



Les bioessais permettent d'évaluer l'ozonation et le post-traitement des eaux usées

2 mai 2022 | Anke Schäfer, Annette Ryser

Catégories: Eaux usées | Polluants | Société | Changement climatique & Énergie

L'ozonation est une méthode de traitement reconnue pour l'élimination de micropolluants dans les eaux usées. Cependant, elle peut donner lieu à des produits de réaction toxiques instables, un post-traitement biologique est donc nécessaire. Les résultats du Centre Écotox et de l'Eawag montrent dans quelle mesure différentes méthodes de post-traitement réduisent les effets écotoxicologiques. La combinaison de l'ozonation avec du charbon actif s'est avérée être la plus efficace.

Les eaux usées polluent les rivières et les lacs en y déversant de nombreux micropolluants provenant, entre autres, de produits de soins et de produits pharmaceutiques. La loi sur la protection des eaux vise par conséquent à doter les stations d'épuration des eaux usées (STEP) suisses d'une étape de traitement supplémentaire. Des essais pilotes ont mis en avant deux méthodes particulièrement efficaces pour l'élimination des micropolluants: l'ozonation et le traitement au charbon actif. L'ozonation peut cependant donner lieu à des produits de réaction instables indésirables et potentiellement toxiques. Afin de les éliminer des eaux usées, un post-traitement avec une activité biologique est nécessaire et plusieurs méthodes peuvent être employées. Dans le but d'évaluer les différentes méthodes, le Centre Écotox et l'Eawag ont déterminé dans quelle mesure l'ozonation combinée à des procédés de post-traitement pouvait réduire les effets écotoxicologiques. Plusieurs bioessais ont ainsi été effectués pour évaluer globalement l'effet de mélanges complexes de substances. Le projet a été financé par l'Office fédéral de l'environnement et l'UE dans le cadre du FP7 ([projet DEMAU](#)).

Des bioessais de grande envergure

D'une part, pour les organismes des bioessais, les chercheuses et chercheurs ont utilisé, en laboratoire, des cultures cellulaires ou des organismes mono ou multicellulaires tels que des bactéries, des algues ou des daphnies. D'autre part, des truites arc-en-ciel et des vers oligochètes ont été analysés dans les systèmes d'écoulement directement à la STEP. «Les tests sur des truites à des stades de développement précoces ont permis d'examiner, en dehors de la mortalité, des paramètres généraux de développement tels que l'éclosion, la flottaison et la longueur, mais également les modifications tissulaires et l'expression de gènes sensibles aux polluants comme biomarqueurs», explique Cornelia Kienle du Centre Écotox.



Des chercheuses examinent, sur la base de bioessais, l'efficacité de différents procédés de post-traitement pour l'élimination de produits de réaction instables et toxiques des eaux usées.
(Photo: Centre Écotox)

Les essais ont été effectués à la STEP de Neugut à Dübendorf, qui a été la première STEP de Suisse à avoir été équipée d'un système d'ozonation à grande échelle en 2014. Comme alternative possible au filtre à sable de la STEP de Neugut, les scientifiques ont étudié les effets d'un réacteur à lit fluidisé et d'un réacteur à lit fixe dans lesquels, comme pour le filtre à sable, des bactéries transforment biologiquement des substances en biofilms. Par ailleurs, des filtres à charbon actif en grains (CAG) ont été envisagés, autant avec du CAG relativement pur et peu chargé, qu'avec du CAG déjà utilisé et donc chargé de substances organiques. Dans les filtres CAG, les micropolluants organiques sont, d'une part, adsorbés sur le charbon et, d'autre part, dégradés par le biofilm sur le CAG. Les scientifiques ont comparé l'effet des eaux usées sur les cultures cellulaires et les organismes des bioessais après le nettoyage biologique, après l'ozonation ainsi qu'après les différents post-traitements.

Cette vidéo montre la conception de l'expérience

[Regardez la vidéo sur Youtube](#) (en anglais).

