

TREIBHAUSGAS-EMISSIONEN AUF ARA

STANDORTBESTIMMUNG UND REDUKTIONSMASSNAHMEN

Abwasserreinigungsanlagen (ARA) verursachen beachtliche Treibhausgasemissionen, insbesondere in Form von Lachgas. Damit bis 2050 die vom Bundesrat beschlossene CO₂-Neutralität erreicht und nicht negativ von den ARA beeinflusst wird, können gezielte Massnahmen umgesetzt werden. Mit dieser Standortbestimmung wird die Lücke der fehlenden einheitlichen Terminologie sowie der definierten Einheit als zielgerichtete Orientierungsgrösse gefüllt und die Systemgrenze abgesteckt.

Martin Probst; Simone Bützer, Hunziker-Betatech AG

RÉSUMÉ

DES ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE DES STEP

Les stations d'épuration (STEP) présentent un grand bénéfice environnemental par leur contribution à la protection des eaux. Toutefois, elles sont aussi responsables d'environ 20% des émissions de protoxyde d'azote (N₂O) en Suisse. Afin d'atteindre l'objectif d'émissions nettes zéro de la Suisse, les STEP peuvent donner une contribution par la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). La présente évaluation de l'état actuel donne les bases liées au émissions GES des STEP.

Les émissions principales sont celles de N₂O (env. 68%), celles de méthane (CH₄) par des fuites et des stockeurs ouverts (env. 16%) et celles liées à la consommation d'électricité et l'utilisation de béton (env. 14%). En tenant compte des émissions CO₂ biogènes liées à l'épuration des eaux et à la valorisation du biogaz, celles-ci représentent env. 27% du total.

Sur la base de cette évaluation des émissions GES, différentes mesures de réduction sont définies. Les émissions de N₂O seront réduits d'environ 80% par l'application de la motion 20.4261 pour l'augmentation de l'élimination d'azote au plan national. Toutefois, les émissions résiduelles de N₂O restent significatives. Différentes mesures (p. ex. analyses de fuite, couverture de stockeurs, traitement d'air pour réduire les émissions de N₂O) peuvent être financés par le programme d'aide Klik. Un rôle des STEP dans le marché de capture et stockage devra s'établir encore.

EINFÜHRUNG

Im Schweizer Treibhausgas-Inventar ist die Abwasserreinigung dem Sektor Abfall zugeordnet. Dieser beträgt aktuell 2,5% (Stand 2021) der gesamten Emissionen von Treibhausgasen (THG) der Schweiz. Die Abwasserreinigungsanlagen (ARA) tragen rund 1% zu den totalen nicht-biogenen THG-Emissionen der Schweiz bei und sind relevante Quellen für Lachgasemissionen (N₂O). Gemäss ersten Schätzungen verursachen ARA rund 20% der schweizweiten N₂O-Emissionen. Neben dem N₂O werden auf ARA auch Methan (CH₄) und biogenes CO₂ emittiert, zudem verursacht der Verbrauch von Betriebsmitteln und Energie indirekte Emissionen.

Mit dem Volksentscheid vom 18. Juni 2023 zugunsten des Klima- und Innovationsgesetzes (KIG) wurde das Netto-Null-Ziel gesetzlich verankert. Netto-Null bedeutet ein Gleichgewicht aller Emissionsquellen und -senken der Schweiz. Konkret gilt es, die vermeidbaren Emissionen zu reduzieren und die unvermeidbaren Emissionen durch Senken (CO₂-Entnahme und Speicherung) zu kompensieren. Der grosse Umweltnutzen der ARA ist unbestritten, trotzdem können ARA durch Massnahmen zur Reduktion von THG-Emissionen einen Beitrag zur Erreichung des Netto-Null-Ziels leisten. Obwohl aktuell zahlreiche Grundlagen bezüglich der Entstehung der THG-Emissionen auf ARA aus der Forschung vorliegen, fehlt bisher die ganzheitliche

Kontakt: martin.probst@hunziker-betatech.ch

(© AdobeStock)

METHODIK ZUR BEURTEILUNG DER REDUKTIONSMASSNAHMEN

Basierend auf der Datengrundlage wurden diverse Massnahmen zur Reduktion von THG-Emissionen auf ARA formuliert und beurteilt. Nachfolgende Kriterien wurden für die Beurteilung dieser Massnahmen mit 0-3 Punkten bewertet.

Potenzial

- Verbesserungspotenzial (Basis IST-Zustand) [kg CO₂-Äq./E/a] (Gewichtung = 2)
- Potenzialentwicklung (Basis 2050) (Gewichtung = 4)

Die Bewertung des Kriteriums Potenzialentwicklung (Basis 2050) ist identisch zum Verbesserungspotenzial (Basis IST-Zustand), sofern ohne die Umsetzung der Massnahme selbst keine Veränderungen zu erwarten sind. Dadurch soll vermieden werden, dass Massnahmen vernachlässigt werden, weil bereits von einer gesicherten Umsetzung ausgegangen wird.

Machbarkeit

- Kosten/Finanzierung (gesicherte Finanzierung/Kostenhöhe) (Gewichtung = 2)

- Umsetzbarkeit (technisch/politisch) (Gewichtung = 2)
- Umsetzungsdauer (Gewichtung = 1)
- Nebeneffekte (positiv/negativ) (Gewichtung = 1)

Aus dem Summenprodukt der vergebenen Punkte und der Gewichtung der Unterkriterien wurden die Überkriterien «Potenzial für THG-Vermeidung» (y-Achse) und «Machbarkeit der Massnahmen» (x-Achse) gebildet (max. 18 Punkte). Eine Massnahme mit «Machbarkeit» zwischen 10 und 18 wird als «machbar» bis «sehr gut machbar», darunter als «nicht machbar» bis «schlecht machbar» eingestuft. Die Bewertung folgt keiner definierten Metrik, wodurch eine gewisse Subjektivität nicht ausgeschlossen werden kann.

