

Réduire l'empreinte carbone du traitement des eaux usées par des technologies innovante et des outils d'ingénierie.

Eveline I.P. Volcke (Eveline.Volcke@UGent.be)

BioCo Research Group, Department of Green Chemistry and Technology, Ghent University, Belgium

Mots-clés : traitement des eaux usées, émissions de gaz à effet de serre, bilans massiques, analyse des effluents gazeux



Résumé

La réduction de l'empreinte carbone est devenue primordiale dans le traitement des eaux usées. Dans cette contribution, Eveline Volcke réfléchira à la manière dont les outils d'ingénierie (analyses des effluents gazeux et bilans massiques) et les technologies innovantes telles que les réacteurs à boues granulaires aérobies peuvent contribuer à atteindre cet objectif. Les émissions de Scope 1 (directes) sous forme de N_2O et de méthane et les émissions de Scope 2 (indirectes) résultant de la consommation d'énergie sont toutes deux abordées.

La surveillance des effluents gazeux pour quantifier les émissions de gaz à effet de serre est désormais largement répandue. Au cours des 15 dernières années, de nombreuses stations d'épuration à grande échelle ont commencé à surveiller leurs émissions de N_2O et, dans une moindre mesure, leurs émissions de méthane. L'utilisation croissante des mesures des effluents gazeux pour surveiller les émissions de gaz à effet de serre offre une excellente occasion d'étudier d'autres composants de la phase gazeuse, en particulier l'oxygène. Les bilans massiques ne doivent pas être strictement réservés aux modélisateurs, mais s'avèrent également très utiles dans l'analyse des données expérimentales. La combinaison des mesures en phase gazeuse et de l'application des bilans massiques permet d'obtenir des avantages synergiques. Elle peut servir non seulement à quantifier les facteurs d'émission de gaz à effet de serre et l'efficacité de l'aération, mais aussi à suivre les profils de concentration dynamiques des composants dissous sans capteurs dédiés et/ou à calculer d'autres variables non mesurées. Le rapprochement des données basé sur le bilan massique permet d'obtenir des données fiables et précises, et ce d'autant plus lorsqu'il est combiné à l'analyse des effluents gazeux.

Les avantages des analyses des effluents gazeux et des bilans massiques dans la réduction de l'empreinte carbone des processus de traitement des eaux usées sont démontrés pour les réacteurs à boues granulaires aérobies. Les réacteurs à boues granulaires aérobies sont considérés comme une technologie de traitement des eaux usées véritablement innovante, qui consomme jusqu'à 50 % d'énergie en moins que les systèmes conventionnels à boues activées, permettant ainsi de réduire les émissions de Scope 2. Mais qu'en est-il des émissions de N_2O et de méthane (Scope 1) de ces réacteurs ? En outre, il est question de la manière dont la consommation d'énergie restante – principalement pour l'aération – peut être réduite grâce à l'optimisation des processus basée sur des modèles.

