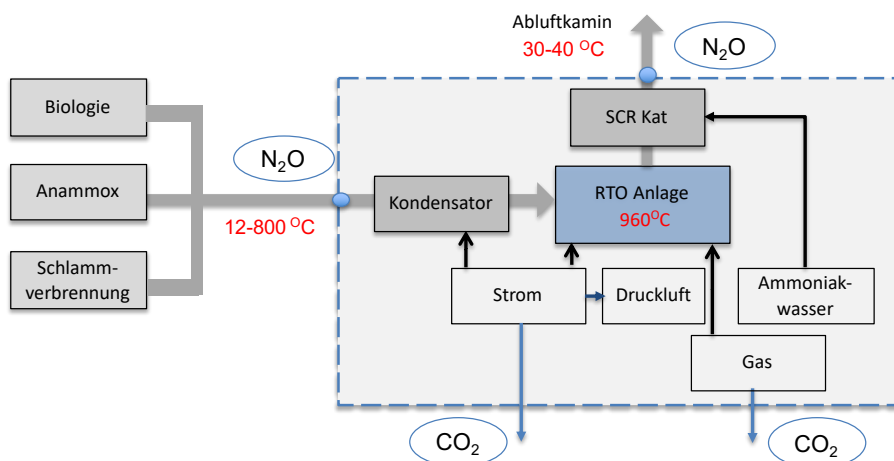


Abbildung 5: Fassen der Abluft aus biologischen Reinigungsstufen und Behandlung mit einer Regenerativ-Thermischen Oxidationsstufe.

1.4.4 Einhaltung der massgeblichen gesetzlichen Bestimmungen

Die Umsetzung der Massnahmen A, C und D erfordert ein Bauprojekt. Im Rahmen der Erteilung der Baubewilligung erfolgt eine Prüfung der Einhaltung der massgebenden, gesetzlichen Vorgaben. Für die Umsetzung der Massnahme B (ohne Baubewilligungsverfahren) gelten die Vorgaben der Betriebsbewilligung der Kläranlage. Für das Einhalten der LRV in Bezug auf die Stickoxid-Emissionen wird im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens der Einsatz eines SCR-Verfahrens sowie die notwendige Kaminhöhe geprüft.

1.4.5 Programmspezifische Aspekte

Projekte

Jede der beschriebenen Massnahmen, die von einer Kläranlage realisiert werden, entspricht einem Projekt. Die Laufzeit der Projekte richtet sich nach der vom Fachverband VSA vorgegebenen, technischen Nutzungsdauer der Anlagen. Jedes Projekt zielt darauf ab, die Lachgasemissionen zu vermindern. Die Kläranlagen wählen die für das spezifische, verfahrenstechnische Layout und die bekannte Emissionsquelle geeigneten Massnahmen im Rahmen dieses Programms aus.

Involvierte Akteure und Programmstruktur

Die Programmstruktur mit den Akteuren ist in Abbildung 6 abgebildet: Programmeigner ist die Firma INFRAconcept. Die fachliche Begleitung erfolgt durch die Forschungsanstalt EAWAG (Abteilung Verfahrenstechnik) und die ETH Höngrgerberg (Labor für Umweltingenieurwissenschaften). Der Verein Infrawatt sowie der VSA unterstützen die Verbreitung des Programms.

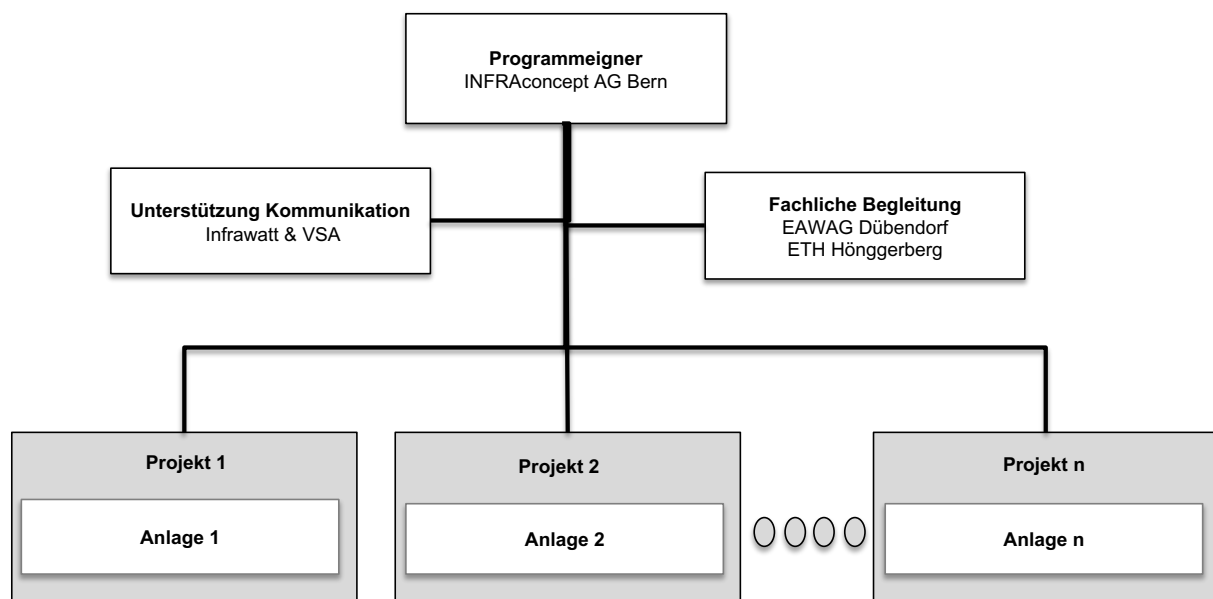


Abbildung 6: Programmstruktur

Der **Programmeigner** übernimmt folgende Aufgaben:

- Einrichten eines nach einschlägigen Regeln der Planungsmethodik und den spezifischen technischen Anforderungen entsprechendes Programm-Management
- Gewähren der Rechtskonformität des Programms
- Annahme der Programmanmeldungen
- Prüfen der Vollständigkeit der Formulare und Beilagen
- Prüfen der Eignung der Anlage auf eine Aufnahme in das Programm gemäss Tabelle 1

Programmbeschreibung

- Erfassen der entsprechenden Nachweise und Bestätigungen der Anmeldung
- Berechnen der Wirtschaftlichkeit der Projekte
- Feststellen und Berechnen der Wirkungsaufteilung
- Information der Standortgemeinden, dass der ökologische Mehrwert an die Programmträgerschaft übertragen wurde und nicht anderweitig geltend gemacht werden kann
- Führen der zentralen Programmdatenbank, die alle Programmteilnehmer erfasst
- Erfassen der Grundlagen und Monitoring-Daten der einzelnen Programmteilnehmer
- Plausibilisierung der aggregierten Daten der Programmteilnehmer
- Erstellen der Monitoringberichte
- Veranlassen der erforderlichen Schritte für die Verifizierung der Monitoring-Berichte
- Erhalt und Verteilung der Bescheinigungen des Programms
- Archivierung der Monitoring-Daten und Berichte

Die **fachliche Begleitung** übernimmt folgende Aufgaben:

- Review der Programmbeschreibung zur Überprüfung der wissenschaftlichen Korrektheit der angewendeten Modelle.
- Begleitung der Validierung
- Bei Bedarf:
 - Expertise zu Langzeitmessungen von Lachgasemissionen auf Stufe der Projekte.
 - Expertise in der Festsetzung der Emissionsfaktoren.

Auf Stufe der **Programmtteilnehmer** (Projekteigner) werden die folgenden Aufgaben wahrgenommen:

- Anmeldung des Projekts bei dem Programmbetreiber gemäss Anhang A1, inkl. allen Beilagen.
- Projektierung, Genehmigungsverfahren, Realisation und Inbetriebnahme der Massnahmen.
- Jährliche Bestätigung, dass die umgesetzten Massnahmen weiter in Betrieb sind.
- Erhebung der Monitoring Daten und Qualitätssicherung der Messungen
- Plausibilisierung Rohdaten
- Übermitteln der Monitoring Daten an den Programmeigner
- Archivierung der Messdaten und Kalibrierungen

Prozess für die Anmeldung und Aufnahme ins Programm

Die Anmeldung zum Programm erfolgt schriftlich durch die Programmtteilnehmer (Projekteigner) durch Ausfüllen und rechtskräftiges Unterzeichnen des Anmeldeformulars zum Programm „Reduktion von Lachgas-Emissionen in der Abwasserreinigung“ (s. Anhang A1.1). Das Anmeldeformular beinhaltet Angaben zu:

- Aufnahmekriterien (Tabelle 1)
- Zusätzliche Angaben (Tabelle 2)
- Erforderliche Unterlagen
- Bestätigungen

Programmbeschreibung

Aufnahmekriterien	Anwendung	Beleg
1 Generelle Kriterien		
1.1 Das Projekt befindet sich in der Schweiz.	Prüfung des Standorts der Anlage.	Standort im Anmeldeformular
1.2 Das Projekt kann den im Programm definierten Massnahmen A-D zugeordnet werden und eine Kombination von Projekten ist zulässig.	Zulässige Kombinationen von Projekten nach Tabelle 3.	Frage 1 im Anmeldeformular Plangrundlagen und technischer Bericht, inkl. voraussichtliche Investitions- und Betriebskosten.
1.3 Der Umsetzungsbeginn hat zum Zeitpunkt der Anmeldung des Projektes im Programm noch nicht stattgefunden.	Teilnahmebedingung	Frage 2 im Anmeldeformular (Termine)
1.4 Das Projekt darf die nach Art.15 Abs.1 VVEA geforderte P-Rückgewinnung nicht beeinträchtigen.	Teilnahmebedingung	Plangrundlagen und technischer Bericht
2 Monitoring		
2.1 Die für die Berechnung der durch das Projekt erzielten Emissionsverminderungen notwendigen Parameter können in-situ gemessen werden.	Teilnahmebedingung	Frage 3 im Anmeldeformular, inkl. Beilage Verfahrensschema und Unterlagen zu den Messungen
2.2 Das Labor der Kläranlage ist mit einem Messgerät nach dem Stand der Technik ausgerüstet, um die entsprechenden Messungen für das Monitoring durchführen zu können.	Teilnahmebedingung	Frage 4 im Anmeldeformular
2.3 Im Zulauf wird die Stickstofffracht mittels zeit- oder volumenproportionalen Sammelproben erfasst. Die Messmethoden werden systematisch kalibriert.	Teilnahmebedingung Typ A-D	Fragen 5 und 6 im Anmeldeformular
3 Finanzhilfen und Zusätzlichkeit		
<p>3.1 Die Wirtschaftlichkeitsanalyse anhand einer Benchmarkanalyse muss zeigen, dass das Projekt ohne Erlöse aus den Bescheinigungen nicht rentabel ist und die Erlöse die Rentabilität massgebend verbessern.</p> <p>Projekte gelten als additional, wenn sie über die gesamte Projektdauer folgende Bedingungen erfüllen:</p> <p>A. Der IRR beträgt ohne Erlöse aus den Bescheinigungen weniger als ■■■</p> <p>B. Mit Einrechnung der Erlöse aus dem Verkauf der Bescheinigungen erhöht sich der IRR um mindestens ■ Prozentpunkte.</p> <p>C. Die Punkte A und B gelten auch bei einer Sensitivitätsbetrachtung der wichtigsten Parameter um ■■■■</p> <p>Sind interne Investitionsrichtlinien auf Ebene der Projekte vorhanden, so gelten diese als additional, wenn sie folgende Bedingungen erfüllen:</p> <p>D. Ohne Erlöse aus den Bescheinigungen werden die internen IRR Vorgaben nicht erfüllt.</p> <p>E. Analoge Regelung Ziff. B und C</p>		<p>Excel-Tool zur Wirtschaftlichkeitsberechnung pro Projekt (Anhang A4), spezifiziert im Projektbescrieb des jeweiligen Projekts</p> <p>Falls vorhanden: Beschluss des Aufsichtsgremiums zu erlassenen Investitionsrichtlinien</p>

Programmbeschreibung

3.2 Alle erwarteten oder zugesprochenen, nicht rückzahlbaren Finanzhilfen gemäss Subventionsgesetz sowie Zuschläge nach Art. 15b des Energiegesetzes sind deklariert. Im Falle einer Wirkungsaufteilung besteht eine schriftliche Vereinbarung mit der öffentlichen Hand.	Allfällige Finanzhilfen sind in der Wirtschaftlichkeitsanalyse berücksichtigt. Die Prüfung, ob eine Wirkungsaufteilung erforderlich ist, erfolgt nach Kap. 8.1 der Vollzugshilfe.	Fragen 7 und 8 im Anmeldeformular Im Falls von Finanzhilfen: Betragshöhe und Herkunft durch Zuschlagsverfügung oder Beitragsgesuch Im Fall einer erforderlichen Wirkungsaufteilung: Schriftliche Vereinbarung über die Wirkungsaufteilung
3.3 Die Wirkungsdauer von Projekten Typ C entspricht der Restlebensdauer der zu ersetzenden Anlage. Das Jahr der Inbetriebsetzung muss ausgewiesen werden können.	Teilnahmebedingung	Frage 9 im Anmeldeformular, Nachweisdokumente zur Inbetriebsetzung
4 Übertrag der erzielten Emissionsverminderungen		
4.1 Erzielte Emissionsverminderungen werden nicht anderweitig geltend gemacht.	Teilnahmebedingung	Bestätigung im Anmeldeformular
4.2 Die durch die Projekte erzielten Emissionsverminderungen (nach der Wirkungsaufteilung) werden an die Programmträgerschaft übertragen.	Teilnahmebedingung	Bestätigung im Anmeldeformular

Tabelle 1: Aufnahmekriterien

5 Zusätzliche Angaben	Anwendung	Beleg
5.1 Die Anlage produziert eigene Wärme (BHKW) oder Biogas, welches für die Energieversorgung der Massnahmen A oder D genutzt wird.	Einsatz klimaneutraler Wärmeenergie für den Betrieb der Massnahmen A oder D	Frage 10 im Anmeldeformular, Nachweisdokumente zur Inbetriebsetzung
5.2 Die Anlage verfügt über anlagenspezifische Messungen zur Festlegung der Emissionsraten EF_P und/oder EF_R oder misst diese beim Umsetzungsbeginn.	Bestimmung der Monitoring-Parameter EF_P und EF_R	Frage 11 im Anmeldeformular

Tabelle 2: Zusätzliche Angaben

	Typ A	Typ B	Typ C	Typ D
Projekttyp A («Faulwasserstripping»)		Nein	Nein	Ja
Projekttyp B («DynARA»)	Nein		Ja	Ja
Projekttyp C («Ersatz»)	Nein	Ja		Ja
Projekttyp D («RTO-Anlage»)	Ja	Ja	Ja	

Tabelle 3: Zulässige Kombination von Projekttypen

Tabelle 3 zeigt die möglichen Kombinationen von Projekten am selben Standort. Wegen der korrekten Feststellung und Zuordnung der erzielten Emissionsminderungen sind nicht alle Kombinationen möglich: Typ A und B sind bei der Beurteilung der Projektemissionen nicht unabhängig und sind deshalb ausgeschlossen. Eine Kombination von Typ A und C führt zu keinen Emissionsminderungen in der biologischen Reinigungsstufe und ist deshalb ebenfalls ausgeschlossen. Andere Kombinationen sind möglich, sie betreffen voneinander unabhängige Verfahrensstufen (z.B. Optimierung der biologischen

Programmbeschreibung

Reinigungsstufe mittels Massnahme B und gleichzeitige Behandlung der Abluft aus dem Anammox-Reaktor mit Massnahme D).