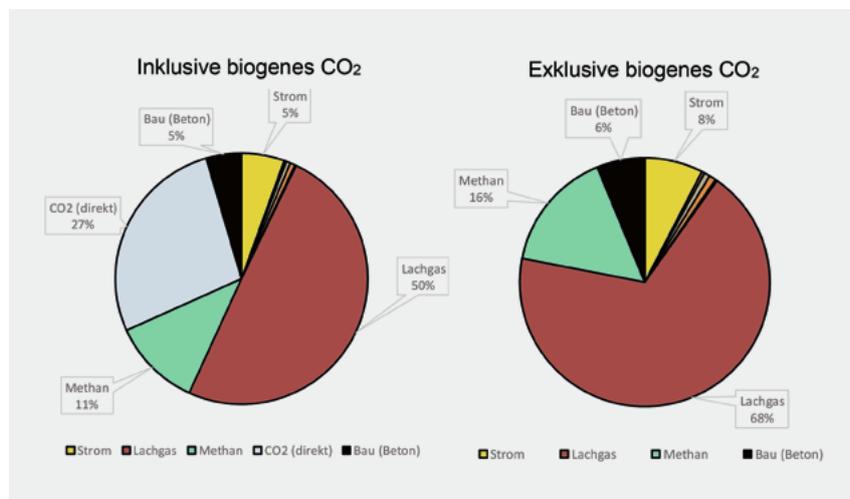


Fig. 2 Anteile der Emissionsquellen und -arten mit (links) und ohne (rechts) biogene CO₂-Emissionen in der biologischen Reinigung und Klärgasverwertung (total 120 kg CO₂-Äq./E/a inkl. direkte biogene CO₂-Emissionen)

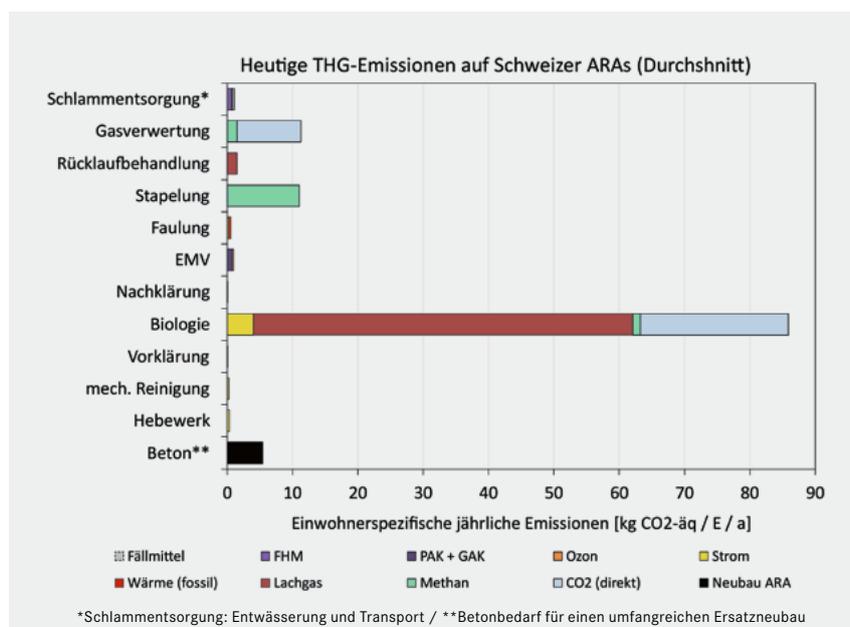


Fig. 3 THG-Emissionen auf Schweizer ARA (IST-Zustand). Durchschnitt aller ARA, keine Einzelfallbetrachtung - Ausnahme beim Beton. Die Emissionen bezüglich EMV basieren auf dem heutigen Ausbau (19 Anlagen) und werden durch den Vollausbau deutlich ansteigen. Die Umrechnungen basieren auf den Quellen [1-13].

EMISSIONEN AUF ARA

IST-ZUSTAND

Die direkten prozessbedingten N₂O- und CH₄-Emissionen sowie die «neutralen» biogenen CO₂-Emissionen bilden den grössten Anteil auf ARA (total ca. 90%) (Fig. 2). Besonders die biologische Reinigung verursacht erhebliche N₂O-Emissionen (Fig 3). Weitere bedeutende Quellen sind der Stromverbrauch und der Einsatz von Beton (indirekte Emissionen).

Die Elimination von Mikroverunreinigungen (EMV) hat heute eine geringe Bedeutung, die THG-Emissionen werden durch den Vollausbau dieser Reinigungsstufe in den kommenden Jahren stark ansteigen (Kap. «Entwicklungen bis Zielzustand»). Figur 4 zeigt, wie viele THG-Emissionen durch die Energie(träger)produktion auf ARA heute effektiv vermieden werden.

