

Anpassung des N₂O-Emissionsfaktors für die RV-Kläranlagen

Für die Treibhausgasbilanz des Ruhrverbands erfolgt die bisherige Berechnung der N₂O-Emissionen aus den Belebungsbecken der Kläranlagen nach dem Berechnungsansatz von Parravicini et al. (2015). Dabei wird für jede Kläranlage ein spezifischer Emissionsfaktor (EF) in Abhängigkeit von der Stickstoff-Elimination bestimmt (vgl. Tabelle 1). Dieser Ansatz stellt eine gute Möglichkeit für eine erste Abschätzung der N₂O-Emissionen dar.

Tabelle 1: N₂O-N EF nach dem Stufenansatz (Parravicini et al., 2015)

EF [% N ₂ O-N / N _{ges,Zulauf}]	N-Elimination [%]
1,37	< 60 – 69,9
0,88	70 – 79,9
0,39	80 - 89,9
0,14	90 - 92,9
0,028	93 -100

Bei der Bildung von N₂O gibt es jedoch eine Vielzahl weiterer Einflussfaktoren, die in diesem Ansatz nicht berücksichtigt werden. Die hohen und langanhaltenden Niederschläge im Jahr 2023 haben gezeigt, dass der Stufenansatz für niederschlagsreiche Jahre keine realistische Abschätzung der N₂O-Emissionen liefert. Die Verdünnung des Abwassers im Zulauf induziert eine Reduzierung der Stickstoffelimination [%] und in der Theorie eine Erhöhung der spezifischen Emissionsfaktoren. Als Folge stiegen die berechneten N₂O-Emissionen von 2022 auf 2023 deutlich an. Zur Veranschaulichung wurde der gewichtete, mittlere Emissionsfaktor für die RV-Kläranlagen nach dem Stufenansatz für die Jahre 2010 bis 2023 ermittelt (vgl. Abbildung 1). Die Wichtung erfolgte nach der Stickstofffracht im Zulauf (3-Jahresmittel). In niederschlagsarmen Jahren liegt der Emissionsfaktor um die **0,7 % N₂O-N / N_{ges,Zulauf}**, in niederschlagsreichen Jahren, wie z. B. 2023 bei **0,93 % N₂O-N / N_{ges,Zulauf}**. Es ist somit eine niederschlagsabhängige Schwankung zu erkennen.

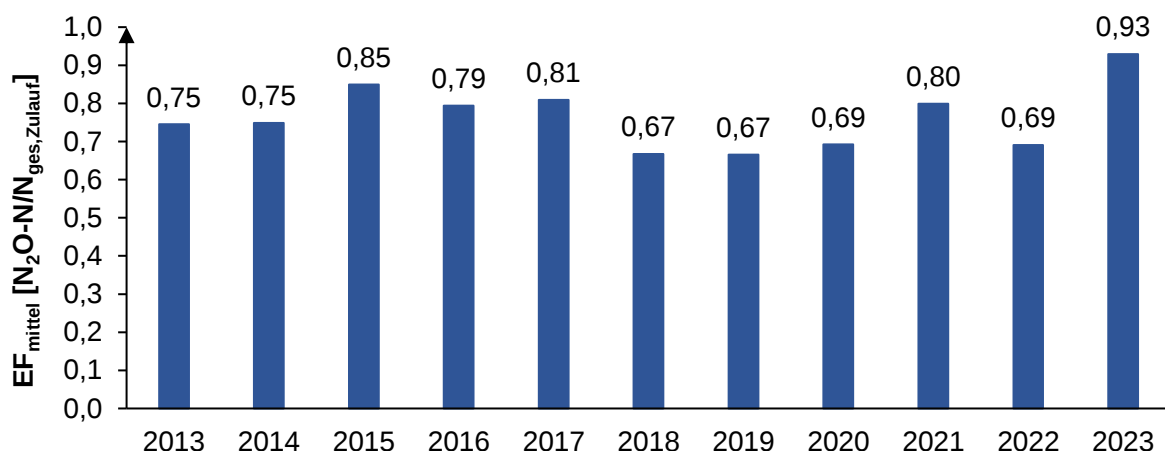


Abbildung 1: Gewichteter, gemittelter N₂O-N Emissionsfaktor [% N₂O-N / N_{ges,Zulauf}] nach dem Stufenansatz (Parravicini et al., 2015) für die Belebungsbecken der RV-Kläranlagen von 2013 bis 2023