Der Programmeigner prüft aufgrund der eingereichten Unterlagen die Zulässigkeit des Projekts und die Einhaltung der Aufnahmekriterien (Tabelle 1). Sind die Aufnahmekriterien erfüllt, wird dem Programmteilnehmer schriftlich die Einhaltung der Kriterien bestätigt und eine Aufnahme ins Programm in Aussicht gestellt.

Die definitive Aufnahme erfolgt mit der Inbetriebsetzung der Anlage. Dazu muss der Programmteilnehmer das technische Abnahmeprotokoll einreichen. Mit der definitiven Aufnahme wird gleichzeitig die Standortgemeinde schriftlich über die erfolgte Abtretung des ökologischen Mehrwerts an die Programmträgerschaft informiert.

Musterprojekte

Jeder Massnahmentyp ist mit einem Musterprojekt dokumentiert:

- A. Faulwasserstripping ARA Altenrhein. Inbetriebnahme Mai 2021 (bestehendes Projekt -> Anhang A1.2)
- B. DynARA Kläranlage Au St. Gallen (Musterprojekt -> Anhang A1.3).
- C. Ersatz Sharon Reaktor ARA Aire (Musterprojekt -> Anhang A 1.4).
- D. Abluftbehandlung mittels RTO arabern (Musterprojekt -> Anhang 1.5).

1.5 Referenzszenario

Für das vorliegende Programm und die integrierten Projekte sind folgende Referenzentwicklungen möglich:

Szenario: Weiter wie bisher: Keine Umsetzung von Massnahmen

Wie in der Ausgangslage der Programmbeschreibung (Kapitel 1.4.1) erläutert, erreichen die Anlagen die nötigen Grenzwerte, die gesetzlich geforderten Ablauf- und Abluftkonzentrationen sowie die Wirkungsgrade ohne die beschriebenen Massnahmen. Die Massnahmen sind nicht gesetzlich notwendig und erfordern bedeutende Investitionen sowie einen grösseren Betriebsaufwand. Art. 10 GSchG fordert einen wirtschaftlichen Anlagenbetrieb. Dementsprechend würden die Massnahmen nicht freiwillig umgesetzt. Die Lachgasemissionen würden weiterhin ungehindert in die Atmosphäre entweichen. Dieses entspricht dem wahrscheinlichsten Szenario.

Szenario: Umsetzung von Massnahmen ohne Erträge aus Bescheinigungen

Ein weiteres Szenario wäre die Umsetzung der Massnahmen zur Reduktion von Lachgasemissionen ohne die Erträge aus den Bescheinigungen. Dieses ist jedoch nicht wahrscheinlich, da die Erträge (z.B. aus dem Verkauf des flüssigen Ammoniumdüngers), resp. die Einsparungen (z.B. aus der Reduktion des Energie- oder Hilfsstoffverbrauchs) zu gering sind, um die Investitionen und den zusätzlichen Betriebsaufwand zu decken. Ausserdem ist dies keine Notwendigkeit für die Erfüllung des gesetzlichen Auftrags der Anlagen.

Als Referenzszenario wird das Szenario «weiter wie bisher» definiert.

1.6 Termine

Termine	Datum	Spezifische Bemerkungen
Umsetzungsbeginn Programm	16.03.2018	Unterzeichnung des Werkvertrags für das 1. Projekt (Anhang A1.2, Beilage 6)
Wirkungsbeginn Programm	01.05.2021	Inbetriebnahme des Projekts 1 (ARA Altenrhein)
Beginn 2. Kreditierungsperiode	02.02.2023	Umsetzungsbeginn des ersten neuen Projekts (Anhang A1.4, Beilage 10)
Ende 2. Kreditierungsperiode	31.12.2030	Aufgrund der wesentlichen Änderung und noch keiner erfolgten Verlängerung der 1. Kreditierungsperiode wird nach Art 11 Abs. 4 Ziff. a eine erneute Kreditierungsperiode bis zum 30.12.2030 beantragt.

	Anzahl Jahre	Spezifische Bemerkungen
Dauer des Programms in Jahren	Unbegrenzt	Die Programmdauer wird voraussichtlich verlängert, bis die Voraussetzungen für eine Verlängerung nicht mehr gegeben sind, oder das Programm durch den Programmeigner terminiert wird.
Wirkungsdauer der einzelnen Projekte:	<p>Typ A: ■ Jahre</p> <p>Typ B: ■ Jahre</p> <p>Typ C: ■ Jahre (bzw. Restnutzungsdauer)</p> <p>Typ D: ■ Jahre</p>	<p>Nutzungsdauern gemäss der VSA-Empfehlung «Investitionsvergleichsrechnung in der Abwasserentsorgung», Seite 18 [37].</p> <p>Typen A und C: Mittlere Standard-Nutzungsdauer von Kläranlagen. Da die Anlagen sowohl aus baulichen wie elektromechanischen Komponenten bestehen, ist ihre Nutzungsdauer identisch zu der einer Kläranlage. Die Wirkungsdauer von Projekten Typ C endet mit der Restnutzungsdauer der ersetzten Anlage.</p> <p>Typ B: Es werden v.a. elektro-mechanische Komponenten installiert. Deren Nutzungsdauer beträgt 15 Jahre.</p> <p>Typ D: Standard-Nutzungsdauer für Gasanlagen. Die RTO entspricht mit der thermischen Verbrennung einem Blockheizkraftwerk und weiteren peripheren Gas-Komponenten.</p>

2 Abgrenzung zu weiteren klima- oder energiepolitischen Instrumenten und Vermeidung von Doppelzählung

2.1 Finanzhilfen

Gibt es für das Programm bzw. Projekte zugesprochene oder erwartete Finanzhilfen⁸?

- Ja
 Nein

Bisher sind keine Finanzhilfen zugesprochen oder erwartet.

Allfällige Finanzhilfen für die einzelnen Projekte sind nicht ausgeschlossen. Diese müssen im Rahmen der Anmeldung, beziehungsweise im Monitoring, basierend auf den Bestimmungen der Vollzugshilfe, Stand 2022 deklariert werden (siehe Kapitel 2.6.1).

Im Falle einer Finanzhilfe prüft der Programmeigner, ob eine Wirkungsaufteilung vorgenommen werden muss. Eine allfällige Wirkungsaufteilung erfolgt durch den Programmeigner und wird gemäss den Angaben in der Vollzugsmittelteilung individuell festgelegt. Das betroffene Gemeinwesen bestätigt per Unterschrift auf dem entsprechenden Formular das Einverständnis.

2.2 Schnittstellen zu Unternehmen, die von der CO₂-Abgabe befreit sind

Weisen Projekte des Programms Schnittstellen zu Unternehmen auf, die von der CO₂-Abgabe befreit sind?

- Ja
 Nein

Das Programm zielt ausschliesslich auf die Vermeidung von Lachgasemissionen. Diese Emissionen sind nicht Teil der CO₂-Abgabe und daher gibt es entsprechend keine Schnittstelle.

2.3 Doppelzählung aufgrund anderweitiger Abgeltung des ökologischen Mehrwerts

Ist es möglich, dass die erzielten Emissionsverminderungen auch anderweitig quantitativ erfasst und/oder ausgewiesen werden (=Doppelzählung; s. auch Art. 10 Abs. 5 CO₂-Verordnung)?

- Ja
 Nein

Die mögliche, anderweitige «In-Wert-Setzung» der Emissionsverminderungen werden durch die Bestätigung der Projekteigner innerhalb der Aufnahmekriterien ausgeschlossen (siehe Kapitel 1.4.4).

Schnittstellen zu anderen Projekten und Programmen

Es bestehen verschiedene Schnittstellen von Emissionsverminderungsprojekten oder anderen Förderprogrammen in Kläranlagen. Diese werden im Folgenden aufgelistet und die mögliche Doppelzählung analysiert:

⁸ Finanzhilfen sind geldwerte Vorteile, die Empfängern ausserhalb der Bundesverwaltung gewährt werden, um die Erfüllung einer vom Empfänger gewählten Aufgabe zu fördern oder zu erhalten. Geldwerte Vorteile sind insbesondere nicht rückzahlbare Geldleistungen, Vorzugsbedingungen bei Darlehen, Bürgschaften sowie unentgeltliche oder verbilligte Dienst- und Sachleistungen (Artikel 3 Absatz 1 [Subventionsgesetz SR 616.1](#)).

Emissionsverminderungsprojekte

- Programm «0089 Programm zur Behandlung von methanhaltigen Abluftströmen auf kommunalen Kläranlagen»: Das Programm betrachtet ausschliesslich methanhaltige Emissionen und die Programmaktivität hat keinen Einfluss auf die Lachgasemissionen, da es sich um die Nutzung des Methans in der Abluft handelt. Auch hat die Aktivität dieses Programms keinen Einfluss auf die Methanemissionen der Kläranlage, die einen Einfluss auf das Programm haben könnte. Eine Schnittstelle kann somit ausgeschlossen werden.
- Verschiedene Projekte / Programm zur Abwärmenutzung ab Kläranlagen:
 - Projekt «0028 Abwasserwärmenutzung Überbauung Hofmatt, Hagendorn»
 - Projekt «0099 Wärmeverbund ab ARA, Sissach»
 - Programm «0116 Programm Wärmenutzung aus Abwässern»
 - Projekt «0130 Wärmeverbund ab ARA, Küsnacht ZH»
 - Projekt «0138 Abwasserwärme Löwengraben Luzern»

In diesen Projekten/Programm wird die Abwärme mittels Wärmepumpen im Rohabwasser oder gereinigten Abwasser genutzt. Das verschiedenen Projekttypen haben keinen Einfluss auf die Wärme des Abwassers, das aus der ARA abgeleitet wird und daher kann eine Schnittstelle zum Programm ausgeschlossen werden. Eine Wärmenutzung im Rohabwasser kann die Abwassertemperatur im Zufluss zur Kläranlage beeinflussen. Die möglichen Auswirkungen sind in Kap. 3.2.1 diskutiert.

- Projekt «0117 Lachgas-Reduktion Schlammverbrennungsanlage (SVA)»: Das Projekt der ARA-Luzern von REAL bezweckt die Reduktion von Lachgas in der Rauchgasreinigung. Die Emissionsreduktionen werden gemäss Monitoringkonzept basierend auf Messungen der Lachgaskonzentration im Abgas vor und nach der Installation der Regenerativen Thermischen Oxidation (RTO) definiert. Falls die ARA REAL am Programm der Stripping-Methode teilnehmen möchte, würden sich die Lachgasemissionen entsprechend im Abgas reduzieren, weil der verbrannte Schlamm weniger Stickstoff enthält. Diese würden jedoch im Monitoring des SVA-Projekts entsprechend in der Referenz erfasst und wären somit im Projekt nicht berücksichtigt. Eine Doppelzählung kann damit ausgeschlossen werden.
- Projekt «0159 N₂O-Vernichtung bei der Schlammverbrennung der ARA Rhein AG» und «0266 N₂O Minderung im Rauchgas der Klärschlammverbrennung ProRheno Basel»: Die Projekte beinhalteten die Lachgasreduktion bei der Klärschlammverbrennung durch Verfahrensänderung im Wirbelschichtofen. Im Monitoring wird mit einem ex-ante geschätzten Referenzwert gerechnet: Ex-ante durchschnittliche spezifische N₂O-Emission pro t KS (Klärschlamm) (Parameter D_{RE}). Eine Beeinflussung des Parameters D_{RE} ist nur durch den Projekttyp A im nachfolgenden Fall 1 möglich (alle übrigen Projekttypen beeinflussen D_{RE} nicht):
 - Fall 1: In der Schlammverbrennungsanlage (SVA) wurde das Faulwasser mitverbrannt. Durch die separate Behandlung des Faulwassers (Stripping) vermindert sich damit die Ammonium-Fracht in der Zufuhr zum Ofen. Das würde aber bedeuten, dass die separate Faulwasserbehandlung zu keiner Entlastung der biologischen Reinigungsstufe und damit nicht zu tieferen Projektemissionen führt. Über die Rückführung von Ammonium aus dem Stripping würde im Gegenteil die biologische Reinigungsstufe zusätzlich belastet. Eine Aufnahme in das Programm würde seitens Programmeigner verneint.
 - Fall 2: In der SVA wurde nur entwässerter Klärschlamm verbrannt und das Faulwasser in die biologische Reinigung zurückgeführt. Damit ergibt sich über die separate Faulwasserbehandlung keine Beeinflussung des Parameters D_{RE}. Eine Aufnahme in das Programm wäre möglich.

Andere Förderprogramme

- Energieeffiziente ARA (Trägerschaft: Verein Infrawatt)⁹: Das Förderprogramm von ProKilowatt existiert seit 2014 und beinhaltet Stromsparmassnahmen auf Kläranlagen. Im vorliegenden Kompensationsprogramm werden die Stromemissionen nicht berücksichtigt (siehe Kapitel 4.1), eine Schnittstelle in Bezug auf die Emissionen aus dem Stromverbrauch ist deshalb ausgeschlossen.
- Durch die energetische Optimierung der Kläranlagen im Rahmen des Förderprogramms "Energieeffiziente ARA" kann die eingeblasene Menge Sauerstoff reduziert werden. Das könnte unter Umständen die Emissionen von Lachgas erhöhen. Da das Programm bereits seit 2014 besteht und die energetischen Optimierungen eigentlich wirtschaftlich sind, gehen wir davon aus, dass der Grossteil der ARAs bereits Optimierungsmassnahmen eingesetzt hat und diese in der Referenzentwicklung miteinbezogen sind. Beispielsweise hat die ARA Altenrhein bereits Optimierungen durchgeführt.

3 Referenzszenario und erwartete Emissionsverminderungen

3.1 Systemgrenze und Emissionsquellen

3.1.1 Systemgrenzen

Die Systemgrenze umfasst die Lachgasemissionen in der Abluft von Nitrifikations- bzw. Nitritationsstufen oder Schlammverbrennungsanlagen. Die detaillierten Systemgrenzen der einzelnen Projekttypen sind in Kapitel 1.4.3 definiert. Die spezifisch in einem Projekt eingeschlossenen Prozesse/ Emissionsquellen sind auf Ebene der Projekte zu definieren.