ENTWICKLUNGEN

Tabelle 1 zeigt die erwarteten Auswirkungen der gewässerschutzgesetzlichen (GSchV) Anpassungen auf die THG-Emissionen. Als Nebeneffekt der Steigerung der Stickstoffelimination auf >70%_N werden die Lachgasemissionen stark reduziert. Der Umsetzungshorizont ist jedoch sehr lange und die verbleibenden Lachgasemissionen liegen weiterhin in einem relevanten Bereich (Fig. 5). Die beiden Effekte, sinkende Stromproduktion aufgrund reduzierter Gasproduktion respektive Einsparungen beim Stromverbrauch für die Belüftung, kompensieren sich gegenseitig und haben somit einen vernachlässigbaren Einfluss auf die THG-Emissionen auf ARA. In dieser Bilanz ist der Energieverbrauch der

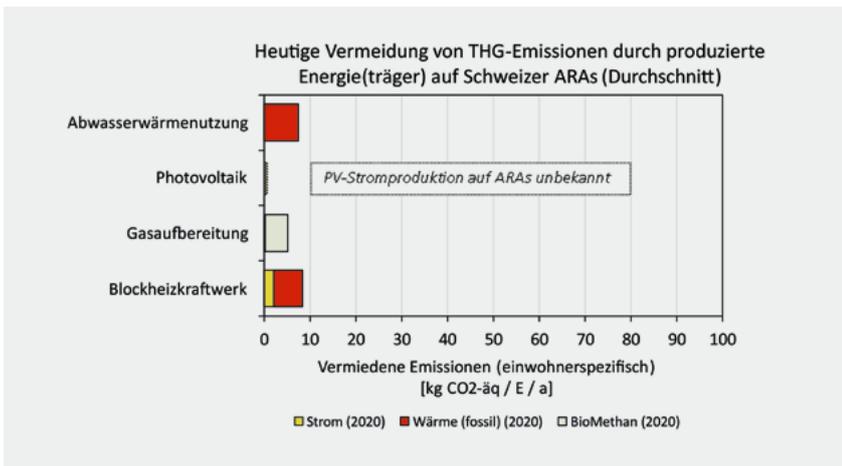
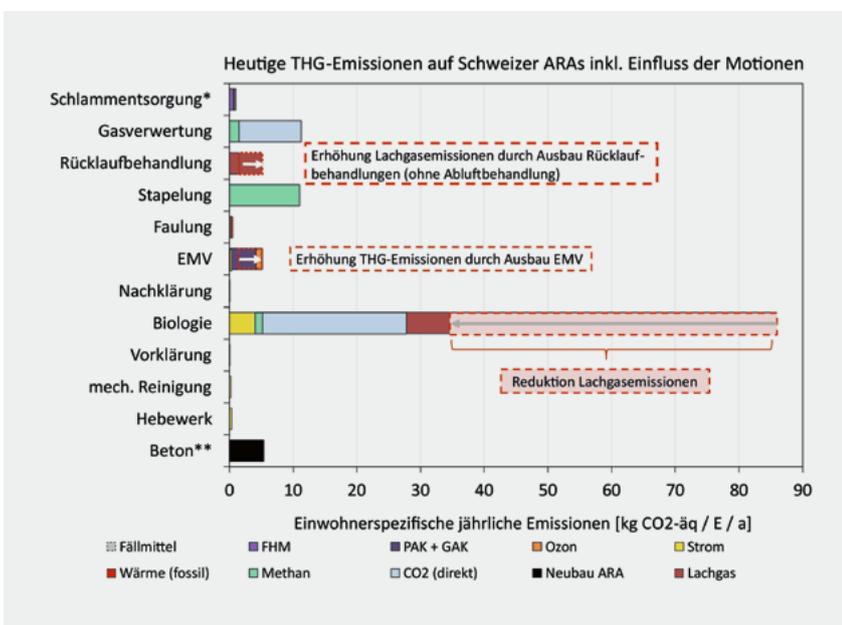


Fig. 4 Heutige Vermeidung von THG-Emissionen durch Produktion von Strom, Wärme und Bio-Methan auf ARA (exkl. getrockneter Klärschlamm als Brennstoff). Die Umrechnungen basieren auf den Quellen [7–10].



ARA, die neu nitrifizieren müssen, nicht berücksichtigt. Wie viel indirekte Emissionen für die erweiterten Beckenvolumen durch die Umsetzung der Motion 20.4261 verursacht werden, ist noch unklar. Mit dem erweiterten Ausbau der EMV durch die Motion 20.4262 wird der Energie- und Betriebsmittelverbrauch deutlich ansteigen. Dies führt auch zu einem Anstieg der indirekten THG-Emissionen (Fig. 5), die verglichen zu den direkten Emissionen (N₂O, CH₄ und CO₂) immer noch eher gering sind.

Nebst den Anpassungen der GSchV werden Veränderungen durch Netto-Null-Massnahmen im Transport und Energiesektor erwartet. Ausserdem kann sich die Ausgangslage durch den Einsatz neuer, noch unbekannter Verfahren auf ARA verändern. Der Effekt auf die THG-Emissionen ist schwierig abzuschätzen.

REDUKTIONSMASSNAHMEN

Folgende Handlungsfelder zur Senkung der THG-Emissionen auf Schweizer ARA wurden aus dem IST-Zustand abgeleitet:

- Vermeidung der N₂O-Emissionen in der biologischen Reinigung
- Vermeidung der CH₄-Emissionen durch Leckagen und offene Schlammstapel
- Reduktion des Stromverbrauchs der biologischen Reinigung

Fig. 5 Veränderungen der THG-Emissionen durch die gewässerschutzgesetzlichen Anpassungen bezüglich Stickstoffeliminationen und EMV ohne Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums [1].