Seit April 2023 führt der RV eigene N_2O -Messungen auf den Kläranlagen Bochum-Ölbachtal und Sundern durch. Die Zulaufkonzentrationen der Kläranlage Sundern sind aufgrund des fehlenden Industrieinflusses und des hohen Fremdwasseranteils sehr gering. Die Messergebnisse lassen daher Rückschlüsse auf das Emissionsgeschehen der RV-Kläranlagen in niederschlagsreichen Jahren zu, da in beiden Fällen verdünnte Zulaufbedingungen vorliegen. Die Ergebnisse der Messkampagne auf der Kläranlage Sundern zeigen, dass der gemessene Emissionsfaktor im Jahresmittel von **0,016 % $\text{N}_2\text{O-N} / \text{N}_{\text{ges,Zulauf}}$** deutlich unter dem Literaturwert nach dem Stufenansatz von **1,37 % $\text{N}_2\text{O-N} / \text{N}_{\text{ges,Zulauf}}$** liegt. Auf der Kläranlage Bochum-Ölbachtal wurden von Januar bis Ende April 24 deutlich erhöhte N_2O -Emissionen gemessen. Der EF lag hier im Mittel über das Jahr mit **0,88 % $\text{N}_2\text{O-N} / \text{N}_{\text{ges,Zulauf}}$** über dem des Stufenansatzes von **0,39 % $\text{N}_2\text{O-N} / \text{N}_{\text{ges,Zulauf}}$** . Ursächlich hierfür war mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Nitrit-Akkumulation, die jedoch die Ablaufwerte von Ammonium und Nitrat nicht beeinflusst hat. Durch die Umsetzung verschiedener geplanter Reduktionsmaßnahmen, wird angestrebt, den EF von **0,24 % $\text{N}_2\text{O-N} / \text{N}_{\text{ges,Zulauf}}$** im Jahresmittel zu erreichen. Dieser EF wurde im Mittel unter regulären Betriebsbedingungen in den Monaten von Mai bis Dezember gemessen.

Die höchste Genauigkeit wird durch Messungen auf den Kläranlagen erreicht. Ziel des Ruhrverbands ist es einen individuellen, auf die jeweilige Kläranlage bezogenen EF, zu ermitteln. Aufgrund der Vielzahl der Kläranlagen wird es jedoch eine größere Zeitspanne von einigen Jahren dauern, bis genügend Messungen durchgeführt wurden, um eine allgemeingültige Aussage treffen zu können. Daher wird vorgeschlagen die N_2O -Emissionen der THG-Bilanz vorläufig über einen einheitlichen Emissionsfaktor zu errechnen, welcher jedoch auch zu einer Fehleinschätzung führt, da die Emissionen je nach Kläranlage variieren. Die Höhe der Gesamtemissionen könnten mit einem gut geschätzten mittleren Emissionsfaktor jedoch in einer richtigen Größenordnung liegen, da sich die Varianzen über die Gesamtzahl der Kläranlagen ausgleichen. Aufgrund der hohen Individualität der N_2O -Emissionen ist eine Übertragbarkeit von Emissionsfaktoren aus der Literatur mit einer hohen Unsicherheit verbunden, was an der Abbildung 2 von (Ye, 2024) deutlich wird.