Direkte und indirekte Emissionsquellen

	Quelle	Gas	Enthalten	Begründung / Beschreibung
Projektmissionen	Stromverbrauch	CO ₂	Nein	Emissionen durch Stromverbrauch können in allen Vorhabentypen vernachlässigt werden (siehe unten)
	Wärmeverbrauch		ja	
		CH ₄	nein	
	Abluft	N ₂ O	ja	Verbleibende N ₂ O Emissionen
	andere	nein		
Referenzentwicklung	Stromverbrauch	CO ₂	nein	Emissionen durch Stromverbrauch können vernachlässigt werden (siehe unten)
		CH ₄	nein	
	Abluft	N ₂ O	ja	N ₂ O Emissionen des Referenzszenarios
		andere	nein	

Tabelle 4: Direkte und indirekte Emissionsquellen

⁹ <https://infrawatt.ch/fachgebiete/abwasser>

3.1.2 Emissionen durch den Stromverbrauch

Die Umsetzung der Projekte verändert den Stromverbrauch der Kläranlagen im Projektszenario nur marginal:

- **Projekttyp A:** Die Stripping-Anlage benötigt Strom für diverse Antriebe, Aggregate und die Steuerung. Dies führt zu zusätzlichen Emissionen (Projektemissionen). In Anhang A1.2 (Beilage 10) werden diese auf rund ■ tCO_{2,eq}/a pro Projekt geschätzt. Dagegen sinkt der Stromverbrauch der biologischen Reinigung, da weniger Stickstoff nitrifiziert werden muss. Damit kann der Sauerstoffeintrag in die Belüftungsbecken im Projektszenario gegenüber dem Referenzszenario reduziert werden, was zu einer Stromeinsparung von zwischen ■% und ■% des Stromverbrauchs der Stripping-Anlage führt. Die absolute Einsparung beträgt rund ■ kWh/kgNH₄-N_{ell}. Die zusätzlichen Emissionen durch den Stromverbrauch im Projektszenario gegenüber dem Referenzszenario betragen damit für das Projekt 1 weniger als 4 tCO_{2,eq}/a. Bei erwarteten Einsparungen von ■ tCO_{2,eq}/a machen diese zusätzlichen Projektemissionen durch den Stromverbrauch weniger als 1% aus.
- **Projekttyp B:** Die Einführung der dynamischen Regelung verbessert die Wirksamkeit der Belüftung und erhöht den anaeroben Abbau der organischen Schmutzstoffe. Dadurch wird der Stromverbrauch der Belüftung deutlich gesenkt. Anhand eines Versuches konnte aufgezeigt werden, dass der spezifische Sauerstoffbedarf für die Belüftung nach Einführung von DynARA lediglich ■ kWh/EW·a betrug [38, S.30]. Der Wert liegt deutlich unter demjenigen, der im Handbuch Energie in ARA [39] als ideal angenommen wird. In der Praxis liegen die Werte ■ [40]. Dadurch resultiert für eine Kläranlage mit 77'000 EW ein Minderverbrauch von ■ kWh/a, resp. ■ tCO_{2,eq}/a Minderemissionen. Bei den erwarteten Emissionsreduktionen von ■ tCO_{2,eq}/a [34] sind die Minderemissionen aus dem Stromverbrauch vernachlässigbar.
- **Projekttyp C:** Der Umbau eines Sharon-Reaktors zu einem Anammox-Reaktor reduziert den Stromverbrauch. Im Rahmen einer Vorprojektierung geht man von einem Minderbedarf von 25% aus [41]. Dies bedeutet für einen grossen Reaktor einen Minderverbrauch von ■ kWh/a, resp. Minderemissionen aus dem Stromverbrauch von ■ tCO_{2,eq}/a. dies ist im Vergleich zu den erwarteten Emissionsminderungen aus der Reduktion der Lachgasemissionen weniger als ■%.

Projekttyp D: Das RTO-Verfahren benötigt Strom zum Aufrechterhalten des Verfahrens (PLS, SPS, Druckluftventile, usw.). Der Stromverbrauch ist sehr gering. Typischerweise wird mit einer RTO ca. ■ kWh Strom (= ■ kgCO_{2,eq}) benötigt [42], um eine Tonne CO_{2,eq} zu eliminieren.

Aus obenstehenden Überlegungen kann im Rahmen des Monitorings auf die Erfassung des Stromverbrauchs bei allen Vorhabentypen verzichtet werden.

3.1.3 Emissionen durch Wärmebedarf

- **Projekttyp A:** Vor dem Stripping wird das Faulwasser aufgeheizt, um den Einsatz von Säure und Lauge zu reduzieren. Dies erfolgt durch Wärmetauscher mit Prozessabwärme aus den Blockheizkraftwerken (BHKW). Diese werden mit Klärgas der eigenen Anlage betrieben. Ist dies auf einer Anlage ausnahmsweise nicht gewährleistet, kann dies gemäss Modellrechnung im Anhang A1.2 (Beilage 10) rund ■% der Emissionsverminderungen durch das Stripping ausmachen. Da dies nicht vernachlässigbar ist, wird der Wärmebedarf als Projektemission entsprechend in den ex-ante Berechnungen und im Monitoring berücksichtigt.
- **Projekttyp B:** Kein zusätzlicher / veränderter Wärmebedarf.
- **Projekttyp C:** Je nach gewählter Verfahrenstemperatur entsteht ein zusätzlicher Wärmebedarf. Dieser kann bedeutend sein [41]. Würde dieser mit Erdgas bereitgestellt, wären die zusätzlichen Emissionen in der Grössenordnung von ■% der Emissionsminderungen. In der Regel wird eine Kläranlage den Wärmebedarf auf diesem Temperaturniveau über Wärmetauscher und/oder Klärgas zur Verfügung stellen. Der Wärmeverbrauch muss jedoch im Monitoring berücksichtigt werden.

- **Projekttyp D:** Der Wärmeverbrauch beträgt rund ■ kWh/tCO_{2,eq} eliminiert [42]. Je nach Grösse der RTO-Anlage und Art des Energieträgers, können die Emissionen aus der Bereitstellung der Wärme ■% der eliminierten Lachgasemissionen ausmachen. Die erforderliche Prozesswärme kann auf diesem Temperaturniveau ausschliesslich über Klärgas oder Erdgas bereitgestellt werden. Der Wärmeverbrauch muss dementsprechend im Monitoring erfasst werden.

3.2 Einflussfaktoren

3.2.1 Generelle Einflussfaktoren

Technologische Entwicklung

Auf technischer Ebene sind die Kläranlagen in der Schweiz aktuell auf dem neuesten Stand und es sind keine markanten Veränderungen innerhalb der Kreditierungsperiode zu erwarten. Es bestehen aktuell auch keine Forschungen in Bezug auf neuere Technologien. Dies lässt darauf schliessen, dass in den nächsten Jahren keine technischen Änderungen zu erwarten sind. Die Elimination von Mikroverunreinigungen und das Rezyklieren von Phosphor im Klärschlamm haben keine Auswirkungen auf die bestehenden Reinigungsprozesse in den Kläranlagen.

Aufgrund der fehlenden Hinweise in Bezug auf die technische Entwicklung wird auf den Einbezug im Monitoring dieses Einflussfaktors verzichtet.

Biologische Prozesse: Nitrifikation und Nitrifikation

Nach dem aktuellen Stand der wissenschaftlichen Forschung hängen die Lachgasemissionen von unterschiedlichen Einflussparametern ab ([23], S. 25ff). Bei fast vollständigem N-Abbau ([23], S.196 & 207) sind geringere Lachgasemissionen messbar als bei geringem N-Abbau [33].

Kläranlagen können im Laufe des Jahres verschiedene N-Abbauraten durchlaufen, teilweise auch innerhalb eines Monats. Dies ist insbesondere von der saisonalen Abwasserzusammensetzung, der Abwassertemperatur und der Anlagenauslegung abhängig. Bei steigenden Nitrit-Konzentrationen im Belebungsbecken steigen auch die Lachgasemissionen an. Die Akkumulation von Nitrit ist ein Indikator einer unvollständigen Nitrifikation, was in der Schweiz vorwiegend in der kalten Jahreszeit auftritt ([14], S.6). Langzeitmessungen zeigen deshalb eine starke Saisonalität der Lachgasemissionen mit hohen Emissionen im Winter. Durch die Reduktion des Schlammalters wird die Nitrifikationsrate ebenfalls reduziert. Labor-Untersuchungen zeigen, dass bei einer Reduktion des Schlammalters von 10d auf 5d die Lachgasemissionen mehr als verdoppeln ([23], S.38).

Zusammengefasst deuten die Studien darauf hin, dass eine weitergehende Stickstoffelimination sowohl zu tieferen Nitritablaufwerten als auch zu tieferen Lachgasemissionen führt. Das heisst: Die Optimierung der N₂O-Emissionen auf ARA steht nicht in einem direkten Zielkonflikt mit der Ablaufqualität [47]. Aus den durchgeführten Messkampagnen und Experimenten leiten sich zwei relevante Einflussfaktoren auf die N₂O-Emissionen ab [33]: eine stabile Nitrifikation und die Denitrifikationsrate. Grundsätzlich hilft eine hohe Stickstoffeliminationsleistung, die N₂O-Emissionen zu senken. Im Gegensatz dazu führt eine instabile Nitrifikation zu hohen Emissionen.

Sowohl die ganzjährige Nitrifikation als auch die Denitrifikationsleistung sind Bestandteil der kantonalen Einleitbewilligung resp. der Betriebsbewilligung. Die beiden Faktoren sind relevant für die Wahl des Standard-Emissionsfaktors zur Bestimmung der Referenzemissionen. Die kantonale Verfügung ist damit ein Einflussfaktor, der im Rahmen des Monitorings überwacht werden muss. Werden durch eine solche Verfügung neue Reinigungsziele festgelegt, muss geprüft werden, ob der Referenzfaktor noch gültig ist.

Programmbeschreibung

Eine Beeinflussung der Abwassertemperatur durch eine Abwärmenutzung im Rohabwasser kann einen negativen Einfluss auf die Nitrifikationsleistung haben: Bei tieferen Temperaturen kann ein Verlust von nitritoxidierenden Bakterien resultieren, was zu erhöhten Lachgasemissionen führt. Die vorhandenen Leistungsreserven der Kläranlage bestimmen jedoch die zulässige Wärmemenge, die genutzt werden darf. Durch die Wahl von Standard-Referzemissionen, bzw. die Messung der effektiven Referenz- und Projektemissionen ist ein konservativer Ansatz gewährleistet. Eine Abwärmenutzung im Rohabwasser ist damit kein relevanter Einflussfaktor.

3.2.2 Projektspezifische Einflussfaktoren

Projekttyp A

Die Emissionsrate im Projektfall kann durch zwei wesentliche Einflussfaktoren beeinflusst werden:

- Langfristige Adaptation des Belebtschlamm auf eine tiefere Ammoniumbelastung. Das würde den Anteil der Nitrifikanten im Belebtschlamm vermindern und dadurch die Nitrifikationsleistung senken. Dies würde wiederum zu steigenden Nitritkonzentrationen und höheren Lachgasemissionen führen. Aus den wissenschaftlichen Langzeitmessungen mit / ohne Faulwasserdosierung ist jedoch kein Adaptationseffekt nachweisbar ([2], [30], S.11).
- Wirkungsgrad des Strippings: Sollte der Wirkungsgrad des Strippings nicht demjenigen entsprechen, der der Ermittlung des Emissionsfaktors im Projektfall hinterlegt ist, können die Projektemissionen mehr als 10% abweichen. Der Wirkungsgrad des Strippings muss deshalb im Monitoring überwacht werden.

Projekttyp B

- Die Abwassertemperatur hat auf die Biologie einen Einfluss und ist für die Plausibilisierung der Messungen zu überwachen.
- Leichtabbaubares Substrat hilft, die Denitrifikation zu beschleunigen. Bei einer effizienten Denitrifikation wird gleichzeitig auch Nitrit zu Stickstoff umgewandelt, dieser Effekt hilft Lachgas zu vermindern. Der Effekt wird durch die permanente N_2O -Abluftmessung im Monitoring erfasst.

Projekttyp C

- Temperatur des Anammox-Reaktors: Mit der Steuerung der Temperatur kann die Leistung des Reaktors verändert werden. Tiefere Temperaturen führen zu weniger Leistung, damit möglicherweise zu einer Veränderung der Emissionen. Die Temperatur des Reaktors muss dementsprechend im Monitoring überwacht werden.

Projekttyp D

Die Lachgasemissionen werden mittels Nachrüstung der neuen RTO- Anlage eliminiert. Die Reduktion der Emissionen wird in-situ online gemessen. Die Brennraumtemperatur bei SVA kann die Entstehung von Lachgas beeinflussen. Eine nachgeschaltete Rauchgasbehandlung mittels RTO ist jedoch nur bei Anlagen wirtschaftlich, bei denen die Brenntemperatur markant unter 950°C liegt ($600 - 700^{\circ}\text{C}$) und die Emissionsminderung nicht durch eine Erhöhung der Brenntemperatur erfolgen kann. Als Plausibilisierung sollte die Brennraumtemperatur im Monitoring überwacht werden.

Gesetzliche Vorschriften

Es sind keine unmittelbaren Vorgaben erkennbar, welche das Programm im Rahmen der Kreditierungsperiode massgebend beeinflussen:

- Unwahrscheinlich ist, dass künftig in der schweizerischen Luftreinhalteverordnung (LRV) ein Grenzwert für Lachgas eingeführt oder die Produktion von Ammoniumsulfat Dünger (analog Phosphor-Recycling) in der Technischen Verordnung Abfall (TVA) vorgeschrieben wird. Die Entwicklung der gesetzlichen Vorschriften wird im Monitoring berücksichtigt.

Programmbeschreibung

- Die geplante Revision der Gewässerschutzverordnung ist für das Jahr 2028 vorgesehen. Wahrscheinlich ist, dass sehr viel mehr Kläranlagen strengere Vorgaben zur Stickstoffelimination einhalten müssen. Damit würden die Referenzemissionen für die Massnahmentypen A und B verändert. Die Umsetzung erfordert jedoch Anpassungen der kantonalen Gewässerschutzverordnungen sowie verfügbaren Einleitbedingungen. Die Wirksamkeit der Anpassung würden erst nach Ablauf der Kreditierungsperiode eintreten.

Von den verschiedenen Einflussfaktoren werden damit die Abwasser- resp. Brennraumtemperatur, das Schlammalter, der Wirkungsgrad der Strippinganlage, die kantonal verfügbaren Auflagen zu der Reinigungsleistung, technische Umbauvorhaben der biologischen Reinigungsstufe und die gesetzlichen Vorschriften im Monitoring berücksichtigt.

