

Ózon alkalmazása a szennyvíztisztításban

Kovács Norbert

Projekt mérnök

Bálint Analitika Kft.



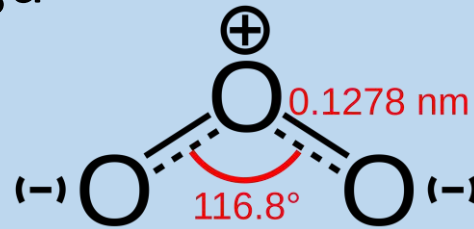
Szennyvíztisztítás aktuális kérdései szakmai nap
2025.04.24.

Az ózon története a víztisztításban

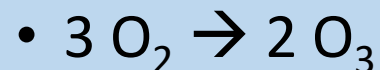
Év	Esemény
1785	Van Murum furcsa szagot érez egy elektromos készülék környezetében.
1801	Cruikshank ugyanazt a furcsa szagot érzi víz elektrolízises kísérlete közben.
1840	Christian Friedrich Schönbein, német kémikus hivatalosan felfedezi ezt a furcsa szagú vegyület és a görög „ozein” – szagolni szóból ózonnak nevezi el.
1857	Werner Von Siemens megtervez egy ózon generátort, ami ma „Siemens típusú” ózongenerátorként ismert.
1866	Jacques-Louis Soret meghatározza az ózon molekuláris szerkezetét.
1893	Első üzemi méretű alkalmazás ivóvízre – Oudshoorn, Hollandia.
1896	Nikola Tesla szabadalmaztatja saját ózongenerátorát.
1897	Első ózon vállalat, Compagnie Generale de l’Ozone –Marius Paul Otto. Ma Veolia Environnement S.A. (Veolia).
1903	Első amerikai alkalmazás ivóvízre – Niagara Falls, New York.
1906	Első franciaországi ózonos víztisztítótelep üzembehelyezése Nizzában, amely a leghosszabb ideje üzemelő ózon rendszer, ezzel kiérdemelte az „ózonos ivóvíz kezelés bölcsője” címet.
1940	Az Amerikai Haditengerészeti Akadémia (U.S. Naval Academy) elsőként használja az ózont úszómedence tisztításhoz.
1970	Először használják az ózont algaírtásra Franciaországban.
1973	International Ozone Association (IOA) megalakulása.
1976	EPA (Environmental Protection Agency) engedélyezi az ózon használatát az USA-ban antimikrobiális oxidálószerként.
1984	Az olimpián hivatalosan is a verseny úszómedencék fertőtlenítéséhez ózont használnak.
1998	Az amerikai EPA és a Safe Drinking Water Act of 1991 igazolja, hogy az ózon hatásos a veszélyes patogének és a klór-rezisztens Cryptosporidium eltávolítására a vízből.
2000	Dél-Koreában, Tegu (Daegu) városában valósul meg az első ózon projekt, amiben szennyvíztisztításra használják az ózont.
2014	Svájcban, Dübendorf városában üzembe helyezik az első európai ózonos szennyvíztisztítót mikroszennyezők eltávolítására.