Was	Beschrieb	Einfluss THG-Emissionen	Wahrscheinlichkeit
Stickstoffelimination (Motion 20.4261 «Reduktion der Stoffeinträge aus den Abwasserreinigungsanlagen»)	Annahme: Erhöhung N-Elimination auf >70% _N (Ausbauhorizont ca. 2050) ¹⁾	Abnahme Lachgasemissionen um bis zu 80% N ₂ O [1]	hoch
		Reduktion Stromproduktion BHKW ca. 15–20 GWh/a [1]	hoch
		Reduktion Belüftungsenergie in biologische Reinigung durch Einsatz von Faulwasserbehandlung und CSB-Verbrauch für Denitrifikation ca. 38,5 GWh/a [1]	hoch
	Erhöhung Anlagen mit Faulwasserbehandlung (heute nur 13 von 740 Anlagen)	Erhöhung Lachgasemissionen (falls ohne RTO zur Abluftbehandlung realisiert)	hoch
	Erhöhung Emissionen durch Beckenvergrößerung	Erhöhung indirekter Emissionen	hoch
Ausbau Elimination von Mikroverunreinigungen (Gesetzesänderung 1.1.2016)	Ausbauhorizont 2040, Insgesamt 135 bis 190 ARA	Erhöhung indirekter Emissionen	sicher
Ausbau Elimination von Mikroverunreinigungen (Motion 20.4262 «Massnahmen zur EMV für alle Abwasserreinigungsanlagen»)	Maximal weitere 350 ARA (= 1,75 Mio. E) [1]	Erhöhung indirekter Emissionen	hoch

¹⁾ Starke Abnahme der Lachgasemissionen bis zu einer Stickstoffelimination von 70%, danach Indizien für eine abflachende Abnahme. Bei grossen Anlagen bleiben die Emissionen mengenmässig relevant.

Tab. 1 Entwicklungen der Gewässerschutzverordnung.

Was	Massnahme	Beschrieb und Machbarkeit <i>[nicht bis schlecht machbar, machbar bis gut machbar, neutral]</i>	Verbesserungspotenzial heute [kg CO ₂ -Äq./E/a] <i>[hohes Potenzial, mittleres Potenzial, geringes Potenzial]</i>	Verbesserungspotenzial Künftig (2050) [kg CO ₂ -Äq./E/a] (↓ Abnahme / Zunahme ↑)	
Scope 1: Direkte Emissionen					
N ₂ O	L1	Leistungssteigerung Stickstoffelimination >70% _N	Die Lachgasreduktion erfolgt durch die Erhöhung der Stickstoffelimination. Die Erfolgskontrolle kann durch periodische Emissionsmessungen gewährleistet werden. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-50 bis 60 [1] (exkl. Bau) (Der Netto-Effekt der Biogaseinbussen [ca. 0,2-0,3 kg CO ₂ -Äq./E/a] und des reduzierten Stromverbrauchs [ca. 0,5 kg CO ₂ -Äq./E/a] vernachlässigbar)	Nach schweizweiter Erhöhung der Stickstoffelimination weniger Potenzial vorhanden ↓
	L2	Betriebliche Optimierung bei denitrifizierenden Anlagen (Sofortmassnahmen)	Schnellere (Teil-)Umsetzung der Massnahmen L1 durch betriebliche Optimierung bei denitrifizierenden Anlagen: - Erhöhung interne Rezirkulation - intermittierende Belüftung - Verkürzung Aufenthaltszeit VKB Die Erfolgskontrolle kann durch periodische Emissionsmessungen gewährleistet werden. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	Noch offen >-10	Nach schweizweiter Erhöhung der Stickstoffelimination weniger Potenzial vorhanden ggf. höhere Bedeutung, wenn mehr denitrifizierende Anlagen mit Elimination von <70% _N existieren ↓
	L3	Abluftbehandlung bestehender Faulwasser(FAW-behandlungsanlagen (z. B. mit RTO)	Die N ₂ O-Emissionen in der Faulwasserbehandlung werden durch Abluftbehandlung oder Stripping vermieden. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-1 bis 2	Es gibt noch keinen Zwang FAW-Behandlungen «ohne N ₂ O Emissionen» zu errichten → Neue Anlagen ohne Abluftbehandlung denkbar ↑
	L4	Vermeidung von Lachgasemissionen in der biologischen Reinigung durch Ausrüstung von ARAs mit Faulwasserbehandlungsanlagen (inkl. Abluftbehandlung z. B. mit RTO als Zusatz; oder Stripping)	Zur Entlastung der Biologie werden FAW-Behandlungen nachgerüstet (Stabilisierung Nitrifikation, Verbesserung Denitrifikation durch C zu N Verhältnis). N ₂ O-Emissionen der Faulwasserbehandlung werden vermieden. Rein für die Reduktion von THG-Emissionen aufgrund der undefinierten Verantwortlichkeit zur Finanzierung und erhöhten Energiebedarfs «nicht machbar» bis «schlecht machbar».	-4 bis -17	ohne Umsetzung der Massnahme keine Veränderung des Potentials erwartet →
	L5	Abluftbehandlung Biologiebecken	Abdeckung Biologiebecken & Abluftbehandlung Erhebliche Kosten und nur selektiv für grosse Anlage mit geeignetem biologischen Verfahren (z. B. Festbett). Für gesamte ARA- Branche «nicht machbar» bis «schlecht machbar».	theoretisch -50 bis -60 (nur wenige Anlagen kommen in Frage, der Abwasseranteil von Festbetтанlagen beträgt 13%)	Nach schweizweiter Erhöhung der Stickstoffelimination weniger Potential vorhanden
CH ₄	M1	Nachträgliche Stapelabdeckung	Abdeckung offener Schlammstapelbehälter und Anschluss ans Gassystem der Kläranlage. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-10 (Vermeidung Emissionen aus allen offenen Stapeln)	ohne Umsetzung der Massnahme keine Veränderung des Potentials erwartet
	M2	Behebung von Leckagen durch Messpflicht mit Umsetzungsnachweis	Leckagen erkennen und abdichten. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	Vermutlich grosse Unterschiede zwischen Anlagen	ohne Umsetzung der Massnahme keine Veränderung des Potentials erwartet
CO ₂	C1	Sammlung und Verflüssigung biogenes CO ₂ im biologischen Reinigungsprozess	Biologiebecken werden abgedeckt und die Abluft aufgefangen. Das CO ₂ wird gesammelt und verflüssigt. Das CO ₂ fällt hier in einer geringen Konzentration an. Die Massnahme verursacht erhebliche Kosten, ist technisch sehr anspruchsvoll und die Planung zeitintensiv. Die Massnahme ist daher «nicht machbar» bis «schlecht machbar».	-20 bis 30 (Annahme gesamtes CO ₂ kann gesammelt werden)	zentrale Negative Emission Technology (NET) ↑
	C2	Sammlung und Verflüssigung des abgeschiedenen CO ₂ im Prozess der Klärgasaufbereitung	Das bei der Gasaufbereitung anfallende CO ₂ wird aufgefangen und verflüssigt. Die CO ₂ -Entnahme ist bereits Teil des Prozesses. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-2 bis -3 (Annahme gesamtes CO ₂ kann gesammelt werden)	zentrale Negative Emission Technology (NET) ↑
	C3	Sammlung und Verflüssigung des CO ₂ aus dem Rauchgas der BHKW	Das bei der Klärgasverbrennung anfallende CO ₂ wird aufgefangen und verflüssigt. Bei der Verbrennung fällt das CO ₂ relativ konzentriert an. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-10 bis -20 (Annahme gesamtes CO ₂ kann gesammelt werden)	zentrale Negative Emission Technology (NET) ↑
	C4	Substitution fossiler Wärmequellen auf ARA (Vermeidung direkter Emissionen aus stationärer Verbrennung)	Vollständiger Verzicht auf fossile Brennstoffe auf ARA. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	< -0,5 (Basierend auf fossilem Brennstoffverbrauch auf Zürcher ARAs)	ohne Umsetzung der Massnahme keine Veränderung des Potentials erwartet