3.3 Leakage

- **Massnahmen Typ A – D:** Die Mehremissionen durch den Bau und den Betrieb sind im Vergleich mit den Einsparungen sehr gering: Der Bau ist einfach und erfolgt durch industriell gefertigte Komponenten, im Betrieb fallen nur wenige Transporte für Hilfschemikalien an. Die daraus entstehenden Emissionen können vernachlässigt werden. Wird in den Projekten des Typs A, C und D zusätzliche Wärme über Klärgas/Biogas produziert, das im Referenzszenario in das Schweizer Gasnetz eingespeist wird, können Leakage-Emissionen durch Substitution entstehen (Beschluss Nr. 248 der Geschäftsstelle Kompensation).
- **Massnahme Typ A:** Beim Einsatz des hergestellten Düngers handelt es sich ausschliesslich um eine Substitution von anderem Handelsdünger. Bei einer vergleichbaren Zusammensetzung und Austragsmethode wäre mit vergleichbaren N_2O -Emissionen zu rechnen. Deshalb führt der Verkauf des hergestellten Düngers zu keinen zusätzlichen Emissionen. Untersuchungen zeigen zudem, dass bei richtiger Anwendung beim Ammoniumsulfat-Dünger geringere Lachgasemissionen gemessen werden können [29]. Da die erwarteten Emissionen in der Landwirtschaft somit gleich hoch oder tiefer liegen als im Referenzszenario, wird auf eine Berücksichtigung der positiven Leakage Emissionen verzichtet. Für das Stripping-Verfahren wird Natronlauge und Schwefelsäure benutzt. Gemäss Schätzungen sind dies rund 300 Tonnen Natronlauge und 200 Tonnen Schwefelsäure pro Projekt und Jahr (A1.2, vgl. Beilage 10). Da dies sehr verbreitete und in der Industrie häufig genutzte Produkte sind, und der grösste Teil dieser aus dem Ausland importiert wird, kann davon ausgegangen werden, dass durch das Programm keine Leakage-Emissionen durch den erhöhten Konsum von Natronlauge und Schwefelsäure entstehen.

Leakage-Emissionen ergeben sich damit bei Anlagen, welche Biogas, das im Referenzszenario in das Schweizer Gasnetz einspeist wird, im Projetszenario für die Produktion von Wärme nutzen. In dem Fall ist Biogas mit dem Emissionsfaktor von Erdgas in der Berechnung der Projetemissionen zu berücksichtigen.

Auf eine Anrechnung einer positiven Leakage (Massnahme C) durch einen Minderverbrauch von Glykol oder ähnlichen C-Quellen wird im Sinne der einfachen Methodik und eines konservativen Ansatzes verzichtet.

3.4 Projektemissionen

Die jährlichen Projektemissionen E_P werden wie folgt berechnet:

$$\text{Grundsatz: } E_P = A_{P,N_2O} \cdot \frac{m_{N_2O}}{N_2O-N} \cdot GWP_{N_2O} + BK_W \cdot EF_W \quad (1)$$

Abk.	Grösse	Einheit	Quelle
E_P	Projektemissionen	t_{CO_2eq}/a	
A_{P,N_2O}	Aktivitätsrate im Projektszenario	t_{N_2O-N}/a	Formel (2),(4)
GWP_{N_2O}	Global Warming Potential N_2O	$kgCO_{2eq}/kgN_2O$	[6] Anhang A3
BK_W	Brennstoffkonsum für Wärmeproduktion	kWh/a	Messung ARA
EF_W	Emissionsfaktor des Energieträgers für die Wärmeproduktion	tCO_{2eq}/kWh	[6] Anhang A3
$\frac{m_{N_2O}}{N_2O-N}$	Verhältnis Molmasse N_2O zu Molmasse N_2O-N (44/28=1.57)	-	

Dabei berechnet sich die Aktivitätsrate je nach Projekttyp wie folgt:

$$\text{Typen A-C: } A_{P,N_2O} = F_{a,N} \cdot EF_P \quad (2)$$

Abk.	Grösse	Einheit	Quelle
$F_{a,N}$	Gesamt-Stickstofffracht im Zulauf zur Kläranlage (Typ A und B) oder im Zulauf zur Nitritionsstufe (Typ C)	t_N/a	Messung ARA
EF_P	Emissionsfaktor von N_2O-N in Bezug auf die gesamte N-Fracht im Zufluss zur Kläranlage (Typ A und B) resp. Zufluss zur Nitritionsstufe (Typ C).	%	Messung ARA

Der **Emissionsfaktor** EF_P muss während der Projektphase durch eine kontinuierliche Messung der Emissionen ermittelt werden (vgl. Anhang A5.2). Bei Projekttyp A genügt als Ausweis der Projektemissionen eine Vergleichsmessung der Emissionen in einem Modellversuch (Strasse mit Faulwasser und ohne Faulwasser) über mindestens ■ Monate. Erfolgt die Messung mittels eines Modellversuchs durch eine Substitution des Faulwassers, ist im Monitoring der Wirkungsgrad des Strippings proportional zum Abzug zu bringen.

$$\text{Typ D: } F_{N_2O,ab,d} = 10^{-6} \cdot \sum_{t=0}^n C_{N_2O,Abgas,t} \cdot Q_{h,t} \quad (3)$$

$$A_{P,N_2O} = 10^{-3} \cdot \sum_{d=0}^k F_{N_2O,ab,d} \quad (4)$$

Abk.	Grösse	Einheit	Quelle
$\bar{C}_{N_2O,Abgas,t}$	Gemessene mittlere N_2O-N Konzentration im Abgas der RTO-Anlage während Betriebsminute t	mgN/m^3	Kontinuierliche N_2O Messung
$\bar{Q}_{h,Abluftt}$	Gemessene durchschnittliche Abluftmenge während Betriebsminute t	Nm^3	Kontinuierliche Messung
$F_{N_2O,ab,d}$	Menge Lachgas im Abgas der RTO-Anlage am Tag d	kgN/d	Formel (3)
k	Anzahl Messungen, für die sowohl ein Wert für $F_{N_2O,ab,d}$, als auch für $F_{N_2O,zu,d}$ vorhanden sind.	-	Auswertung Emissionen pro Tag

3.5 Referenzentwicklung

Die Referenzemissionen E_R entsprechen den N_2O Emissionen, die ohne die Umsetzung von Massnahmen entstanden wären. Diese berechnen sich wie folgt:

$$\text{Grundsatz: } E_R = A_{RN2O} \cdot m_{\frac{N2O}{N2O-N}} \cdot GWP_{N2O} \quad (10)$$

Abk.	Grösse	Einheit	Quelle
E_R	Referenzemissionen	t_{CO_2eq}/a	
A_{RN2O}	Aktivitätsrate im Referenzszenario	t_N/a	Formel (11),(13)
GWP_{N2O}	Global Warming Potential N_2O	$kgCO_{2eq}/kgN_2O$	[6] Anhang A3
$m_{\frac{N2O}{N2O-N}}$	Verhältnis Molmasse N_2O zu Molmasse N_2O-N (44/28=1.57)		

Dabei berechnet sich die Aktivitätsrate im Referenzszenario je nach Projekttyp wie folgt:

$$\text{Typen A-C: } A_{PN2O} = F_{aN} \cdot EF_R \quad (11)$$

Abk.	Grösse	Einheit	Quelle
EF_R	Emissionsfaktor von N_2O-N in Bezug auf die gesamte N-Fracht im Zufluss zur Kläranlage (Typ A und B) resp. Zufluss zur Nitritionsstufe (Typ C).	%	Messung ARA oder Standard-Faktor nach N2OklimARA [33]
F_{aN}	Gesamt-Stickstofffracht im Zulauf zur Kläranlage (Typ A und B) oder im Zulauf zur Nitritionsstufe (Typ C)	t_N/a	Messung ARA

Der Emissionsfaktor EF_R der entsprechenden Verfahrensstufe ergibt sich aus

- Standard-Emissionsfaktoren gemäss Kapitel 5.3.2 oder
- anlagenspezifischen Messungen über 12, resp. ■ Monate (Anhang A5.2).

$$\text{Typ D: } F_{N_2O,zu,d} = 10^{-6} \cdot \sum_{t=0}^n C_{N_2O,Abluft,t} \cdot Q_{h,t} \quad (12)$$

$$A_{P,N_2O} = 10^{-3} \cdot \sum_{d=0}^k F_{N_2O,zu,d} \quad (13)$$

Abk.	Grösse	Einheit	Quelle
$\bar{C}_{N_2O,Abluft,t}$	Lachgaskonzentration im Abgas der Verbrennung (SVA), in der Abluft der biologischen Reinigungsstufe oder Nitrifikation während der Betriebsminute t	mgN/m^3	Kontinuierliche N_2O Messung
$\bar{Q}_{h,Abluft,t}$	Gemessene durchschnittliche Abluftmenge während Betriebsminute t	Nm^3	Kontinuierliche Messung
$F_{N_2O,zu,d}$	Menge Lachgas in der Zuluft der RTO-Anlage am Tag d	kgN/d	Formel (12)
k	Anzahl Messungen, für die sowohl ein Wert für $F_{N_2O,ab,d}$, als auch für $F_{N_2O,zu,d}$ vorhanden sind.	-	Auswertung Emissionen pro Tag

3.6 Erwartete Emissionsverminderungen (ex-ante)

Für die Berechnung der erwarteten Emissionsverminderungen werden obige Formeln (1) – (12) und die entsprechende Werte angewandt. Damit ergeben sich für die vermiedenen Emissionen:

$$ER_y = (E_{R,y} - E_{P,y})$$

ER_y = Emissionsminderung im Jahr y (tCO₂-eq/a)

$E_{R,y}$ = Referenzemissionen im Jahr y (tCO₂-eq/a)

$E_{P,y}$ = Projektemissionen im Jahr y (tCO₂-eq/a)

Kalenderjahr Zeitpunkt Wirkungsbeginn: 01.05.2023	Erwartete Referenzentwicklung (in t CO ₂ eq)	Erwartete Projektemissionen (in t CO ₂ eq)	Schätzung der Leakage (in t CO ₂ eq)	Erwartete Emissionsverminderungen (in t CO ₂ eq)
	$E_{R,y}$	$E_{P,y}$		ER_y
1. Kalenderjahr: 2023	█	█		█
2. Kalenderjahr: 2024	█	█		█
3. Kalenderjahr: 2025	█	█		█
4. Kalenderjahr: 2026	█	█		█
5. Kalenderjahr: 2027	█	█		█
6. Kalenderjahr: 2028	█	█		█
7. Kalenderjahr: 2029	█	█		█
8. Kalenderjahr 2030	█	█		█
Total:	█	█		█

Tabelle 5: Abschätzung Potential Kreditierungsperiode.

Die oben beschriebenen Referenz- und Projektemissionen beruhen auf Monitoring-Daten des bereits realisierten Projekts sowie für Musterprojekte auf Messungen der EAWAG resp. ETHZ im Rahmen von Forschungsprojekten (vgl. Anhang A3.1). Die Messungen geben gute Hinweise, wie gross die zu erwartenden Emissionsminderungen sein werden.

Den Berechnungen in Tabelle 5 wurden folgende Abschätzungen und Annahmen zu Grunde gelegt:

Programmjahr	10-50'000 EW	50 - 100'000 EW	>100'000 EW
1			█
2		█	█
3	█	█	█
4		█	█
5	█	█	
6			
7			
8			
Total Anlagen	█	█	█

Abbildung 7: Annahmen zur Berechnung der erwarteten Emissionsminderungen (ex-ante)

Wirkungsaufteilung

Die Wirkungsaufteilung auf Ebene des Programms und den einzelnen Projekten ist für die ex-ante Berechnung nicht relevant, da im aktuell integrierten Projekt keine Förderprogramme, resp. Finanzhilfen in Anspruch genommen werden (siehe Kapitel 2.1). Aufgrund fehlender Förderprogramme wird davon ausgegangen, dass für die Projekte keine Wirkungsaufteilung notwendig ist.

3.7 Dauerhaftigkeit der Speicherung von Kohlenstoff

Keine Bedeutung im Rahmen dieses Programms.

4 Nachweis der Zusätzlichkeit

Stufe Programm

Es gibt keine Erträge oder Unterstützungsbeiträge auf Programmebene. Der Programmeigner finanziert sich ausschliesslich über die verkauften Bescheinigungen.

Stufe Projekt

Wie in der Ausgangslage (Kapitel 1.4.1) beschrieben, erfüllen die Anlagen die gesetzlichen Vorgaben in Bezug auf die Gewässerschutz- und die Luftreinhalteverordnung.

Die Erfahrungen aus verschiedenen Forschungs- und Pilotprojekten¹⁰ ([34],[41],[42]) haben gezeigt, dass die für die Umsetzung der Massnahmen erforderlichen Technologien zwar ausgereift, die Erträge, resp. erzielbaren Einsparungen zu gering sind, um die notwendigen Investitionen zu tätigen.

Es gilt die gesetzlich geregelte Spezialfinanzierung der Kläranlagen gemäss Art. 3a und Art. 60a Abs.1 des Gewässerschutzgesetzes (GSchG). Die verursacherorientierten Gebühren sind zweckgebunden für die Erfüllung des gesetzlichen Auftrages einzusetzen [27]¹¹. Die Kantone müssen zudem für einen wirtschaftlichen Betrieb der zentralen Abwasserreinigungsanlagen sorgen (Art. 10 Abs.1^{bis} GSchG).

Die Umsetzung von Massnahmen zur Reduktion der Lachgasemissionen gehört nicht zum gesetzlichen Auftrag einer Kläranlage und muss deshalb nach Art. 60a Abs. 1 GSchG nach wirtschaftlichen Kriterien erfolgen. Eine Deckung unwirtschaftlicher Mehrkosten aus den ordentlichen Abwassergebühren ist nicht zulässig.

Bei der Umsetzung können Mehrerträge oder verminderte Betriebskosten resultieren:

- **Typ A: Faulwasserstripping**
Durch den Verkauf des Ammoniumsulfat Düngers entstehen Erträge.
- **Typ B: Dynamische Regelung und Off-Gasmessung (DynARA)**
Durch die optimierte Belüftungssteuerung und die verbesserte Denitrifikationsleistung vermindert sich der Stromverbrauch.
- **Typ C: Ersatz emissionsintensiver Entstickungsverfahren**
Bei Ersatz des Faulwasserbehandlungsverfahrens können Minderkosten durch den Wegfall von Hilfsstoffen anfallen.
- **Typ D: Verbrennung von N₂O-haltiger Abluft**
Es sind keine zusätzlichen Erträge oder Minderkosten zu erwarten.

Wirtschaftlichkeitsanalyse

Je nach Projekt sind unterschiedliche, finanzielle Mehrerträge oder verminderte Betriebskosten möglich. Die Wirtschaftlichkeitsanalyse auf Ebene der Projekte wird deshalb anhand einer Benchmarkanalyse gemäss der Mitteilung des BAFU [6] Kap. 5.2.1, Option 3 durchgeführt.

Die Benchmarkanalyse wird mit dem standardisierten XLS-Tool (Anhang A4) durchgeführt und im Projektbeschrieb dokumentiert. Alle Angaben des Anlagebetreibers (z.B. Investitionskosten, Sach- und Personalkosten, etc.) müssen soweit möglich durch diesen belegt werden.

¹⁰ Die Forschungsanlage auf der ARA Kloten Opfikon wurde durch den Kanton Zürich finanziell unterstützt und durch die EAWAG für Forschungszwecke verwendet [8]. Ein zentrales Ziel dieses Forschungsvorhaben war sowohl die technische wie auch die ökonomische Machbarkeit abzuklären.