Ózon

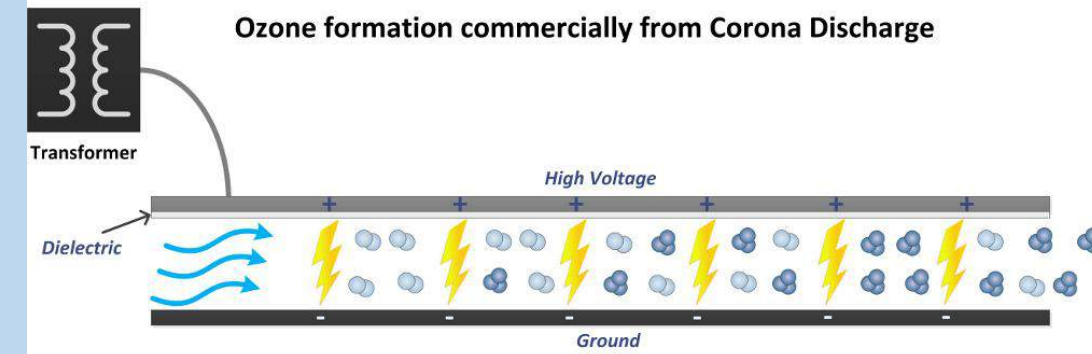
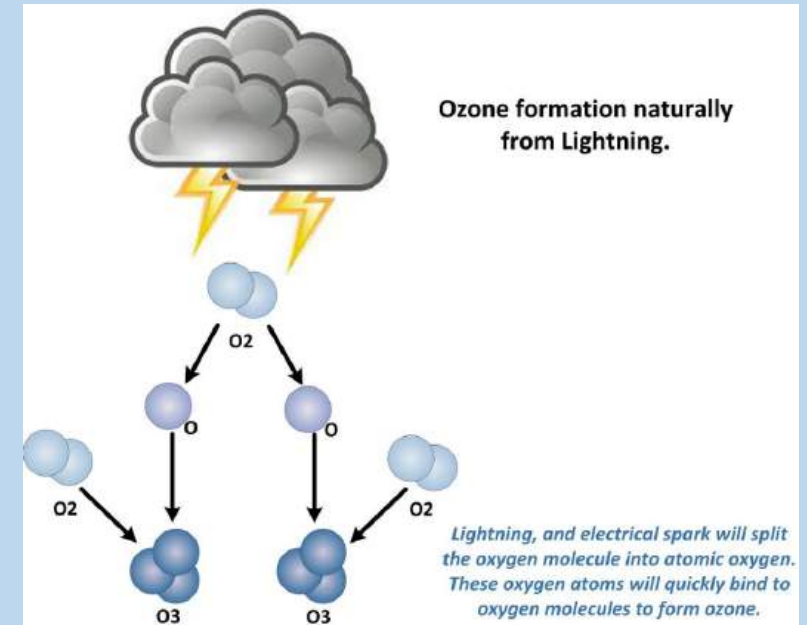
- 3 atomos oxigén molekula, O_3
- Jellegzetes szúrós szagú
- Halvány kék gáz
- Mérgező
- Instabil, nagyon reaktív
- Előállítás:



- levegőből vagy **oxigénből**

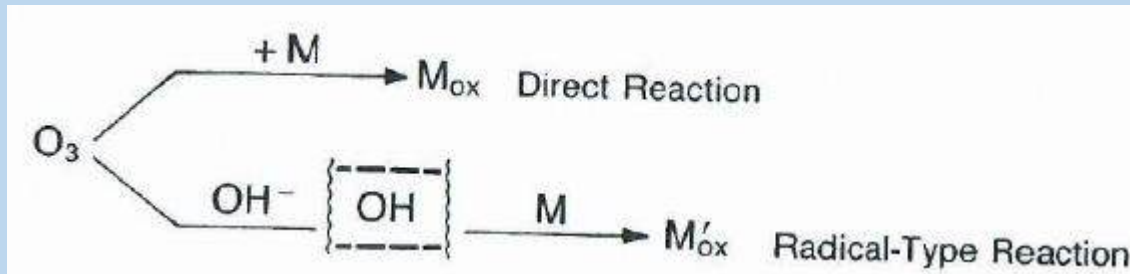


- **Elektromos kisülés**, UV ($\lambda=185$ nm), víz elektrolízise, hidegplazma



Az ózon, mint oxidálószer

- Oldhatósága jobb, mint oxigéné:
 - O_3 : 109 mg/L (25°C)
 - O_2 : 18 mg/L (25°C)
- Erős oxidálószer
- Reaktivitás vizes közegben:



Bruno Langlais, David A. Reckhow, Deborah R. Brink: *Ozone in Water Treatment - Application and Engineering* (1991)