Scope 2: indirekte Emissionen aus eingekaufter, netzgebundener Energie					
Energie	E1	Reduktion Stromverbrauch	Reduktion des Stromverbrauchs um ca. 10% durch gesteigerte Effizienz der Maschinen oder energetisch optimiertem Betrieb. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-0,5 bis -1 (Basis Strommix heute)	Gesamtstrombedarf in der Schweiz steigt (Elektromobilität, Wärmeproduktion ...) ↑
Energie	E2	Ausbau Abwasserwärmenutzung (Wärmebereitstellung und Nutzung)	Potenzial zur Wärmeproduktion von ca. 2 TWh/a [14] (Entspricht ca. 2% des heutigen resp. 2,5% des künftigen Wärmebedarfs der Schweiz) [14] Das Potenzial wird als sehr gross eingeschätzt, jedoch verursacht die Massnahme erhebliche Kosten und einen enormen Betriebsaufwand (Verwaltung der Kunden etc.). Zudem liegt die Umsetzung aufgrund der vielen beteiligten Interessengruppen nicht in den Händen der ARA. Auf Ebene der ARA ist die Wärmerückgewinnung und Bereitstellung gut machbar. Der Nutzen der Wärme erfordert jedoch Interventionen über die Systemgrenze hinaus.	ca. -50 (Annahme Substitution Erdöl und Erdgas)	Heute können fossile Energieträger substituiert werden. Künftig werden nur noch Wärmesonden, Holzschnitzelanlagen o. ä. substituiert. ↓
	E3	Ausbau Photovoltaikanlagen	Ca. 70-110 GWh/a (Entspricht ca. 0,2% des heutigen CH-Strombedarfs) [15] Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-0,5 bis -1 (Basis Strommix heute)	Gesamtstrombedarf in der Schweiz steigt (Elektromobilität, Wärmeproduktion ...) Es wird davon ausgegangen, dass der Solarstrom auf ARA für die Dekarbonisierung des Strommixes in der Schweiz benötigt wird.
	E4	Valorisierung Kohlenstoff	Erhöhung Gasanteil in der Klärgasverwertung oder -aufbereitung. Erhöhung Gasproduktion durch höhere Abscheideleistung in der Vorklärung und somit Strom-, Wärme- oder Biogasproduktion (Konflikt mit Stickstoffelimination). Wenn die Valorisierung des Kohlenstoffs erreicht werden kann, ohne die Stickstoffelimination zu beeinträchtigen, ist die Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar».	unbekannt	unbekannt
Scope 3: Indirekte Emissionen aus vorgelagerter / nachgelagerter Wertschöpfungskette					
MV	MV1	Verwendung erneuerbarer Kohle	Bei der Umsetzung einer EMV mit PAK werden erneuerbare PAK-Produkte getestet und falls möglich verwendet. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	< -0,5 Abschätzung basierend auf [5]	Potenzial nimmt durch Ausbau EMV-Anlagen stark zu ↑
	MV2	Verbesserung Betrieb	Reduktion des Aktivkohle- und Ozonverbrauchs Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	< -0,5 Abschätzung basierend auf [5]	Potenzial nimmt durch Ausbau EMV-Anlagen stark zu, ggf. Abnahme durch GSchV. Anpassungen (höhere Eliminationsleistung) ↑
	MV3	Erhöhung Anteil Reaktivat	Steinkohle mit 50% Reaktivat Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	< -0,5 Abschätzung basierend auf [5]	Potenzial nimmt durch Ausbau EMV-Anlagen stark zu ↑
Bau	B1	Betoneinsparung	Reduktion der zu verbauenden Kubaturen durch Effizienzsteigerung im Bau oder neuartige Produkte Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-0,5 bis -1	ggf. Reduktion des Potenzials durch Verfügbarkeit von klimafreundlicherem Beton
	B2	Betoneinsparung durch Steuerungsoptimierung	Leistungssteigerung der ARA durch optimierte Steuerung der biologischen Reinigung, wodurch bauliche Vergrösserung vermieden/reduziert wird. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-0,5 bis -1	ggf. Reduktion des Potenzials durch Verfügbarkeit von klimafreundlicherem Beton
	B3	Einsparungen beim Stahl	Einsatz alternativer Baumaterialien für Gebäude und Rohrleitungen Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-0,5 bis -1	
	B4	Vermeidung tiefer Baugruben und Aushub	Durch die Anpassung des Wasserspiegels mit Hebewerken wird die Baugrubentiefe verringert werden. Massnahme «machbar» bis «sehr gut machbar»	-0,5 bis -1	