¹¹ insbesondere Art. 10 Abs. 1 GSchG, Art. 11 Abs. 1 GSchG, Art. 15 Abs. 1 GSchG, Art. 13 Abs. 1 lit a+b Gewässerschutzverordnung (GSchV), Art. 16, 17 und 19ff GSchV

Programmbeschreibung

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsanalyse werden berücksichtigt (alle Kosten exkl. MwSt.):

- Investitionskosten
- Restwerte nicht mehr benötigter Komponenten beim vorgezogenen Ersatz
- Finanzhilfen gemäss Subventionsgesetz sowie Zuschläge nach Art. 15b des Energiegesetzes
- Betriebsaufwand: Strom, Wärme, Hilfsstoffe, Personalkosten, übrige Sachkosten (Betrieb, Wartung und Instandhaltung)
- Aufwandsminderungen (Strom, Wärme, Hilfsstoffe)
- Erträge: Verkauf des Düngers, Zusatzbeiträge von Gemeinden
- Wirkungsdauer des Projekts: [REDACTED]

Projekte gelten als additional, wenn sie ohne Bescheinigungen für eine Umsetzung nicht ausreichend rentabel sind und die Bescheinigungen die Rentabilität in relevantem Ausmass erhöhen. Dabei werden zwei Fälle unterschieden:

Fall 1: Keine spezifischen Investitionsrichtlinien vorhanden

Falls keine spezifischen Investitionsrichtlinien vorhanden sind, wird ein IRR-Benchmark von 5% verwendet. Dieser Wert setzt sich zusammen aus den in der SIA-Norm 480 vorgeschlagenen Anteilen, (i) dem kalkulatorischen Zinssatz für Gemeinden und Kantone von █% [6] und (ii) einer Risikoprämie von █%, aufgrund der mit der Umsetzung der Massnahme zusammenhängenden erhöhten Risiken. Der aktuelle WACC-Wert für Ver- und Entsorgungsunternehmen (2021/22) beträgt █% [36a, Abb. 25). Der im Rahmen des Programms angewendete IRR liegt damit tiefer als der internationale Benchmark. Mit Einrechnung der Erlöse aus dem Verkauf der Bescheinigungen muss sich der IRR um mindestens █ Prozentpunkte erhöhen.

Für Kläranlagen ist die Hauptaufgabe die Reinigung des Abwassers. Für die mit der Umsetzung von Massnahmen im Rahmen dieses Programms bestehenden Risiken, müssen für den Anlagenbetreiber finanzielle Anreize vorhanden sein. Im Zusammenhang mit der Realisierung ergeben sich für den Anlagenbetreiber folgende Risiken, welche zur oben erwähnten Risikoprämie führen:

- Unsicherheit über negative Auswirkungen auf die Funktionsfähigkeit der bestehenden Anlagenkomponenten, den Wartungsaufwand und die Betriebsstabilität.
- Unsicherheit über die langfristige Deckung der Betriebskosten durch den Erlös aus Bescheinigungen.
- Inflationsrisiken, erwarteter deutlicher Anstieg des Zinsniveaus.
- Volatilität der Energie- und Rohstoffpreise
- Betriebsstabilität der neuen Anlage

Projekte gelten als additional, wenn sie gemessen über die gesamte Projektdauer, den Benchmark nicht erreichen.

Fall 2: Spezifische Investitionsrichtlinien vorhanden

Falls spezifische Investitionsrichtlinien vorhanden sind, gelten Projekte als additional, wenn die Investitionsrichtlinien nicht erfüllt sind. Die verbindlichen Investitionsrichtlinien müssen dokumentiert sein und durch einen Beschluss der Geschäftsleitung, Verwaltungsrat oder Vorstand abgesichert sein.

Sensitivitätsanalyse

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse von jedem Projekt wird einer Sensitivitätsanalyse unterzogen. In dieser wird die Sensitivität der nachfolgenden Parameter auf Veränderungen von +/- 20% untersucht. Die Zusätzlichkeit ist nachgewiesen, wenn das Projekt alle oben definierten Kriterien der Wirtschaftlichkeit in den Minimal- und Maximalszenarien nicht erfüllt.

Variierende Parameter	Massnahmentyp			
	A	B	C	D
Investitionskosten	•	•	•	•
Kosten Stromverbrauch	•	•	•	•
Kosten Wärmeverbrauch	•		•	•
Betriebsmittel (Säuren/Laugen/Methanol/.)	•		•	
Übrige Sachkosten	•	•	•	•
Personalkosten	•	•	•	•
Ertrag (z.B. Verkauf von Dünger)	•			
Minderaufwand (sofern vorhanden)	•	•	•	•

Aufgrund der Erfahrungen aus den bereits aufgenommenen Projekten sowie den laufenden Projektierungen kann die Zusätzlichkeit für alle Massnahmentypen nachgewiesen werden.

Erläuterungen zu anderen Hemmnissen

Sämtliche Faktoren, welche die Umsetzung des Projekts beeinflussen, sind monetarisierbar und fließen in die Wirtschaftlichkeitsrechnung ein. Deshalb gibt es keine weiteren Erläuterungen zu anderen Hemmnissen.

Übliche Praxis

Massnahme A

Faulwasser wird üblicherweise nicht chemisch/physikalisch behandelt, der Abbau von NH₄-N auf Kläranlagen erfolgt durch eine mikrobiologische Oxidation.

Massnahme B

Die Massnahme entspricht nicht der gängigen Praxis. Belebungsbecken werden üblicherweise nicht in unterteilbaren Kompartimenten separat belüftet und über ein intelligentes Sensornetzwerk in Bezug auf die Lachgasemissionen optimiert.

Massnahme C

Die Massnahme entspricht nicht der üblichen Praxis. Verfahren, welche wirtschaftlich und betriebsstabil sind, sowie die notwendige Leistung erbringen, werden nicht vor Ablauf der technischen Nutzungsdauer (mittlere Nutzungsdauer nach VSA: ■ Jahre) ersetzt. Punktuell werden während der technischen Nutzungsdauer nur einzelne Aggregate (z.B. Pumpen, Messsonden) ersetzt, wenn diese ihre Funktion nicht mehr erfüllen.

Massnahme D

Die Massnahme entspricht nicht der üblichen Praxis. Abluft aus Reinigungsprozessen wird nicht thermisch nachbehandelt. Falls eine Abluftbehandlung wegen Geruchsimmissionen notwendig ist, erfolgt diese biologisch oder chemisch. Diese Verfahren sind jedoch für die Elimination von Lachgasemissionen unwirksam.

5 Aufbau und Umsetzung des Monitorings

5.1 Beschreibung der gewählten Nachweismethode

Projekttyp A und B

- Referenzemissionen: Für das Monitoring werden die Stickstoffflüsse im Zulauf zu der Kläranlage erfasst und die Emissionen über das im Final Report N2OklimARA Projekt [33] erstellte Emissionsmodell berechnet. Die Referenzemissionen basieren entweder auf den standardisierten Werten des N2OklimARA Projekts [33, S. 23] oder gleichwertigen, anlagenspezifischen Messungen über ■ Monate.
- Projektemissionen Typ A: Werden über ■ Monate nach Inbetriebsetzung der Stripping-Anlage oder über einen Modellversuch bei parallelen Strassen durch Substitution des Faulwassers ermittelt.
- Projektemissionen Typ B: Werden über die Wirkungskdauer des Projekts laufend als Grundlage für die Betriebsoptimierung gemessen.

Projekttyp C

- Referenzemissionen: Für das Monitoring werden die Stickstoffflüsse im Zulauf zu der Nitritionsstufe erfasst und die Emissionen über anlagenspezifisch gemessene Emissionsfaktoren berechnet. Die Referenzemissionen werden über ■ Monate ermittelt.
- Projektemissionen: Die Projektemissionen werden mit dauernden N₂O-Messungen über die Wirkungskdauer des Projekts ermittelt.

Projekttyp D

- Für das Monitoring wird Lachgas in der Zuluft sowie im Abgasstrom der thermischen Verbrennung erfasst. Die Messungen werden nahe der Verbrennung platziert.

Die Berechnungen erfolgen über die in Kap. 3.4 definierten Formeln.

Nachweis der Aufnahmekriterien

Für alle Projekte wird die Erfüllung der Aufnahmekriterien im Anmeldeformular vom Projekteigner aufgezeigt und vom Programmeigner geprüft. Die Angaben werden für jedes Projekt im Monitoringbericht dokumentiert und bei der Erstverifizierung des Projekts als Beilage hinzugefügt.

Speicherung der Monitoring Daten von Projekten

Die Monitoring Daten der Projekte müssen durch die Projekteigner mindestens 10 Jahre aufbewahrt werden. Dies wird durch den Projekteigner im Rahmen der Anmeldung bestätigt.

5.2 Ex-post Berechnung der anrechenbaren Emissionsverminderungen

5.2.1 Formeln zur ex-post Berechnung erzielter Emissionsverminderungen

Für das Programm werden die Emissionsverminderungen der einzelnen Anlagen aufsummiert. Die Emissionsverminderungen der einzelnen Projekte nach den Formeln (21) – (35) ermittelt.

$$ER_{Programm} = \sum ER_{Projekt,i} = \sum (E_{R,Projekt i} - E_{P,Projekt i}) \quad (20)$$

ER_{Anlage}	Emissionsverminderung einer Anlage
$E_{R,Projekt i}$	Referenzemissionen der einzelnen Anlagen
$E_{P,Projekt i}$	Projektemissionen der einzelnen Projekte

Die Projektemissionen $E_{P,Vorhaben}$ werden wie folgt berechnet:

$$E_{P,Vorhaben} = A_{P,N2O} \cdot m_{\frac{N2O}{N2O-N}} \cdot GWP_{N2O} + BK_W \cdot EF_W \quad (21)$$

Projekttypen A-C:

$$F_{a,N} = 10^{-6} \cdot 365 \cdot avg(\sum_{i=0}^n C_{N,zu,i} \cdot Q_{d,zu,i}) \quad (22)$$

$$A_{P,N2O} = F_{a,N} \cdot EF_P \quad (23)$$

Projekttyp D:

$$F_{N2O,ab,d} = 10^{-6} \cdot \sum_{t=0}^n C_{N2O,Abgas,t} \cdot Q_{h,t} \quad (24)$$

$$A_{P,N2O} = 10^{-3} \cdot \sum_{d=0}^k F_{N2O,ab,d} \quad (25)$$

Die Referenzemissionen $E_{R,Vorhaben}$ werden wie folgt berechnet:

$$E_{R,Vorhaben} = A_{P,N2O} \cdot m_{\frac{N2O}{N2O-N}} \cdot GWP_{N2O} \quad (31)$$

Projekttypen A-C:

$$F_{a,N} = 10^{-6} \cdot 365 \cdot avg(\sum_{i=0}^n C_{N,Zu,i} \cdot Q_{d,Zu,i}) \quad (32)$$

$$A_{P,N2O} = F_{a,N} \cdot EF_R \quad (33)$$

Typ D:

$$F_{N2O,zu,d} = 10^{-6} \cdot \sum_{t=0}^n C_{N2O,Abluft,t} \cdot Q_{h,t} \quad (34)$$

$$A_{P,N2O} = 10^{-3} \cdot \sum_{d=0}^k F_{N2O,zu,d} \quad (35)$$

Programmbeschreibung

Abk.	Grösse	Einheit
$E_{P,Vorhaben}$	Projektemissionen eines einzelnen Vorhabens	t_{CO_2eq}/a
$E_{R,Vorhaben}$	Referenzemissionen eines einzelnen Vorhabens	t_{CO_2eq}/a
A_{P,N_2O}	Aktivitätsrate im Projektszenario	t_{N_2O-N}/a
GWP_{N_2O}	Global Warming Potential N_2O	$kgCO_{2eq} / kgN_2O$
BK_W	Brennstoffkonsum für Wärmeproduktion	kWh/a
EF_W	Emissionsfaktor des Energieträgers für die Wärmeproduktion	tCO_{2eq} / kWh
$m_{\frac{N_2O}{N_2O-N}}$	Verhältnis Molmasse N_2O zu Molmasse N_2O-N ($44/28=1.57$)	-
$F_{a,N}$	Gesamt-Stickstofffracht im Zulauf zur Kläranlage (Typ A und B) oder im Zulauf zur Nitritionsstufe (Typ C)	t_N/a
$C_{N,zu}$	Stickstoffkonzentration im Zulauf zur Kläranlage (Projekttypen A und B) oder im Zulauf zur Nitritionsstufe (Typ C).	gN/m^3
$Q_{d,zu}$	Tägliche Abwassermenge im Zulauf zur Kläranlage (Typ A und B) oder im Zulauf zur Nitritionsstufe (Typ C)	m^3/d
EF_P	Projekt-Emissionsfaktor von N_2O-N in Bezug auf die gesamte N-Fracht im Zufluss zur Kläranlage (Typ A und B) resp. Zufluss zur Nitritionsstufe (Typ C).	%
EF_R	Referenz-Emissionsfaktor von N_2O-N in Bezug auf die gesamte N-Fracht im Zufluss zur Kläranlage (Typ A und B) resp. Zufluss zur Nitritionsstufe (Typ C).	%
$\bar{Q}_{h,Abluft,t}$	Gemessene durchschnittliche Abluftmenge während Betriebsminute t	Nm^3
$\bar{C}_{N_2O,Abgas,t}$	Gemessene mittlere N_2O-N Konzentration im Abgas der RTO-Anlage während Betriebsminute t	mgN/m^3
$\bar{C}_{N_2O,Abluft,t}$	Lachgaskonzentration im Abgas der Verbrennung (SVA), in der Abluft der biologischen Reinigungsstufe oder Nitrifikation während der Betriebsminute t	mgN/m^3
$F_{N_2O,zu,d}$	Menge Lachgas in der Zuluft der RTO-Anlage am Tag d	kgN/d
$F_{N_2O,ab,d}$	Menge Lachgas im Abgas der RTO-Anlage am Tag d	kgN/d
k	Anzahl Messungen, für die sowohl ein Wert für $F_{N_2O,ab,d}$, als auch für $F_{N_2O,zu,d}$ vorhanden sind.	

5.2.2 Wirkungsaufteilung

Eine allfällige Wirkungsaufteilung der Projekte wird gemäss den Bestimmungen in der Vollzugsmittelteilung bei der Programmaufnahme, beziehungsweise im Monitoring, basierend auf den Bestimmungen der Vollzugshilfe, Stand 2022 festgelegt und jährlich vorgenommen (vgl. Kapitel 2).

5.3 Datenerhebung und Parameter

Im Folgenden sind die fixen Parameter, sowie die dynamischen Parameter und Messdaten aufgelistet, die für die Berechnung der Emissionsverminderungen jedes einzelnen Projekts benötigt werden. Die Positionierung auf der Kläranlage ergibt sich aus den Abbildung 8 und Abbildung 9. Die Messstellen bei Projekten Typ D sind trivial und nicht dargestellt.