Références

- Baeten J.E., van Dijk E.J.H., Pronk M., van Loosdrecht M.C.M., Volcke E.I.P. (2021) Potential of off-gas analyses for sequentially operated reactors demonstrated on full-scale aerobic granular sludge technology. *Science of the total environment*, 787, 147651 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147651>
- Baeten, J.E., Walgraeve, C., Granja, R., van Loosdrecht, M.C.M., Volcke, E.I.P. (2021). Unaerated feeding alters the fate of dissolved methane during aerobic wastewater treatment. *Water Research*, 204, 117619 <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117619>
- Daelman M.R.J., De Baets B., van Loosdrecht M.C.M., Volcke E.I.P. (2013a). Influence of sampling strategies on the estimated nitrous oxide emission from wastewater treatment plants. *Water Research*, 47(9), 3120-3130. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2013.03.016>
- Daelman M.R.J., van Eynde T., van Loosdrecht M.C.M., Volcke E.I.P. (2014). Effect of process design and operating parameters on aerobic methane oxidation in municipal WWTPs. *Water Research*, 66, 308 - 319. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.07.034>
- Daelman M.R.J., van Voorthuizen E.M., van Dongen L.G.J.M., Volcke E.I.P., van Loosdrecht M.C.M. (2012). Methane emission during municipal wastewater treatment. *Water Research*, 46(11), 3657-3670. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.04.024>
- Daelman M.R.J., van Voorthuizen E.M., van Dongen L.G.J.M., Volcke E.I.P., van Loosdrecht M.C.M. (2013b). Methane and nitrous oxide emissions from municipal wastewater treatment – results from a long-term study. *Water Science and Technology*, 67(10), 2350–2355. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.109>
- Daelman M.R.J., van Voorthuizen E.M., van Dongen U.G.J., Volcke E.I.P., 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*, 536, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.06.122>
- Le Q.H. Verheijen P.J.T., van Loosdrecht M.C.M., Volcke E.I.P. (2022). Application of data reconciliation to a dynamically operated wastewater treatment process with off-gas measurements. *Environmental Science: Water Research and Technology*, 8, 2114-2125 <https://doi.org/10.1039/D2EW00006G>
- Le Q.H, Carrera P., van Loosdrecht M.C.M., Volcke E.I.P., 2025. Data evaluation for wastewater treatment plants: linear vs bilinear mass balances. *Comp. Chem Eng.*, 195, 109012. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2025.109012>
- Le Q.H, Carrera P., van Loosdrecht M.C.M., Volcke E.I.P., 2025. Effective measuring campaigns for reliable and informative full-scale WWTP data. *Environmental Science: Water Research & Technology*, 11, 667. <https://doi.org/10.1039/d4ew00315b>
- Liu Y., Cheng X., Lun X., Sun D. 2014. CH₄ emission and conversion from A₂O and SBR processes in full-scale wastewater treatment plants, *Journal of Environmental Sciences*, 26 (1), 224-230. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(13\)60401-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(13)60401-5)
- Pronk M., de Kreuk M.K., de Bruin B., Kamminga R. Kleerebezem, M.C.M. van Loosdrecht (2015). Full scale performance of the aerobic granular sludge process for sewage treatment. *Water Research* 84, 207-217. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.07.011>
- Rosso D., Stenstrom M. (2007). Energy-saving benefits of denitrification. *Environ. Eng. Appl. Res. Pract.* 3.
- Strubbe L., van Dijk E.J.H., Carrera P., van Loosdrecht M.C.M., Volcke E.I.P. (2024). Impact of oxygen transfer dynamics on the performance of an aerobic granular sludge reactor. *Chemical Engineering Journal*, 482, 148843. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.148843>
- Strubbe L., van Dijk E.J.H., Deenekamp P.J.M., van Loosdrecht M.C.M., Volcke E.I.P. (2023). Oxygen transfer efficiency in an aerobic granular sludge reactor: dynamics and influencing factors of alpha. *Chemical Engineering Journal*, 452, 3, 139548. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2022.139548>
- van Dijk E.J.H., van Loosdrecht M.C.M., Pronk M. 2021. Nitrous oxide emission from full-scale municipal aerobic granular sludge, *Water Research* 198, 117159. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117159>
- Volcke E.I.P., 2024. Synergies from off-gas analysis and mass balances – some personal reflections on our experiences. *Environmental Science & Ecotechnology*, 21, 100396. <https://doi.org/10.1016/j.es.2024.100396>
- Winkler, M. K. H., & Van Loosdrecht, M. C. M. (2022). Intensifying existing urban wastewater Aerobic granular sludge offers improvements to treatment processes. *Science*, 375(6579), 377-378. <https://doi.org/10.1126/science.abm3900>
- Ye L., Porro J., Nopens I. (Eds.), Quantification and Modelling of Fugitive Greenhouse Gas Emissions from Urban Water Systems: A report from the IWA Task Group on GHG (pp. 167-196). International Water Association (IWA). https://doi.org/10.2166/9781789060461_0167