Tab. 2 Massnahmen zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen auf ARA.

- Vermeidung indirekter Emissionen durch Betriebsmittelverbrauch (insbesondere bei EMV)
- Ausbau Energiegewinnung auf ARA (Stromproduktion, [Abwasser]-wärmerückgewinnung)
- CO₂-Entnahme (und Speicherung)

Basierend auf den Handlungsfeldern wurden 22 Massnahmen in sechs Kategorien ausgeschieden und deren Potenzial zur Vermeidung von THG-Emissionen abgeschätzt sowie deren Machbarkeit beurteilt (Tab. 2):

- N₂O-Emissionen: 5 Massnahmen (L)
- CH₄-Emissionen: 2 Massnahmen (M)
- dir. CO₂-Emissionen: 4 Massnahmen (C)
- Energie(-verbrauch): 4 Massnahmen (E)
- EMV: 3 Massnahmen (MV)
- Bau: 4 Massnahmen (B)

Die Beurteilung der Massnahmen wurde in einem Quadranten-Diagramm dargestellt (Fig. 6).

Das dargestellte Potenzial (y-Achse) ist ein gewichtetes Mittel aus dem heutigen Ver-

besserungspotenzial und der Potenzialentwicklung bis zum Zielzustand 2050. Die N₂O-Emissionen der biologischen Reinigung werden durch die Leistungssteigerung bezüglich Stickstoffelimination (>70%) reduziert. Folglich wird das Potenzial der Massnahmen L1 und L2 mit der Zeit sinken, bleibt aber vergleichsweise immer noch relevant. Die Faulwasserbehandlung ist eine der möglichen Massnahmen zur Leistungssteigerung, weshalb diese Verfahrensstufe künftig forciert wird. Da eine Abluftbehandlung zum jetzigen Zeitpunkt nicht gefordert wird, können die THG-Emissionen entsprechend zunehmen. Als Konsequenz steigt auch das Potenzial der Massnahme L3 (Abluftbehandlung) mit der Zeit an. Durch den Ausbau mit der zusätzlichen Reinigungsstufe EMV steigt der Energie- und Betriebsmittelverbrauch (Flüssigsauerstoff, Aktivkohle) stark an. Basierend auf den heutigen Emissionsfaktoren für Strom und Aktivkohle werden auch die daraus resultierenden THG-Emissionen deutlich ansteigen. Nicht berücksich-

tigt ist, dass der Energie- und Gütersektor ebenfalls Massnahmen zur Erreichung des Netto-Null-Ziels treffen werden.

Low-Hanging Fruits

Die Massnahmen (L1, L2, L3, M1, C2 und C3) im oberen rechten Quadranten wurden sowohl mit einem hohen Potenzial für die Vermeidung von THG-Emissionen als auch einer hohen Machbarkeit bewertet. Bei diesen Massnahmen muss lediglich die Umsetzung sichergestellt werden. Gesetze oder marktwirtschaftliche Instrumente sind vermutlich notwendig, um die erforderlichen Anreize für die Umsetzung zu erzeugen.

Cream of the Crop

Die Massnahmen (C1, E2 und L4) im oberen linken Quadranten haben ein grosses Potenzial zur Vermeidung von THG-Emissionen, sind aber in der Machbarkeit limitiert. Zusätzliche Massnahmen wie Förderung, Entwicklung in der Technologie oder Steigerung der verfügbaren Ressourcen sind nötig, um die Machbarkeit zu erhöhen.