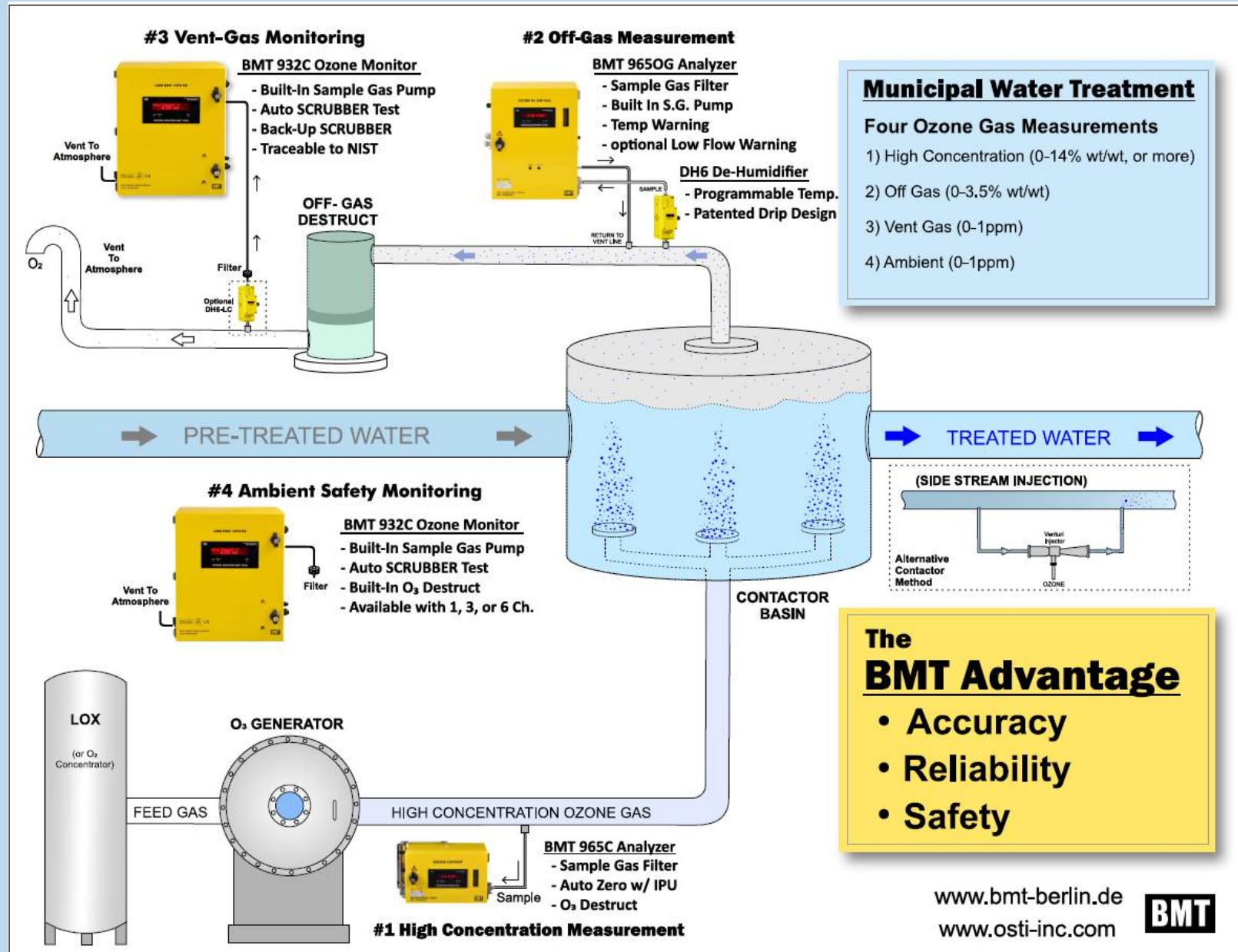
Oxidálószer	Képlet	Redox potenciál, (eV)
Fluor	F_2	3,06
Hidroxilgyök	$OH^\bullet$	2,80
Naszcents oxigén	$O^\bullet$	2,42
Ózon	O_3	2,07
Hidrogén-peroxid	H_2O_2	1,77
Peroxilgyök	$HO_2^\bullet$	1,70
Kálium-permanganát	$KMnO_4$	1,70
Hipoklórossav	$HOCl$	1,49
Klór	Cl_2	1,36
Hipobrómosav	$HOBr$	1,33
Oxigén	O_2	1,23
Bróm	Br_2	1,09
Klór-dioxid	ClO_2	0,95
Nátrium-hipoklorit	$NaOCl$	0,94
Jód	I_2	0,54