Confirmation des effets positifs de l'ozonation

Les tests en laboratoire ont démontré que l'ozonation réduisait efficacement la toxicité des eaux usées par rapport aux eaux usées qui avaient seulement été purifiées biologiquement. L'effet toxique sur des bactéries bioluminescentes a été réduit de 66 pour cent comparé au

traitement biologique. Dans le cadre du test sur des algues vertes, l'inhibition de photosynthèse s'est également réduite de 80 pour cent et l'inhibition de croissance de 75 pour cent. Certains effets hormonaux-actifs ont également été réduits ou éliminés par l'ozonation. La survie des daphnies n'a été altérée de manière significative par aucun des échantillons d'eaux usées examinés. Les tests effectués dans les systèmes d'écoulement de la STEP ont montré que les eaux usées n'avaient pas non plus eu d'effets sur la survie et la reproduction des vers oligochètes. De même, aucune différence n'a été constatée concernant le développement et la survie des truites arc-en-ciel à des stades d'évolution précoces entre l'eau usée après ozonation et l'eau usée épurée uniquement par voie biologique.



L'ozonation est une méthode éprouvée pour éliminer les composés traces organiques de l'eau. Sur la photo: des diffuseurs d'ozone à la STEP Neugut de Dübendorf.
(Photo: Aldo Todaro, Eawag)

Davantage de réduction grâce au filtre CAG

La toxicité des eaux usées après ozonation était très faible, ce qui signifie que le traitement à l'ozone a déjà entraîné une amélioration significative. Ce n'est que dans des cas isolés qu'un léger effet mutagène a, par exemple, été constaté. Ces effets négatifs ont pu être éliminés ou réduits davantage grâce aux différents processus de post-traitement. Le test d'inhibition de photosynthèse a révélé qu'après traitement avec le filtre CAG peu chargé, les effets ont pu être réduits de 66 pour cent supplémentaires. Ce résultat est probablement dû à une élimination supplémentaire des micropolluants par le filtre CAG. Le filtre CAG chargé a également permis une légère amélioration. Dans l'ensemble, la faible toxicité résiduelle après ozonation a toutefois rendu difficile l'évaluation des effets supplémentaires des post-traitements dans le cadre des bioessais. Les résultats obtenus pour les post-traitements avec filtre à sable, lit fluidisé et lit fixe n'ont pas été constants et ne permettent pas de tirer de conclusions.