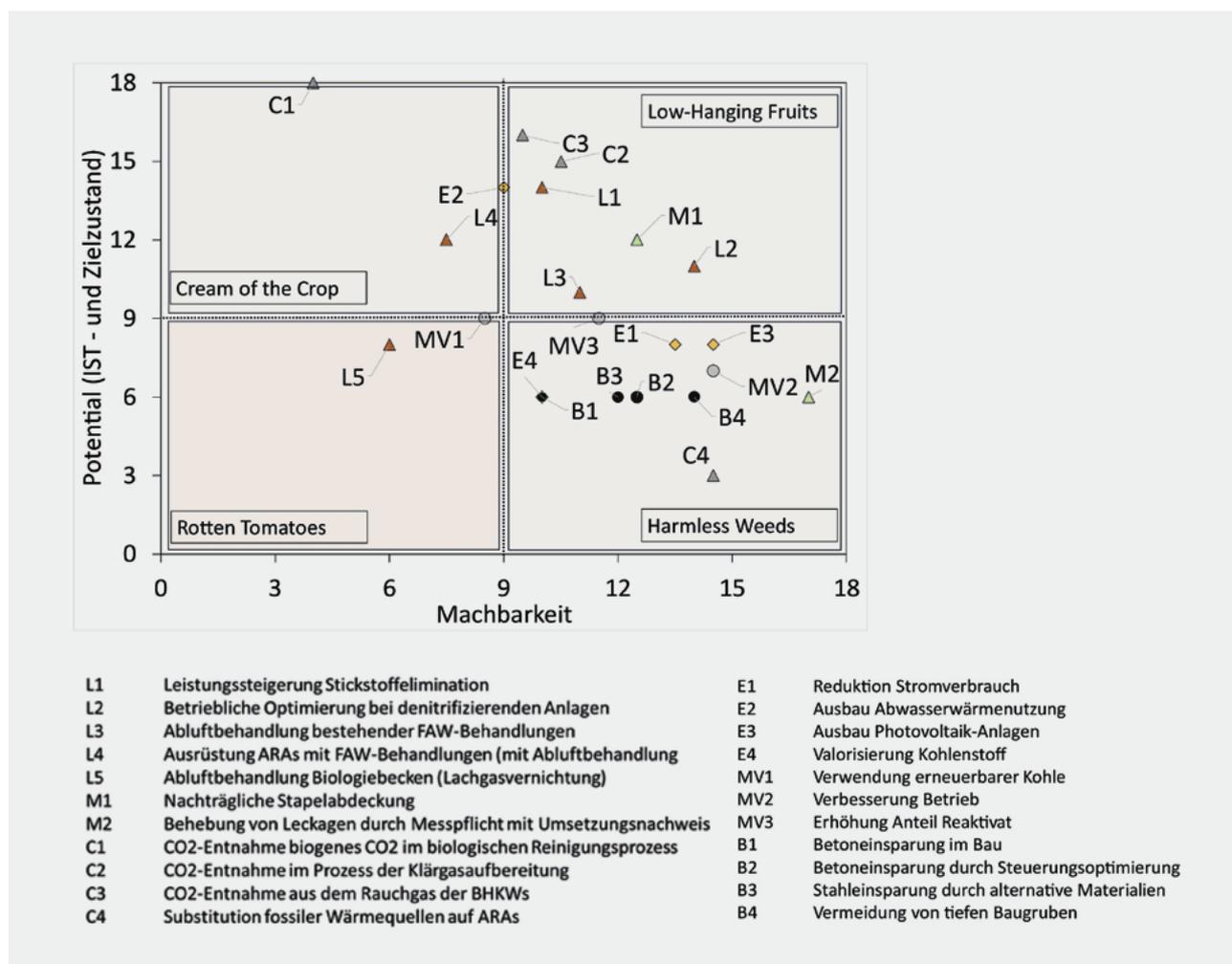


Fig. 6 Beurteilung der Massnahmen. Das Potenzial wird aus dem gewichteten Mittel von Potenzial heute und Potenzial künftig (2050) berechnet.

Harmless Weeds

Die Massnahmen im unteren rechten Quadranten haben kein grosses Potenzial bezüglich Vermeidung von THG-Emissionen, wären aber aufgrund der Machbarkeit einfach/gut durchzusetzen. Diese Massnahmen dürfen nicht vernachlässigt werden, sind aber erst in zweiter Priorität zu verfolgen.

Rotten Tomatoes

Die Massnahmen im unteren linken Quadranten sind aktuell weder bezüglich des Potenzials für THG-Einsparungen noch der Machbarkeit interessant für die Weiterverfolgung. Die Massnahme L5 verliert aufgrund der kommenden Steigerung der Stickstoffelimination an Potenzial. Bei dem heutigen noch hohen Potenzial ist die N₂O-Elimination in der Abluft einer biologischen Reinigung noch nicht Stand der Technik. Wird dies künftig der Fall sein, wird das Potenzial aber bereits stark abgenommen haben. Den grössten Beitrag zur Reduktion der THG-Emissionen können ARA durch die Vermeidung von prozessbedingten, direkten Emissionen (N₂O, CH₄) leisten. Als Senke (CO₂-Entnahme und -Speicherung) werden die ARA vermutlich eine untergeordnete Rolle spielen. Massnahmen betreffend Betriebsmittel, Bau und Energie haben bezüglich THG-Vermeidung ein tieferes Potenzial, sind aber grundsätzlich machbar.