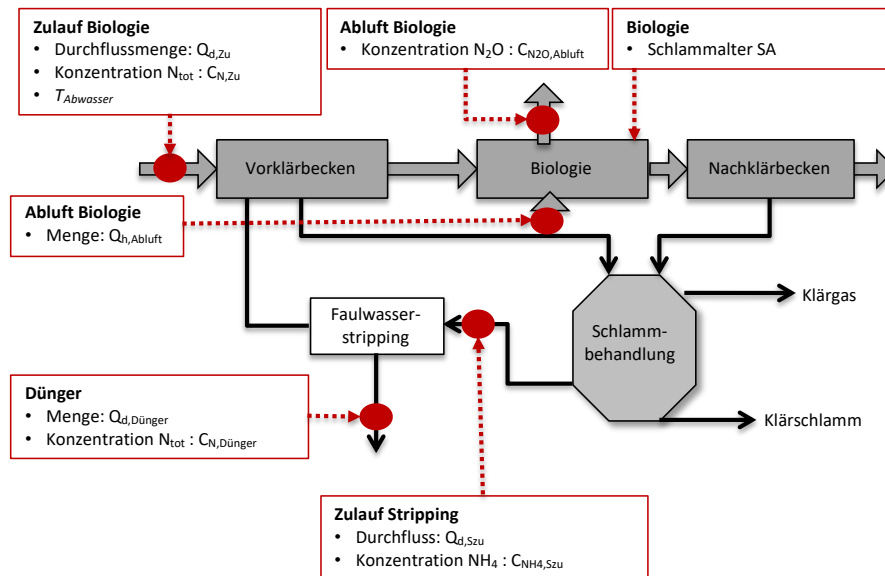


Abbildung 8: Schematische Darstellung der erforderlichen Messstellen bei Projekten Typ A und B

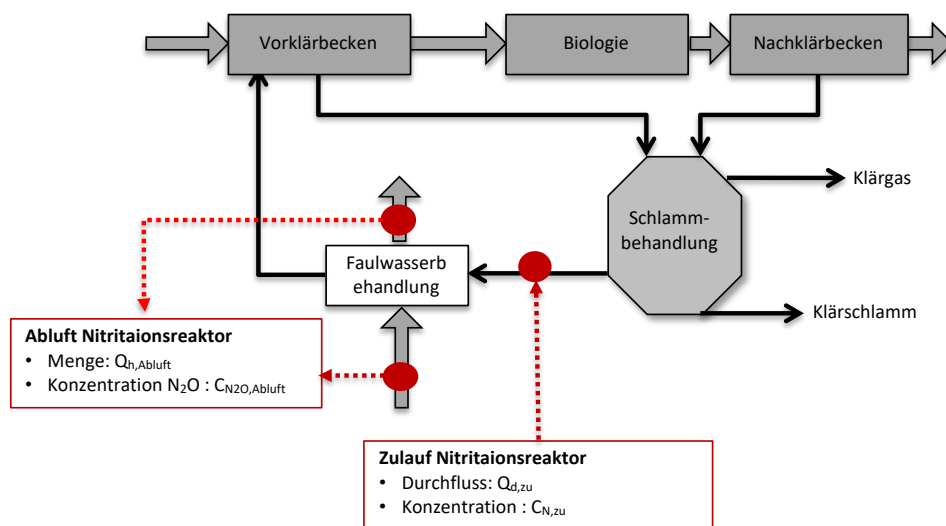


Abbildung 9: Schematische Darstellung der erforderlichen Messstellen bei Projekten Typ C

5.3.1 Fixe Parameter

Fixer Parameter	$GW P_{N_2O}$	A B C D
Beschreibung des Parameters	Global Warming Potential N ₂ O	
Wert	265	
Einheit	tCO_{2eq} / tN_2O	
Datenquelle	CO ₂ -Verordnung, Vollzugsmitteilung BAFU [6]	

Fixer Parameter	$\frac{m_{N_2O}}{N_2O-N}$	A B C D
Beschreibung des Parameters	Verhältnis Molmasse N ₂ O zu Molmasse N ₂ O-N (=44/28)	
Wert	1.57	
Einheit	-	
Datenquelle	Periodensystem	

Fixer Parameter	EF_W	A B C D
Beschreibung des Parameters	Emissionsfaktor des Energieträgers für die Wärmeproduktion	
Wert	Heizöl: 265×10^{-6} Strom: $29,8 \times 10^{-6}$ Erdgas: 203×10^{-6} Biogas ¹² : 203×10^{-6} s. Bemerkung 1 Klärgas, Biogas: 0 s. Bemerkung 2	
Einheit	tCO_{2eq} / kWh	
Bemerkung 1	Bei allen Projekten, bei welchen im Referenzszenario das verwendete Biogas ins Netz eingespeist wird, müssen die Emissionen mit dem Emissionsfaktor für Erdgas als Projektemissionen berücksichtigt werden.	
Bemerkung 2	Nur Biogas/Klärgas welches direkt ab Produktion genutzt wird und auch im Referenzszenario nicht in das Schweizer Gasnetz eingespeist wird, darf als CO ₂ -neutral angesehen werden.	
Datenquelle	CO ₂ -Verordnung, Vollzugsmitteilung BAFU [6]	

¹² Gemäss Beschluss Nr. 248 der Geschäftsstelle Kompensation ist beim Bezug von Biogas aus dem Schweizer Gasnetz dieses Erdgas gleichzusetzen. Diese Regelung gilt nicht für Biogas, welches direkt ab Produktion genutzt wird, ohne dass es zuvor in das Schweizer Gasnetz eingespeist wird. Dies muss im Kontext des Referenzszenarios betrachtet werden. D.h. nur Biogas welches direkt ab Produktion genutzt wird und auch im Referenzszenario nicht in das Schweizer Gasnetz eingespeist wird, darf als CO₂-neutral angesehen werden.

5.3.2 Dynamische Parameter

Die dynamischen Parameter werden im Programm für die neu aufzunehmenden Projekte bestimmt. Ändern sich die Rahmenbedingungen nicht (vgl. Kap. 5.3.5) bleiben sie über die Wirkungskdauer des Projekts fix. Sie werden in der ersten Monitoringperiode festgelegt.

Dynamischer Parameter	EF_R	A B C
Beschreibung des Parameters	Emissionsfaktor von N ₂ O-N in Bezug auf die gesamte N-Fracht im Zufluss zur Kläranlage (Typ A und B) resp. Zufluss zur Nitritionsstufe (Typ C).	
Wert	Projektspezifisch bzw. Standardwert (siehe Beschreibung unten)	
Einheit	%	
Datenquelle	N2OklimARA / BAFU [33] oder anlagenspezifische Messungen.	
Bemerkung	Siehe Bemerkungen unten	

Aufgrund der zum Zeitpunkt der erneuten Validierung 2023 existierenden wissenschaftlichen Grundlagen mit Langzeitmessungen der Lachgasemissionen auf vielen ARAs, können für die folgenden zwei ARA-Anlagenkategorien Standard-Emissionsfaktoren verwendet werden:



Die Werte entsprechen den Faktoren, die ab dem Jahr 2023 auch im NIR verwendet werden. Nicht anwendbar im Programm ist der Standardwert «ganzjährige Nitrifikation» für Wirbelbett-Anlagen und Hybrid-Wirbelbett-Anlagen.

Für alle anderen Anlagen, darunter beispielsweise solche, welche lediglich auf eine C-Elimination ohne ganzjährige Nitrifikation ausgerichtet sind, oder für emissionsintensive Nitritionsverfahren existieren keine Standardfaktoren. Der Emissionsfaktor EF_R muss auf der Grundlage von anlagenspezifischen Messungen bestimmt werden. Diese müssen den folgenden Anforderungen genügen:

- Biologische Reinigungsstufe (Nitrifikation/Denitrifikation/C-Elimination): Messdauer ■ Monate, resp. ein ganzes Jahr
- Nitritionsstufe: Messdauer ■ Monate. Da in der Nitritionsstufe homogene Temperatur- und Frachtverhältnisse herrschen, ist diese keinen jahreszeitlichen Effekten ausgesetzt. Die erforderliche Messdauer kann deshalb kürzer angesetzt werden.

Die Messungen müssen über geeignete Off-Gas Messungen durch Fachpersonen nach dem Stand der Technik vorgenommen und ausgewertet werden (vgl. Anhang A5.2). Die Resultate sind in einem Messbericht zusammenfassend darzustellen. Der Messbericht enthält eine Beurteilung über die Repräsentativität der Messungen und des Betriebszustandes der Anlage.

Sind für eine Anlage, welche grundsätzlich die Voraussetzungen zur Anwendung eines Standardfaktors erfüllen würde, ausreichende anlagenspezifische Messdaten vorhanden, um einen anlagenspezifischen Faktor zu bestimmen, muss dieser angewendet werden, unabhängig davon, ob er höher oder niedriger liegt als der entsprechende Standardfaktor. Wird für eine Anlage entschieden, anstelle der Anwendung eines Standardfaktors Messungen zur Ermittlung eines anlagenspezifischen Faktors vorzunehmen, sind diese auch dann über die ganze Messdauer abzuschliessen, wenn sich die ursprünglichen Hypothesen (z.B. besonders hohe oder besonders niedrige N₂O-Emissionen) nicht bestätigen.

Programmbeschreibung

Dynamischer Parameter	$EF_{P, TYP A}$ A
Beschreibung des Parameters	Emissionsfaktor im Projektszenario bei Projekttyp A von N_2O-N in der biologischen Stufe in Bezug auf die gesamte N-Fracht im Zufluss zur Kläranlage
Wert	Projektspezifischer Messwert
Einheit	%
Datenquelle	Messung über ■ Monate
Bemerkung	Der Emissionsfaktor $EF_{P, TYP A}$ wird anhand von anlagenspezifischen Messungen über ■ Monate erhoben. Wenn die Messung über eine Umleitung des Faulwassers erfolgt (vollständige Substitution), sind die ermittelten Emissionsfaktoren proportional zum Wirkungsgrad des Strippings zu reduzieren (s.FAR 1, Validierungsbericht vom 15.6.2018). Bei einer sequentiellen Messung werden die Projektemissionen nach Inbetriebnahme der Stripping-Anlage kontinuierlich über ■ Monate gemessen. In diesem Fall beinhaltet der ermittelte Reduktionsfaktor den Wirkungsgrad der Stripping-Anlage bereits.

5.3.3 Messwerte

Messwert	EF_p B C
Beschreibung	Emissionsfaktor von N_2O-N in Bezug auf die gesamte N-Fracht im Zufluss zur Kläranlage (Typ B) resp. Zufluss zur Nitritionsstufe (Typ C).
Einheit	%
Datenquelle	$Q_{d,ZU}, Q_{h,Abluft}, C_{N,Zu}, C_{N2O,Abluft}$
Bemerkung	Der Emissionsfaktor wird fortlaufend über die gesamte Wirkungsdauer des Projekts ermittelt und im Rahmen des Monitoringberichts für die Periode anhand der Abluftmessungen bestimmt. Erfolgt die Messung in einer offenen Belebtschlammanlage, müssen die Messungen durch Fachpersonen nach dem Stand der Technik vorgenommen und ausgewertet werden (vgl. Anhang A5). Die Resultate sind in einem Messbericht zusammenfassend darzustellen. Der Messbericht enthält eine Auswertung des Faktors EF_p sowie eine Beurteilung der Repräsentativität der Messungen und des Betriebszustandes der Anlage.

Messwert	$Q_{d,ZU}$ A B C
Beschreibung	Tägliche Abwassermenge im Zulauf zur Kläranlage (Typ A und B) oder im Zulauf zur Nitritionsstufe (Typ C)
Einheit	[m ³ /d]
Datenquelle	Durchflussmessung
Erhebungsinstrument	Venturikanal, MID-Durchflussmessung
Beschreibung Messablauf	Kontinuierliche Messung
Kalibrierungsablauf	Gemäss den Angaben des jeweiligen Herstellers
Genauigkeit der Messmethode	± 5%
Messintervall	Minutenmesswerte

Programmbeschreibung

Messwert	$Q_{h,Abluft}$ B C D
Beschreibung	Gemessene durchschnittliche Abluftmenge während Betriebsminute t
Einheit	[Nm ³ /min]
Datenquelle	Luftmengenmessung
Erhebungsinstrument	Volumenstrom- Messgerät nach dem Prinzip der Differenzdruckmessung. Umrechnung resp. Normierung durch das Prozessleitsystem (PLS) auf Normdruck 1013 mbar und Normtemperatur 273,15 °C. Alternative Feststellung über die Gebläse-Leistung und Druckkurve des Gerätelieferanten.
Beschreibung Messablauf	Kontinuierliche Messung. Der Ort der Messung (Zuluft oder gesammelte Abluft) wird je nach Projekt aufgrund der technischen Auslegung festgelegt.
Kalibrierungsablauf	Regelmässige (alle 3 Jahre) Justierung durch den jeweiligen Hersteller
Genauigkeit der Messmethode	± 5%
Messintervall	Minutenmesswerte

Messwert	$C_{N,zu}$ A B C
Beschreibung	Stickstoffkonzentration im Zulauf zur Kläranlage (Projekttypen A und B) oder im Zulauf zur Nitritionsstufe (Typ C).
Einheit	[gN/m ³]
Datenquelle	Messresultate Messlabor ARA
Erhebungsinstrument	Zeit- oder volumenproportionale Probenahme über 24 Stunden
Beschreibung Messablauf	Küvetten Messungen verschiedener Hersteller Ist eine Messung nur im Ablauf der Vorklärung möglich (nur bei Typ B) kann die massgebende Stickstofffracht im Zulauf zur Kläranlage über den Standard-Wirkungsgrad der Vorklärung nach DWA A 131 (2016) von 10% korrigiert werden [49].
Kalibrierungsablauf	z.B. Laton Gesamt-Stickstoff Küvetten-Test LCK 138; LCK 238 und LCK 338 (z.B. Hach-Lange)
Genauigkeit der Messmethode	Durch die richtige Anwendung kann der Test im vom Hersteller angegebenen Messbereich eine Genauigkeit ± 5% erreicht werden.
Messintervall	Mindestens 2 Messungen pro Woche.
Qualitätssicherung	Wartungsvertrag mit jährlicher Eichmessung 3 x pro Jahr Standard-Messung: Die Abweichung darf nur innerhalb des von den Herstellern angegebenen Vertrauensbereiches liegen. 2 x pro Jahr Vergleichsmessungen der kantonalen Aufsichtsbehörde

Programmbeschreibung

Messwert	$C_{N2O,Abluft}$ B C D
Beschreibung	Lachgaskonzentration im Abgas der Verbrennung (SVA), in der Abluft der biologischen Reinigungsstufe oder Nitrifikation während der Betriebsminute t
Einheit	[mg _N /Nm ³]
Datenquelle	Messresultate Onlinemessung ARA in ppm. Die Berechnung erfolgt aufgrund der Formel in Anhang 5 über eine Umrechnung von ppm auf mg _N /Nm ³ und eine Normierung (Normdruck 1013 mbar und Normtemperatur 273,15 °C)
Erhebungsinstrument	Messleitung, Spektrometer
Beschreibung Messablauf	Messleitung mit H ₂ O Abscheider und Online-Analyzer (Spektrometer)
Kalibrierungsablauf	Gemäss Angaben der Lieferanten der Messgeräte
Genauigkeit der Messmethode	± 5%
Messintervall	Minutenmesswerte
Qualitätssicherung	Wartungsvertrag mit Eichmessung mittels Eichgas einmal pro Monat. Erfolgt die Messung in einer offenen Belebtschlammanlage s. Ausführungen zu Parameter EF _P .