De nouvelles méthodes délicates

Une analyse tissulaire des truites arc-en-ciel réalisée à l'Universität Tübingen a révélé qu'après l'ozonation, l'état tissulaire du foie des truites restait toujours moins bon que celui


```

odHRwOi8vd3d3LnczLm9yZy8yMDAwL3N2ZylgeG1sbnM6eGxpbnms9Imh0dHA6Ly93d3cudz
Mub3JnLzE5OTkveGxpbnmsilHg9ljBweClgeT0iMHB4liB2aWV3Qm94PSlwIDAgMTIiIHN
0eWxIPSJlbnFibGUtYmFja2dyb3VuZDpuZXcgMCAwIDEyOyOylgeG1sOnNwYWNIPSIJwcmVzZXJ2ZSI+PHN0eWxliHR5cGU9InRleHQvY3Nzlj4uc3Qwe2ZpbGw6lzg4ODg4ODt9PC9z
dHlsZT48cGF0aCBpZD0iQm9yZGVyYliBjBGFzc0ic3QwliBkPSJNMTEsMTFIMFYwaDEExVjEx
eiBNMTAsMUgxdjloOVYxeilvPjxnIGlkPSJJbm5lcil+PHJlY3QgeD0iMilgeT0iNSIy2xhc3M9In
N0MCIgd2lkGg9ljciGhlaWdodD0iMSlvpjxyZWN0IHg9ljUilHk9ljliIGNsYXNzPSJzdDAiIHdpZ
HRoPSlxiBoZWlnaHQ9ljciLz48L2c+PC9zdmc+);display:inline-block}.extbase-debugger-tree
input:checked~.extbase-debug-content{display:inline}.extbase-debugger-tree input:checked~.
extbase-debug-header:before{background-image:url(
dmVyc2lvbj0iMS4wliBlbnNvZGluc3QwZXRmLTgiPz48c3ZnIHZlcnNpb249IjEuMSIgaWQ9IkViZ
W5lXzEilHhtbG5zPSJodHRwOi8vd3d3LnczLm9yZy8yMDAwL3N2ZylgeG1sbnM6eGxpbnms9I
mh0dHA6Ly93d3cudzMub3JnLzE5OTkveGxpbnmsilHg9ljBweClgeT0iMHB4liB2aWV3Qm94P
SlwIDAgMTIiIHN0eWxIPSJlbnFibGUtYmFja2dyb3VuZDpuZXcgMCAwIDEyOyOylgeG
1sOnNwYWNIPSIJwcmVzZXJ2ZSI+PHN0eWxliHR5cGU9InRleHQvY3Nzlj4uc3Qwe2ZpbGw6
lzg4ODg4ODt9PC9zdHlsZT48cGF0aCBpZD0iQm9yZGVyYliBjBGFzc0ic3QwliBkPSJNMTEsM
TFIMFYwaDEExVjExeiBNMTAsMUgxdjloOVYxeilvPjxnIGlkPSJJbm5lcil+PHJlY3QgeD0iMilgeT
0iNSIy2xhc3M9InN0MCIgd2lkGg9ljciGhlaWdodD0iMSlvpjwvZz48L3N2Zz4=)}.extbase-
debugger{display:block;text-align:left;background:#2a2a2a;border:1px solid #2a2a2a;box-
shadow:0 3px 0 rgba(0,0,0,.5);color:#000;margin:20px;overflow:hidden;border-radius:4px}.ext
base-debugger-floating{position:relative;z-index:999}.extbase-debugger-
top{background:#444;font-size:12px;font-family:monospace;color:#f1f1f1;padding:6px
15px}.extbase-debugger-center{padding:0 15px;margin:15px 0;background-image:repeating-
linear-gradient(to bottom,transparent 0,transparent 20px,#252525 20px,#252525
40px)}.extbase-debugger-center,.extbase-debugger-center .extbase-debug-string,.extbase-
debugger-center a,.extbase-debugger-center p,.extbase-debugger-center pre,.extbase-
debugger-center strong{font-size:12px;font-weight:400;font-family:monospace;line-
height:20px;color:#f1f1f1}.extbase-debugger-center pre{background-color:transparent;margin:
0;padding:0;border:0;word-wrap:break-word;color:#999}.extbase-debugger-center .extbase-
debug-string{color:#ce9178;white-space:normal}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
type{color:#569CD6;padding-right:4px}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
unregistered{background-color:#dce1e8}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
filtered,.extbase-debugger-center .extbase-debug-proxy,.extbase-debugger-center .extbase-
debug-ptype,.extbase-debugger-center .extbase-debug-visibility,.extbase-debugger-center
.extbase-debug-scope{color:#fff;font-size:10px;line-height:12px;padding:2px 4px;margin-
right:2px;position:relative;top:-1px}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
scope{background-color:#497AA2}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
ptype{background-color:#698747}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
visibility{background-color:#698747}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
dirty{background-color:#FFFFB6}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
filtered{background-color:#4F4F4F}.extbase-debugger-center .extbase-debug-seeabove{text-
decoration:none;font-style:italic}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
property{color:#f1f1f1}.extbase-debugger-center .extbase-debug-
closure{color:#9BA223;}Extbase Variable Dumparray(2 items) publications => '24398' (5
chars) libraryUrl => " (0 chars) Extbase Variable Dumparray(1 item) 0 =>
Snowflake\Publications\Domain\Model\Publicationprototypepersistent entity (uid=24398,
pid=124) originalId => protected24398 (integer) authors => protected'Kienle,&nbsp;C.;
Werner,&nbsp;l.; Fischer,&nbsp;S.; Lüthi,&nbsp;C.; Schiffe