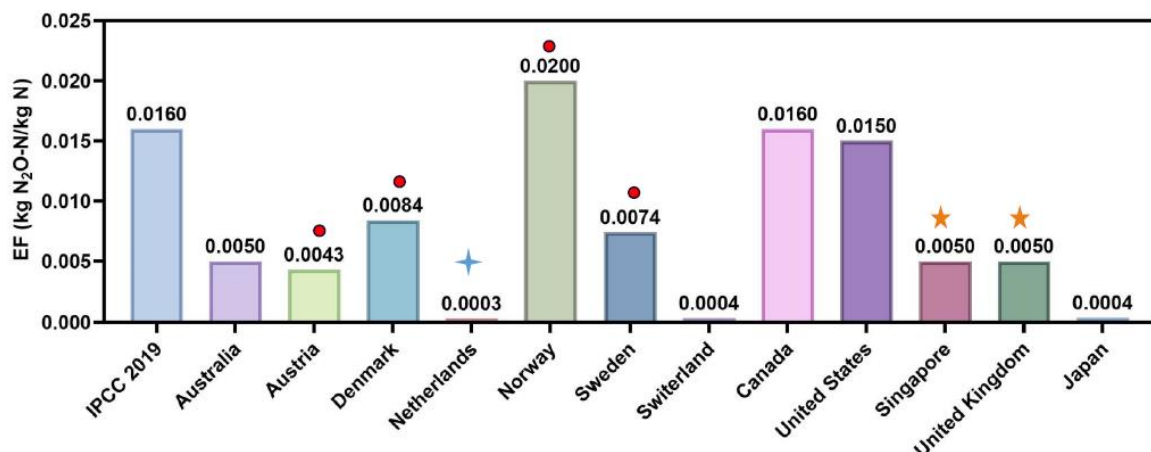


Abbildung 2: Vergleich der verwendeten N_2O -EF von verschiedenen Ländern (Ye, 2024) (EF basierend auf: blauer Stern: IPCC 2006 default value, gelber Stern: IPCC 2006 discharge value, roter Punkt: länderspezifische umfassende Messungen)

Im Bericht des IPCC (2019) ist der Emissionsfaktor mit **1,6 % $\text{N}_2\text{O-N} / \text{N}_{\text{ges,Zulauf}}$** angegeben, was nach dem aktuellen Kenntnisstand zu einer deutlichen Überschätzung führen würde. Für die Belastbarkeit der Berechnung ist es zudem sinnvoll sich auf nationale Untersuchungen zu beziehen. In Deutschland gibt es bisher keine umfassende Messkampagne zur Bestimmung eines validen landesspezifische EF. Daher hat das Umweltbundesamt (UBA) ein erstes Forschungsvorhaben (Gärtner, 2022) initiiert, was aufgrund von mangelnder Repräsentativität der Untersuchungen nicht in die nationale Emissions-berichterstattung übernommen wurde. Im Nationalen Inventarbericht Deutschland von 2024 wurde daher eine Angleichung des Emissionsfaktors für direkte N_2O -Emissionen aus der Abwasserreinigung auf Grundlage von internationalen Veröffentlichungen vorgenommen. Der EF beträgt **35 g $\text{N}_2\text{O} / (\text{EW} \cdot \text{a})$** und „stellt die Situation in Deutschland nach aktueller Datenlage ausreichend gut dar“ (UBA, 2024). Mit den vom UBA verwendeten Rahmenbedingungen für die Umrechnung von Emissionsfaktoren aus der Literatur, beträgt der auf die Zulauf fracht bezogene EF **0,43 % $\text{N}_2\text{O-N} / \text{N}_{\text{ges,Zulauf}}$** . Dieser Wert entspricht dem landesspezifischen Emissionsfaktor für Österreich (vgl. Abbildung 2). Die N_2O -Emissionen, die auf den österreichischen Kläranlagen gemessen wurden, sind zwar nicht direkt auf Deutschland übertragbar, jedoch ist Österreich ein mit Deutschland vergleichbarer europäischer Staat. Es wird daher davon ausgegangen, dass der umgerechnete Wert von 0,43 % $\text{N}_2\text{O-N} / \text{N}_{\text{ges,Zulauf}}$ für die RV-Kläranlagen belastbar ist. Auch im Vergleich zum bisher angewendeten Stufenansatz liegt der Wert innerhalb der angegebenen Spanne von 0,028 bis 1,37 % $\text{N}_2\text{O-N} / \text{N}_{\text{ges,Zulauf}}$. Der EF mit Bezug auf die Stickstofffracht wird im Vergleich zu dem EF mit Bezug auf die Einwohnerwerte bevorzugt, da im Nationalen Inventarbericht nicht angegeben ist, wie die EW zu bestimmen sind. Dies kann zu einer Diskrepanz zwischen der Berechnung der EW über die CSB-Fracht und der Berechnung über die TKN-Fracht führen, sodass die Vergleichbarkeit mit anderen Kläranlagenbetreibern nicht gegeben wäre.