Messwert	$C_{N2O,Abgas}$ D
Beschreibung	Lachgaskonzentration im Abgas der RTO
Einheit	[mg _N /m ³] Umrechnung resp. Normierung durch das Prozessleitsystem (PLS) auf Normdruck 1013 mbar und Normtemperatur 273,15 °C → mg _N /Nm ³
Datenquelle	Messresultate Onlinemessung ARA
Erhebungsinstrument	Messleitung, Spektrometer
Beschreibung Messablauf	Messleitung mit H ₂ O Abscheider und Online-Analyzer (Spektrometer)
Kalibrierungsablauf	Gemäss Angaben der Lieferanten der Messgeräte
Genauigkeit der Messmethode	± 5%
Messintervall	Minutenmesswerte
Qualitätssicherung	Wartungsvertrag mit Eichmessung mittels Eichgas einmal pro Monat

Messwert	BK_W A C D
Beschreibung	<i>Brennstoffkonsum</i> für Wärmeproduktion
Einheit	[kWh/d]
Datenquelle	Verbrauchsmessungen Brennstoff (Gaskonsum, Heizölkonsum)
Erhebungsinstrument	Auszug Leitsystem, Rechnungen
Beschreibung Messablauf	Zählerablesungen, Verrechnung durch Lieferanten
Kalibrierungsablauf	Gemäss Angaben der Lieferanten der Messgeräte
Genauigkeit der Messmethode	± 2%
Messintervall	Laufende Online-Messung
Qualitätssicherung	Quervergleich mit Wärmeproduktion

Neben den Parametern informieren die Programmteilnehmer über folgende Aspekte:

- Allfällige Veränderungen in den Monitoringprozessen und -verantwortlichkeiten
- Allfällige technische Änderungen der Anlage
- Grössere betriebliche Probleme oder Einschränkungen
- Allfällige Änderungen in der Wärmeproduktion
- Allfällige neue Finanzhilfen und Schnittstellen zu anderen Kompensationsprojekten, bzw. Förderprogrammen¹³

5.3.4 Plausibilisierung der Daten und Berechnungen

Die Plausibilisierung der Daten und Berechnungen basiert auf den Messdaten der ARA nach Kapitel 5.3.2 und den nachstehenden zusätzlichen Messungen.

Messwert	Wirkungsgrad Stripping	A
Beschreibung	Wirkungsgrad Stripping-Anlage während des Betriebs	
Einheit	%	
Datenquelle	Berechnung basierend auf dem Zentraldurchfluss $Q_{aZentral}$, der Ammoniumkonzentration im Zentraldurchfluss, $C_{NH_4-N-Szu}$ und der produzierten Menge Ammoniumsulfatdünger.	
Art der Plausibilisierung	Wirkungsgrad sollte 75% oder mehr betragen.	

Messwert	$Q_{a,Szu}$	A
Beschreibung	Zufluss zur Strippinganlage	
Einheit	[m ³ /d]	
Datenquelle	Durchflussmessung	
Erhebungsinstrument	MID-Durchflussmessung	
Kalibrierungsablauf	Gemäss den Angaben des jeweiligen Herstellers	
Genauigkeit der Messmethode	± 2%	
Messintervall	Minutenmesswerte	

Messwert	$Q_{a,Dünger}$	A
Beschreibung	Täglich produzierte Düngermenge	
Einheit	[m ³ /d]	
Datenquelle	Durchflussmessung	
Erhebungsinstrument	MID-Durchflussmessung	
Beschreibung Messablauf	Kontinuierliche Messung	
Kalibrierungsablauf	Gemäss den Angaben des jeweiligen Herstellers	
Genauigkeit der Messmethode	± 2%	

¹³ Zum Beispiel zum Projekt «0159 N₂O-Vernichtung bei der Schlammverbrennung der ARA Rhein AG» oder Teilnahme im Förderprogramm «Energieeffiziente ARA» (Trägerschaft: Verein Infracwatt).

Programmbeschreibung

Messintervall	Minutenmesswerte
---------------	------------------

Messwert	$C_{NH_4, Szu}$ A
Beschreibung	Ammoniumkonzentration im Zulauf Strippinganlage
Einheit	[mgN/l]
Datenquelle	Messresultate Messlabor ARA
Erhebungsinstrument	Zeit- oder volumenproportionale Probenahme über die Betriebsdauer
Beschreibung Messablauf	Küvetten Messungen verschiedener Hersteller
Kalibrierungsablauf	Gemäss Angaben Hersteller
Genauigkeit der Messmethode	Durch die richtige Anwendung kann der Test im vom Hersteller angegebenen Messbereich eine Genauigkeit $\pm 5\%$ erreicht werden.
Messintervall	2x pro Woche

Messwert	$C_{N, Dünger}$ A
Beschreibung	Stickstoffkonzentration im Dünger
Einheit	[kgN/kgDünger]
Datenquelle	Messresultate Messlabor ARA
Erhebungsinstrument	Probenahme pro Gebinde
Beschreibung Messablauf	Küvetten Messungen verschiedener Hersteller
Kalibrierungsablauf	Gemäss Angaben der Lieferanten der Messgeräte
Genauigkeit der Messmethode	Durch die richtige Anwendung kann der Test im vom Hersteller angegebenen Messbereich eine Genauigkeit $\pm 5\%$ erreicht werden.
Messintervall	Wöchentliche Messung
Qualitätssicherung	Wartungsvertrag mit jährlicher Eichmessung 3 x pro Jahr Standart-Messung: Die Abweichung darf nur innerhalb des von den Herstellern angegebenen Vertrauensbereiches liegen. 2 x pro Jahr Vergleichsmessungen der kantonalen Aufsichtsbehörde

Messwert	$T_{Abwasser}$ A B C
Beschreibung	Abwassertemperatur Zulauf zur Biologie, resp. im Reaktor
Einheit	[Celsius]
Datenquelle	Leitsystem ARA
Erhebungsinstrument	Messsonde
Genauigkeit der Messmethode	Durch die richtige Anwendung kann eine Genauigkeit $\pm 0.3^\circ\text{C}$ erreicht werden.
Messintervall	Kontinuierlich
Qualitätssicherung	Wartungsvertrag mit jährlicher Eichmessung

Programmbeschreibung

Messwert	SA	A B
Beschreibung	Schlammalter	
Einheit	[Tage]	
Datenquelle	Leitsystem ARA	

Messwert	Wirkungsgrad N2O Elimination	D
Beschreibung	Wirkungsgrad der Verbrennung von N2O in der RTO-Anlage. Der Wirkungsgrad kann aus den ermittelten Referenz- und Projektemissionen berechnet werden. Zielgrösse bei laufender RTO ist 90%. Er ist damit ein Mass für die Beurteilung der Zuverlässigkeit der Zuluft und Abgasmessungen.	
Einheit	[%]	
Datenquelle	Zu- und Abgasmessungen der RTO	

Messwert	Betriebsdauer RTO	D
Beschreibung	Die Betriebsdauer der RTO und die behandelte Menge Lachgas liefert Hinweise über die Plausibilität der Messungen. Bei vollem Betrieb der RTO-Anlage müsste die behandelte Menge Lachgas in einem Bereich liegen von 1.5 – 3% der in der jeweiligen Reinigungsstufe zugeführten Stickstofffracht.	
Einheit	[%]	
Datenquelle	Leitsystem RTO	

Messwert	$T_{Brennraum}$	D
Beschreibung	Temperatur im Brennraum der SVA	
Einheit	[Celsius]	
Datenquelle	Leitsystem ARA / SVA	
Erhebungsinstrument	Messsonde	
Genauigkeit der Messmethode	Durch die richtige Anwendung kann eine Genauigkeit $\pm 5\%$ erreicht werden.	
Messintervall	Kontinuierlich	
Qualitätssicherung	Wartungsvertrag	

Die Plausibilisierung erfolgt je nach Projekttyp über:

- Vergleich der gemessenen Zulauffracht $F_{N,zu}$ mit der Grösse der Kläranlage anhand technischer Richtwerte nach DWA-A131 [49].
- Beurteilung des Wirkungsgrades der Stripping-Anlage. Zielgrösse ist $> 75\%$.
- Beurteilung des Wirkungsgrades der Lachgasverbrennung. Zielgrösse ist $> 90\%$.
- Beurteilung der gemessenen Lachgasemissionen in Bezug zu der massgebenden Stickstofffracht im Zulauf (Zulauf ARA, Zulauf Nitritionsstufe). Vergleich des ermittelten Emissionsfaktors mit ähnlichen Anlagen in der Schweiz.
- Brennraumtemperatur in der SVA: Die Produktion von Lachgasen reduziert sich mit steigenden Verbrennungstemperaturen. Die meisten SVA werden aus technischen Gründen (Auslegung, Energieeffizienz) bei $450 - 600\text{ °C}$ betrieben. Die Plausibilisierung prüft, ab die Anlage innerhalb der technischen Auslegung betrieben wird.

5.3.5 Überprüfung der Einflussfaktoren und der ex-ante definierten Referenzentwicklung

Einflussfaktor	Gesetzliche Vorschriften
Beschreibung	Allfällige Vorgaben zur Reduktion von Treibhausgasen oder der Verwertung von Stickstoff
Wirkungsweise auf die Projektemissionen bzw. die Emissionen der Projekte des Programms oder die Referenzentwicklung	<p>Wenn durch neue gesetzliche Vorgaben Massnahmen zur Reduktion von Treibhausgasen in der Abwasserentsorgung vorsehen oder die Verpflichtung zur Verwertung von Stickstoff, wären neue Projekte nicht mehr zulässig und dürften ab dem Zeitpunkt der Inkraftsetzung nicht mehr im Programm aufgenommen werden.</p> <p>Das Programm, sowie die bestehenden Projekte könnten bis zum Ende der Kreditierungsperiode des Programms Emissionsreduktionen geltend machen.</p>
Datenquelle	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bundesgesetz über den Schutz der Gewässer (Gewässerschutzgesetz, GSchG) vom 24. Januar 1991 ▪ Luftreinhalte-Verordnung (LRV) vom 16. Dezember 1985 ▪ Verordnung über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen (Abfallverordnung, VVEA) vom 4. Dezember 2015

Einflussfaktor	Kantonale Reinigungsanforderungen (anlagenspezifisch)
Beschreibung	Kantonal verfügte Auflagen für die Reinigungsleistung in Bezug auf die Nitrifikation und Denitrifikation
Wirkungsweise auf die Projektemissionen bzw. die Emissionen der Projekte des Programms oder die Referenzentwicklung	<p>Der Vollzug der Gewässerschutzgesetzgebung obliegt nach Art.48 GSchG den Kantonen. Sie vollziehen das Gesetz und erlassen die erforderlichen Vorschriften. Anhang 3 GSchV lässt den Kantonen bei der Festsetzung der Reinigungsanforderungen einen Handlungsspielraum in Bezug auf die Beurteilung der Gewässerbelastung. Für die Festsetzung der Referenzemissionen sind die in der Verfügung aufgeführten Reinigungsanforderungen (ganzjährige Nitrifikation / ganzjährige Denitrifikation >65%) relevant. Bei einer Verordnungsänderung gilt für die Umsetzung in der Regel eine Übergangsfrist von 10 – 15 Jahren.</p> <p>Sofern die Anlage in der Übergangsfrist nicht umgebaut wird (Anpassung der Verfahrenstechnik) ändern bis zum Ende der Kreditierungsperiode die Vorgaben für die Referenzemissionen (EF_R) nicht.</p>
Datenquelle	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Gewässerschutzverordnung (GSchV) vom 28. Oktober 1998 ▪ Kantonale Einleitbewilligung, Kantonale Betriebsbewilligung

Einflussfaktor	Anpassung der Verfahrenstechnik (anlagenspezifisch)
Beschreibung	Wird mit einem Um- oder Neubau die biologische Reinigungsstufe erweitert, muss dies im Rahmen des Monitorings erfasst werden.
Wirkungsweise auf die Projektemissionen bzw. die Emissionen der Projekte des Programms oder die Referenzentwicklung	Betrifft der Umbau die Nitrifikation resp. Denitrifikation ist zu prüfen, ob die gewählten Referenzemissionen angepasst werden müssen (ganzjährige Nitrifikation / ganzjährige Denitrifikation >65%). Die neuen Referenzemissionen gelten ab Inbetriebsetzung der neuen Anlage auch innerhalb einer Kreditierungsperiode. Die Regelung gilt auch für anlagenspezifisch gemessene Referenzemissionen.
Datenquelle	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kantonale Einleitbewilligung, Kantonale Betriebsbewilligung ▪ Bauprojektunterlagen

5.4 Prozess- und Managementstruktur

5.4.1 Monitoringprozess

Der Monitoringprozess involviert die verschiedenen im Kapitel 2.4.4 beschriebenen Akteure. Für das Monitoring relevante Aufgaben der einzelnen Akteure sind hier noch einmal zusammengestellt:

Der **Programmeigner** übernimmt folgende Aufgaben:

- Feststellen und Berechnen der Wirkungsaufteilung
- Erfassen der Grundlagen und Monitoring Daten der einzelnen Programmteilnehmer
- Plausibilisierung der Messungen im Rahmen der Betreiberpflichten
- Plausibilisierung der aggregierten Daten der Programmteilnehmer
- Erstellen der Monitoringberichte
- Veranlassen der erforderlichen Schritte für die Verifizierung der Monitoring-Berichte
- Erhalt und Verteilung der Bescheinigungen des Programms
- Archivierung der Monitoring-Daten und Berichte

Die **fachliche Begleitung** übernimmt folgende Aufgaben im Rahmen des Monitorings:

- Review der wesentlichen Änderungen der Programmbeschreibung in Bezug auf das Monitoring
- Überprüfung der wissenschaftlichen Korrektheit der eingesetzten Methoden
- Teilnahme an der Validierungsbesprechung
- Bei Bedarf:
 - Expertise zur Bestimmung der Referenzemissionen von Projekten
 - Expertise zum Monitoring von Projektemissionen

Auf Stufe der **Programmtteilnehmer** (Projekteigner) werden die folgenden Aufgaben wahrgenommen:

- Jährliche Bestätigung, dass die Anlage in Betrieb steht
- Erhebung der Monitoring Daten und Qualitätssicherung der Messungen
- Plausibilisierung Rohdaten
- Übermitteln der Monitoring Daten an den Programmbetreiber
- Archivierung der Messdaten und Kalibrierungen

Folgende Tabelle beschreibt die Verantwortlichkeiten und Periodizität der Datenerhebung für das Monitoring.