```

ri, A.; Besselink, H.; Langer, M.; McArdell, C. S.;
 ; Vermeirssen, E. L. M.' (190 chars) title => protected'Evaluation of a
 full-scale wastewater treatment plant with ozonation and dif
 ferent post-treatments using a broad range of in vitro and in v
 ivo bioassays' (170 chars) journal => protected'Water Research' (14 chars) year
 => protected2022 (integer) volume => protected212 (integer) issue => protected" (0 chars)
 startpage => protected'118084 (13 pp.)' (15 chars) otherpage => protected" (0 chars)
 categories => protected'bioassays; aquatic contaminants; biomarker gene expression;
 histopathology' (74 chars) description => protected'Micropollutants present in the effluent of
 wastewater treatment plants (WWTP

s) after biological treatment are largely eliminated by effective advanced t
 echnologies such as ozonation. Discharge of contaminants into freshwater eco
 systems can thus be minimized, while simultaneously protecting drinking wate
 r resources. However, ozonation can lead to reactive and potentially toxic t
 ransformation products. To remove these, the Swiss Federal Office for the En
 vironment recommends additional "post-treatment" of ozonated WWTP effluent u
 sing sand filtration, but other treatments may be similarly effective. In th
 is study, 48 h composite wastewater samples were collected before and after
 full-scale ozonation, and after post-treatments (full-scale sand filtration
 , pilot-scale fresh and pre-loaded granular activated carbon, and fixed and
 moving beds). Ecotoxicological tests were performed to quantify the changes
 in water quality following different treatment steps. These included standar
 d in vitro bioassays for the detection of endocrine, genotoxic and
 mutagenic effects, as well as toxicity to green algae and bacteria, and flow
 -through in vivo bioassays using oligochaetes and early life stages
 of rainbow trout.
Results show that ozonation reduced a number of ecot
 oxicological effects of biologically treated wastewater by 66 - 93%: It impr
 oved growth and photosynthesis of green algae, decreased toxicity to lumines
 cent bacteria, reduced concentrations of hormonally active contaminants and
 significantly changed expression of biomarker genes in rainbow trout liver.
 Bioassay results showed that ozonation did not produce problematic levels of
 reaction products overall. Small increases in toxicity observed in a few sa
 mples were reduced or eliminated by post-treatments. However, only relativel
 y fresh granular activated carbon (analyzed at 13,000 - 20,000 bed volumes)
 significantly reduced effects additionally (by up to 66%) compared to ozonat
 ion alone. Inhibition of...' (2199 chars) serialnumber => protected'0043-1354' (9 chars)
 doi => protected'10.1016/j.watres.2022.118084' (28 chars) uid => protected24398 (integer)
 _localizedUid => protected24398 (integer)modified _languageUid => protectedNULL
 _versionedUid => protected24398 (integer)modified pid => protected124 (integer) Kienle, C.;
 Werner, I.; Fischer, S.; Lüthi, C.; Schifferli, A.; Besselink, H.; Langer, M.; McArdell, C. S.;
 Vermeirssen, E. L. M. (2022) Evaluation of a full-scale wastewater treatment plant with
 ozonation and different post-treatments using a broad range of *in vitro* and *in vivo* bioassays,
Water Research, 212, 118084 (13 pp.), [doi:10.1016/j.watres.2022.118084](https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118084), [Institutional
 Repository](#)

Financement/coopérations

Eawag Centre Écotox BioDetection Systems B.V., Pays-Bas Office fédéral de

l'environnement (OFEV) Union européenne

Contact



Cornelia Kienle

Centre Ecotox

Tel. +41 58 765 5563

cornelia.kienle@oekotoxzentrum.ch



Annette Ryser

Rédactrice scientifique

Tel. +41 58 765 6711

annette.ryser@eawag.ch

<https://www.eawag.ch/fr/portail/dinfo/actualites/news-archives/detail-de-larchive/les-bioessais-permettent-devaluer-lozonation-et-le-post-traitement-des-eaux-usees>