Die direkten N_2O -Emissionen aus den RV-Kläranlagen wurden mit dem EF von 0,43 % $\text{N}_2\text{O-N} / \text{N}_{\text{ges,Zulauf}}$ für die Jahre 2019 bis 2023 berechnet und sind im Vergleich zu den bisher berechneten Emissionen in Abbildung 3 dargestellt.

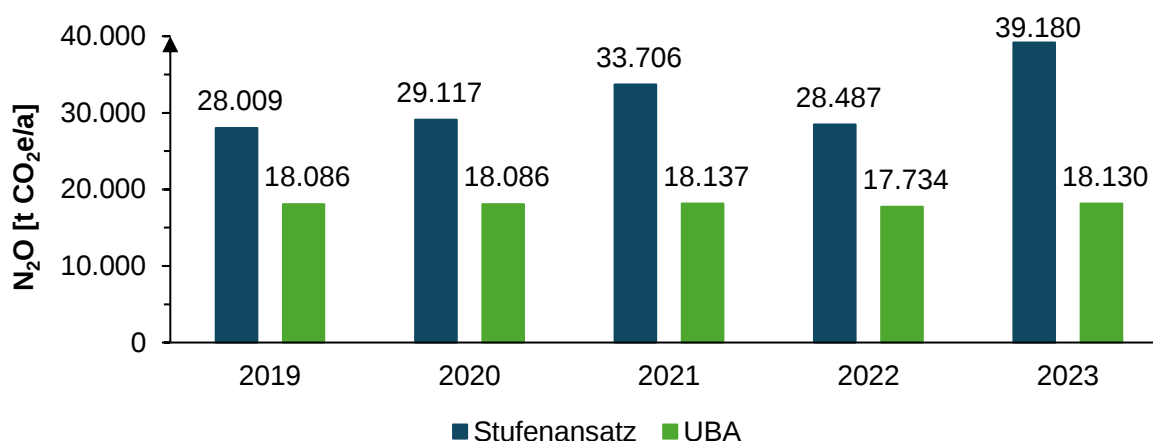


Abbildung 3: Vergleich der direkten N_2O -Emissionen [t $\text{CO}_2\text{e/a}$] des Ruhrverbands, berechnet nach dem Stufenansatz (Parravicini et al. 2015) und mit dem EF aus dem Nationalen Inventarbericht des Umweltbundesamtes (2019 bis 2023)

An dem Diagramm ist zu erkennen, dass die direkten N₂O-Emissionen des Ruhrverbands nach dem EF des UBA deutlich geringere Schwankungen im Jahresverlauf aufweisen und insgesamt niedriger sind. Verglichen mit dem mittleren EF der KA Sundern und Bochum-Ölbachtal von 0,44 % N₂O-N / N_{ges,Zulauf} bietet der vom UBA angegebene EF eine gute, national anerkannte Näherung.

Fazit

Es wird vorgeschlagen, für die Bilanzberechnung vorläufig den Emissionsfaktor von **0,43 % N₂O-N / N_{ges,Zulauf}**, basierend auf dem vom UBA angegebenen EF von 35 g N₂O / (EW*a) zu verwenden, da der Wert auf einer umfangreichen Literaturstudie des Umweltbundesamtes basiert (Nationaler Inventarbericht 2024). Zudem gibt es aktuell keine umfangreiche Messkampagne in Deutschland zur Abschätzung eines validen landesspezifischen Emissionsfaktors. Die Verwendung eines einheitlichen Emissionsfaktors hat in der Bilanz geringere Schwankungen im Jahresverlauf in Abhängigkeit der Niederschlagsmenge zur Folge. Dieser Zusammenhang konnte durch Messungen auf RV-Kläranlagen bestätigt werden. Um in Zukunft konkrete Angaben über die tatsächliche Höhe der Emissionen zu tätigen, werden weitere Messungen auf Ruhrverbandsanlagen erfolgen. Es ist wahrscheinlich, dass die Gesamtemissionen niedriger sind als bisher angenommen. Unter den gegebenen Umständen stellt der angegebene EF daher eine gute Näherung dar.