Programmbeschreibung

Datenerhebung	Beschreibung	Verantwortung	Periodizität
Durchflussmessung	Venturi, MID oder Druck-Differenzmessung	Projekteigner	Kontinuierlich
Probenahme und Analyse der Wasserproben	24h Sammelproben	Projekteigner (Labor)	Min. 2x pro Woche
Qualitätssicherung der Labormessungen	Kalibrieren der Pipetten und Photometer (Messverfahren Standartlösungen)	Projekteigner (Labor)	Min. 3x pro Jahr
Abluftmessung	Online-Spektrometer	Projekteigner (Labor)	Kontinuierlich
Übermittlung der Vorjahresdaten	Übermitteln der Daten an den Programmbetreiber	Projekteigner	Quartalsweise, Gesamtzusammenstellung per 15.1.
Plausibilisierung			
Plausibilisierung Rohdaten	Plausibilisierung der Rohdaten	Projekteigner	Kontinuierlich
Plausibilisierung aggregierte Daten	Kontrolle, Plausibilisierung der aggregierten Daten	Programmeigner	Februar
Erstellen des Monitoringberichts	Zusammenstellung eines jährlichen Berichts	Programmeigner	März
Archivierung			
Archivierung der Messdaten und Kalibrierungen		Projekteigner	5 Jahre
Archivierung Gesetzesauftrag relevante Daten		Kantonale Aufsichtsbehörde	10 Jahre
Archivierung der Monitoring-Daten und Berichte		Programmeigner	10 Jahre

Tabelle 6: Monitoringprozess

5.4.2 Qualitätssicherung und Archivierung

Die Anlage garantiert eine einwandfreie und nachvollziehbare Messung der im Kapitel 5.3.2 angegebenen Parameter. Mit der Qualitätssicherung der Messungen soll eine hohe Messgenauigkeit und eine Zuverlässigkeit der Messungen sichergestellt werden. Folgende minimale Vorgaben müssen eingehalten werden:

- Die Messungen erfolgen genau nach den Vorgaben der Gerätehersteller
- Die Mitarbeiter werden regelmässig nach den Messanleitungen der Gerätehersteller geschult
- Die Messgeräte sind auf Grund Tabelle 6 zu unterhalten und zu kalibrieren
- Die Resultate sind in einem Journal festzuhalten. Bei Abweichungen sind entsprechende Massnahmen einzuleiten.
- Die Messungen und die Massnahmen der Qualitätssicherung sind mindestens 5 Jahre zu archivieren.

Über die durchgeführten Massnahmen zur Qualitätssicherung müssen die entsprechenden Nachweise oder Laborjournal-Einträge mindestens 10 Jahre aufbewahrt werden.

5.4.3 Verantwortlichkeiten und institutionelle Vorrichtungen

Datenerhebung	Projekteigner
Verfasser des Monitoringberichts	Programmeigner
Qualitätssicherung	Stufe Datenerhebung: Projekteigner Stufe Programm: Programmeigner
Datenarchivierung	Projekteigner: — Messprotokollsystem der ARA (idR. ARACOM oder ARA-Vision) — Archivierung der Messwerte bei kantonalen Aufsichtsbehörden Programmeigner: — Archivierung der Monitoring-Daten

6 Sonstiges

7 Kommunikation zum Gesuch und Unterschriften

Der Gesuchsteller willigt ein, dass die Geschäftsstelle zu diesem Gesuch mit den folgenden Parteien kommunizieren und Dokumente austauschen kann:

Projektentwickler ja nein

Validierungsstelle ja nein

Standortkanton ja nein

7.1 Einverständniserklärung zur Veröffentlichung der Unterlagen

Das Bundesamt für Umwelt BAFU kann unter Wahrung des Geschäfts- und Fabrikationsgeheimnisses Gesuchsunterlagen veröffentlichen (Art. 14 CO₂-Verordnung).

Der Gesuchsteller erklärt sich im Namen aller betroffenen Personen mit der Veröffentlichung folgender Dokumente zum Projekt zur Emissionsverminderung im Inland („Kompensationsprojekt“) auf der Webseite des Bundesamts für Umwelt BAFU einverstanden:

Zustimmung zur Veröffentlichung

- Ich bin mit der Veröffentlichung dieses Dokuments (vorliegende Projekt-/Programmbeschreibung) einverstanden. Das Dokument enthält weder eigene Geschäfts- oder Fabrikationsgeheimnisse noch solche von Dritten. Ich bestätige, dass ich die betreffenden Dritten kontaktiert habe und aus deren Sicht keine Geschäfts- und Fabrikationsgeheimnisse im vorliegenden Dokument enthalten sind. Ich bin damit einverstanden, dass meine Kontaktdaten veröffentlicht werden.
- Ich bin mit der Veröffentlichung einer teilweise geschwärzten Fassung dieses Dokuments einverstanden, welche das Geschäfts- oder Fabrikationsgeheimnis von allen betroffenen Personen wahrt. Ich bestätige, dass ich die betreffenden Dritten kontaktiert habe und die Schwärzungen mit deren Einverständnis vorgenommen habe. Die betreffenden Dritten sind mit der Veröffentlichung der teilweise geschwärzten Fassung einverstanden. Diese zur Veröffentlichung bestimmte Fassung befindet sich im Anhang A6.


Dokument	Version	Datum	Prüfstelle & Auftraggeber
Validierungsbericht (inkl. Checkliste)	final	13.04.2023	SGS – Société Générale de Surveillance SA (im Auftrag von INFRAconcept ag)

Zustimmung zur Veröffentlichung

- Ich bin mit der Veröffentlichung des Dokuments einverstanden. Das Dokument enthält weder eigene Geschäfts- oder Fabrikationsgeheimnisse noch solche von Dritten. Ich bestätige, dass ich die betreffenden Dritten kontaktiert habe und aus deren Sicht keine Geschäfts- und Fabrikationsgeheimnisse im vorliegenden Dokument enthalten sind.
- Ich bin mit der Veröffentlichung einer teilweise geschwärzten Fassung des Dokuments einverstanden, welche das Geschäfts- oder Fabrikationsgeheimnis von allen betroffenen Personen wahrt. Ich bestätige, dass ich die betreffenden Dritten kontaktiert habe und die Schwärzungen mit deren Einverständnis vorgenommen habe. Die betreffenden Dritten sind mit der Veröffentlichung der teilweise geschwärzten Fassung einverstanden. Diese zur Veröffentlichung bestimmte Fassung befindet sich im Anhang A7

7.2 Unterschriften

Der Gesuchsteller verpflichtet sich, wahrheitsgemässe Angaben zu machen. Absichtlich falsche Angaben werden strafrechtlich verfolgt.

Ort, Datum	Name, Funktion und Unterschrift des Gesuchstellers
Bern, 13.04.2023	 Dr. Stefan Binggeli Inhaber

8 Literaturverzeichnis

- [1] Abwasserverband Altenrhein (2016); Geschäftsbericht 2015
- [2] Gruber Wenzel, EAWAG Dübendorf (2016); Powerstep deliverable 4.2: Chapter N₂O Measurements (EU-Forschungsprojekt) und N₂O-Messung AVA, Faulwasserumleitung; Präsentation ARA Altenrhein vom 23. März 2016
- [3] Abwasserverband Altenrhein (2015); Treibhausbilanz nach ISO 14064
- [5] Stickstoffrückgewinnung und Düngerherstellung aus Faulwasser (undatiert) ARA Kloten/Opfikon Energiebedarf : 12 kWh/kg N
- [6] Bundesamt für Umwelt (Hg.) 2022: Projekte und Programme zur Emissionsverminderung im Inland. Ein Modul der Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde zur CO₂-Verordnung.
- [8] Stickstoffrückgewinnung und Düngerherstellung aus Faulwasser, ARA Kloten/Opfikon
- [9] Wunderlin Pascal (2013); Mechanisms of N₂O Production in Biological Wastewater Treatment: From Pathway identification to process control, Diss ETH No. 21375
- [10] Gruber W., Kipf M., Joss A., Wunderlin P., Siegrist H. EAWAG Dübendorf, 2016, N₂O measurement campaigns at two Swiss WWTP, Presentation Slides Vorschlag Monitoring-Konzept für das Klimaschutzprogramm "Reduktion von Lachgas-Emissionen in der biologischen Abwasserreinigung". EAWAG, 2016
- [11] IPCC, 2019. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Chapter 6: Wastewater Treatment and Discharge
- [14] Daelman M.R.C, van Voorthuizen E.M, von Dongen U.G.J.M, Volke E.I.P und van Loosdrecht M.C.M, 2015. Seasonal and diurnal variability of N₂O emissions from a full-scale municipal wastewater treatment plant, Science of The Total Environment, Volume 536, 1 December 2015, Pages 1–11
- [15] Kosonen H., Heinonen M., Mikola A., Haimi H., Mulas M., Corona F., Vahala R., 2016, Nitrous Oxide Production at a Fully Covered Wastewater Treatment Plant: Results of a Long-Term Online Monitoring Campaign. Environ. Sci. Technol., 2016, 50 (11), pp 5547–5554.
- [16] Alpha Wassertechnik AG Nidau, 2016, Technischer Beschrieb - Stripping ARA Altenrhein - Variante - D
- [21] HELCOM HOD 16/2004, Document 4/2, DELETION OF THE HOT SPOT 17 – HELSINKI WASTEWATER TREATMENT PLANT IN VIKINMÄKI
- [22] M.R.J. Daelman, E. M. van Voorthuizen, L.G.J.M. van Dongen, E.I.P Volcke, M.C.M. van Loosdrecht, Methane and nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment – results from a long-term study, (2013), Water Sci Technol.,
- [23] Parravicini et. al., 2015, REDUKTIONSPOTENTIAL BEI DEN LACHGAS- EMISSIONEN AUS KLÄRANLAGEN DURCH OPTIMIERUNG DES BETRIEBES, Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
- [24] Yingyu Law, Bing-Jie Ni, Paul IAnt, Zhiguo Yuan, N₂O production rate of an enriched ammonia-oxidising bacteria culture exponentially correlates to ist ammonia oxidation rate, Water Research 46 (2012), 3409 - 3419
- [29] Leick, Barbara Cornelia Elisabeth, 2004, Emission von Ammoniak (NH₃) und Lachgas (N₂O) von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen; Andreas Pacholski et. Al., 2014
- [30] Wenzel J. Gruber, Kris Villez, Marco Kipf, Pascal Wunderlin, Hansruedi Siegrist, Adriano Joss; Seasonal N₂O emission patterns in full-scale wastewater treatment. EAWAG 2018 (Draft, inkl. Anhang)
- [31] Alpha Abwassertechnik, Nidau: Ammonium Strippung (Produkteinformation), 2017
- [33] Gruber, W., Joss, A., Luck, M., Kupper, T., Bühler, M., & Bühler, T. (2021). Elaboration of a data basis on greenhouse gas emissions from wastewater management - Final report N2OklimARA. Federal Office for the Environment (FOEN). N2OklimARA. Swiss Federal Institute for Aquatic Science and Technology, University of Applied Sciences School of Agricultural, Forest and Food Sciences, Bern. 2021
- [33a] Wenzel Gruber, Luzia von Känel, Liliane Vogt, Manuel Luck, Lucien Biolley, Kilian Feller, Andrin Moosmann, Nikita Kraähenbühl, Marco Kipf, Reto Loosli, Michael Vogel, Eberhard Morgenroth, Daniel Braun, Adriano Joss. Estimation of countrywide N₂O emissions from wastewater treatment in Switzerland using long-term monitoring data. Water Research X 13 (2021).

Programmbeschreibung

- [34] Braun, D., von Känel, L., Biolley, L., Bauer, H., Gahler, D., Gruber, W., Morgenroth, E. (2022). Dynamische Regelung der ARA Hofen. Infracost-Innovationspreis für mehr Leistung und weniger Emissionen. Aqua & Gas, 102(1), 26-31.
- [35] Koch, G., Fux, C., Huber, P., Brunner, I., Lange, K., Monti, A., & Siegrist, H. (1999). Biologische Entstickung von Faulwasser. In VSA-Fortbildungskurse. Nährstoffelimination auf Kläranlagen (p. 15 (35 pp.)). Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute.
- [36] KPMG. Cost of Capital Study 2020. Global economy – search for orientation?
- [37] Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute. Investitionsvergleichsrechnung in der Abwasserentsorgung. Empfehlung. Glattbrugg 2017.
- [38] Kobler, B., Binggeli, S., Gruber, W. (2022). RTO-Pilotversuch arabern. Projektbericht. Infracost ag, Bern
- [39] Müller, e.A. et. al. (2010). Handbuch «Energie in ARA» Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute und Verein Infracost. Glattbrugg.
- [40] Rist, B., Schielke, S., Durisch, E. «Energieeffizienz auf Zürcher ARA. Stand 2020. Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft Kanton Zürich.
- [41] Hunziker Betatech ag. Étude préliminaire STEP Aire, transformation Sharon en Anamox. Lausanne 2022
- [42] Kobler, B., Binggeli, S. Konzeptstudie Lachgaselimination auf ARA. Infracost ag im Auftrag der Arbeitsgruppe ARA-Lachgas. Bern 2021
- [43] Joss, A. STEP Aire 2 : Estimation de l'émission de N₂O du traitement des centrats. EAWAG 2021
- [44] Kobler, B., Binggeli, S., Vorstudie RTO-Anlage arabern. INFRAconcept, 2022
- [45] Neuenschwander, A. (Hauert ag), Entwicklung der Düngerpreise 2016–2022. Persönliche Kommunikation
- [46] Diezinger, C., Freimann, R., Durisch, E. und Joss, A., Lachgasemissionen aus Faulwasserbehandlung. Beprobung und Einordnung von 12 Schweizer Anlagen, Aqua und Gas 3/2023
- [47] Gruber, W. (2021). Long-term N₂O emission monitoring in biological wastewater treatment: methods, applications and relevance. DISS. ETH NO. 27650.
- [48] Gruber, W., Niederdorfer, R., Bürgmann, H., Joss, A., von Känel, L., Braun, D., Morgenroth, E. Lachgasemissionen aus ARA. Reduktionsmassnahmen zeichnen sich ab. Aqua & Gas, 102(1), 14-22, 2022
- [49] DWA, Bemessung von einstufigen Belebtschlammanlagen. Arbeitsblatt DWA-A131. DWA-Regelwerk, 2016

Anhang

- A1. Unterlagen zu Angaben und Beschreibung des Programms inkl. Projekte (z.B. Technische Datenblätter, Belege für den Umsetzungsbeginn)
- A1.1 Anmeldeformulare
 - 230317_Anmeldeformular (Vorlage).pdf
 - 1_Altentrhein.pdf
 - A1.2 Projekt Typ A (anhand Projekt 1_ARA Altentrhein)
 - A 1.3 Musterprojekt Typ B
 - A 1.4 Musterprojekt Typ C
 - A 1.5 Musterprojekt Typ D
- A2. Unterlagen zur Abgrenzung zu weiteren klima- oder energiepolitischen Instrumenten (z.B. beantragte / erhaltene Finanzhilfen, Wirkungsaufteilung)
- 221912_Tool Wirkungsaufteilung.xls
- A3. Unterlagen zur Berechnung der erwarteten Emissionsverminderungen
- 230317_Rohdaten zu erwarteten Emissionsminderungen.xls
- A4. Unterlagen zur Wirtschaftlichkeitsanalyse
- 230331_Tool Wirtschaftlichkeitsanalyse.xls
- A5. Unterlagen zum Monitoring
- 230317_VorlageMonitoringdaten.xlsx
 - 230317_Messungen zur Bestimmung der Emissionsfaktoren in Belebungsbecken
- A6. Geschwärzte Fassung Projekt-/Programmbeschreibung
- *Keine / Dateinamen aus E-Mail an die Geschäftsstelle [Nichtzutreffendes löschen]*
- A7. Geschwärzte Fassung Validierungsbericht
- Keine / Dateinamen aus E-Mail an die Geschäftsstelle [Nichtzutreffendes löschen]*