SICHERSTELLUNG DER UMSETZUNG

Auf numerische Mindestanforderungen bezüglich THG-Emissionen soll aufgrund fehlender Datengrundlage grundsätzlich verzichtet werden. Vielmehr soll die Vermeidung von THG-Emissionen in bestimmten Bereichen als Stand der Technik betrachtet werden. Eine Umsetzungspflicht wäre förderlich für die Umsetzung:

- Ganzjährige Nitrifikation zur Reduktion von N₂O-Emissionen (L1, L2 und L4). Die N₂O-Emissionen werden zu einem grossen Teil durch die Motion 24.4261 adressiert. Obwohl die Emissionsfaktoren stark vermindert werden, bleiben die N₂O-Emissionen – besonders bei sehr grossen Anlagen – relevant.
- Abluftbehandlung bei Faulwasserbehandlung zur Vermeidung von N₂O-Emissionen (L3)
- Stapelabdeckung zur Vermeidung von CH₄-Emissionen und Steigerung Gasausbeute (M1)

- Prüfpflicht bezüglich Methanleckagen (M2)

Zur Umsetzung der Massnahmen L3, M1 und M2 existieren Fördermechanismen. Bis 2030 können Gelder für Massnahmen zur CO₂-Reduktion als Kompensationsprojekte nach dem CO₂-Gesetz eingeholt werden. Es gibt Programme, welche Massnahmen zur Vermeidung von CH₄-Emissionen und N₂O-Emissionen sowie Abwärmenutzung umfassen (z. B. unter Klik). Diese sind Teil der im CO₂-Gesetz verankerten Kompensationspflicht für Treibstoffimporteure. Es handelt sich also nicht um öffentliche Gelder. Das CO₂-Gesetz ist bis 2024 in Kraft, das Nachfolgegesetz bis 2030 befindet sich in der parlamentarischen Debatte und sieht bisher eine Fortführung der Kompensationspflicht bis 2030 vor. Die Zukunft nach 2030 ist noch unbekannt. Alternativ können CO₂-Einsparungen auf dem sogenannten freiwilligen Markt – meist zu schlechteren Konditionen – gehandelt werden. Die Umsetzungswahrscheinlichkeit der Massnahmen L3, M1 und M2 wäre durch eine gesetzliche Verpflichtung erhöht.

Projekte zur CO₂-Entnahme (und -Speicherung) brauchen für die Umsetzung einen finanziellen Anreiz, der den Mehraufwand für die ARA kompensiert. Die Massnahmen können nicht über die Gebühren finanziert werden. Auch ARA werden künftig ihre nicht-vermeidbaren THG-Emissionen kompensieren müssen. Dann stellt sich die Frage, ob es günstigere oder sinnvollere Alternativen gibt, als das eigene, biogene CO₂ zu sammeln und zu speichern.

FAZIT

Eine Standortbestimmung für die THG-Emissionen auf den Schweizer ARA ist erfolgt und die grössten Quellen wurden identifiziert. Zurzeit dominieren die N₂O-Emissionen auf ARA, werden aber durch die geplante Anpassung der GSchV bezüglich Steigerung der Stickstoffelimination reduziert, dennoch bleiben die N₂O-Emissionen im Verhältnis zu den anderen Quellen auf ARA weiterhin relevant. Noch wesentlich unerforschter sind die Möglichkeiten für CO₂-Entnahme und -Speicherung auf ARA. Das biogene CO₂ macht auf den ARAs rund einen Drittel aller bekannten Emissionen aus, weshalb sich eine genauere Betrachtung des tat-

sächlichen Potenzials für CO₂-Entnahme und -Speicherung lohnen würde. Es wird sich am Markt zeigen, ob die ARA als Senken konkurrenzfähig sein werden. Die Nutzung der Abwasserwärme kann einen massgebenden Beitrag leisten. Bei den vorliegenden Erkenntnissen handelt es sich um die erste einheitliche Betrachtung des ARA-Sektors, die den Einschätzungen eines Expertengremiums entsprechen. Zur Präzisierung der Massnahmen respektive deren Potenzial und Machbarkeit sollten die THG-Emissionen in einem nächsten Schritt für unterschiedliche Anlagengrössen ausgeschrieben werden.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] *Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW (Stand 28.07.2023, noch nicht veröffentlicht): Gesamtbetrachtung Weiterentwicklung Reinigungsleistung ARA. Bundesamt für Umwelt. Bern und Muttenz*
- [2] *Gruber, W. et al. (2021): Elaboration of a data basis on greenhouse gas emissions from wastewater management – Final report N2OklimARA*
- [3] *Dieziger, C. et al. (2023): Lachgasemissionen aus Faulwasserbehandlung. Aqua & Gas N°2*
- [4] *Gruber, W. et al. (2022): Lachgasemissionen aus ARA. Aqua & Gas N°1*
- [5] *Meier, A.; Remy, C. (2020): Klimafreundlich Gewässer schützen. Aqua & G N°2*
- [6] *Joss, A.: Grobe Abschätzung der biogenen CO₂-Emissionen in der biologischen Reinigung (15.03.2023). Eawag*
- [7] *Binggeli, S. et al. (2022): Kosten und Leistungen der Abwasserentsorgung. Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA)/ Schweizerischer Verband Kommunale Infrastruktur (SVKI)*
- [8] *Kanton Zürich, Baudirektion; Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) (2020): Energieeffizienz auf Zürcher ARA*
- [9] *Bundesamt für Umwelt (2023): Faktenblatt CO₂-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz*
- [10] *Bundesamt für Umwelt (2018): Umweltbilanz Schweizer Strommixe*
- [11] *Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) (2010): Handbuch Energie in ARA*
- [12] *Verband Schweizer Abwasser- und Gewässerschutzfachleute (VSA) (2022): Infoblatt Fälmittelverbrauch*
- [13] *Bundesamt für Umwelt (2013): Klärschlamm-entsorgung in der Schweiz, Klärschlamm-erhebung 2012*
- [14] *Müller, E. A. et al. (2020): Dekarbonisierung des Wärme-/Kältesektors. Aqua & Gas N°9*
- [15] *Müller, E. A. et al. (2021): Solarenergie auf Kläranlagen. Umweltperspektiven 4*