Nagy hatékonyságú/Fejlett oxidációs eljárások (AOP)

- O_3 lúgos közegben
- O_3/H_2O_2 (peroxon)
- O_3/UV (ózon fotolízis)
- $O_3/H_2O_2/UV$
- O_3/US
- $O_3/nZVI$

Oxidálószer	Képlet	Redox potenciál, (eV)
Fluor	F_2	3,06
Hidroxilgyök	$OH^\bullet$	2,80
Naszcents oxigén	$O^\bullet$	2,42
Ózon	O_3	2,07
Hidrogén-peroxid	H_2O_2	1,77
Peroxilgyök	$HO_2^\bullet$	1,70
Kálium-permanganát	$KMnO_4$	1,70
Hipoklórossav	$HOCl$	1,49
Klór	Cl_2	1,36
Hipobrómosav	$HOBr$	1,33
Oxigén	O_2	1,23
Bróm	Br_2	1,09
Klór-dioxid	ClO_2	0,95
Nátrium-hipoklorit	$NaOCl$	0,94
Jód	I_2	0,54

Ózonos szennyvízkezelő berendezés



Alkalmazások: Mikroszennyezők eltávolítása

Szennyvíztisztítás fokozatai:

- 1. fokozat: mechanikai tisztítás
- 2. fokozat: biológiai tisztítás
- 3. fokozat: tápanyag (N és P) eltávolítás
- **4. fokozat: mikroszennyezők eltávolítása**

Mikroszenneyezők

Szerves Mikroszenneyezők	Példák
Humán és állati gyógyszerek	Antibiotikumok, Fájdalomcsillapítók, Antidiabetikumok, epilepsziaellenes szerek, Pszichiátriai szerek, Vérlipid szabályozók, Gyulladáscsökkentők, Röntgen kontraszt anyagok (jopromid), Szív-, érrendszeri gyógyszerek (β -blokkolók), vérnyomáscsökkentők, szintetikus hormonok
Antibiotikum rezisztencia gének	
Kábítószer	Kokain, Heroin, morfin
Kozmetikai és testápoló szerek (PCP)	Illatanyagok és szintetikus pézsma, Élénkítőszer, UV/napvédők, fertőtlenítő szerek, antioxidánsok, tartósítószer, Rovarriasztók
Peszticidek	Gyomirtók (alaklór, glifozát), rovarirtószer (DDT, klordén, aldrin, dieldrin, endrin, heptaklór, mirex, toxafén, klórdekon, lindén), gombaölőszerek (hexaklórbenzol), Rágcsálóirtók (arzén-trioxid), Talajfertőtlenítő szerek (etilén-dibromid)
Felületaktív anyagok	Nonil-fenol (NP)
Ipari kemikáliák	Műanyagalapanyagok, pl. BPA, Poliklórozott bifénilek (PCB), pl. alaklór, furánok, Lágyítószer, pl. dietil fatalát (DEP) Poli és perfluorozott alkilezett anyagok (PFAS) , pl. PFOS, PFOA, Égésgátlók, pl. polibrómozott difenil-éterek (PBDE)
Élelmiszer adalékanyagok	Koffein, aszpartám
Mikro- és nanoműanyagok	
Nanorészecskék	Szén nanocsövek, arany, titánium nanorészecskék, fullerének
Fertőtlenítési melléktermékek (DBP-k)	Trihalometán
Égési melléktermékek	Dioxinok, furánok, PAH
Üzemanyag adalékok	Metil-terc-butil-éter
Algatoxinok	mikrocisztin

A svájci minta

	Vegyület	Felhasználás
1. Kategória Nagyon könnyen eltávolítható (kezelhető) anyagok	Amisulprid	Antipszichotikum
	Karbamazepin	Antidepresszáns
	Citalopram	Antidepresszáns
	Klaritromicin	Makrolid antibiotikum
	Diklofenák	Gyulladáscsökkentő, fájdalomcsillapító
	Hidroklorotiazid	Vizelethajtó, vérnyomáscsökkentő
	Metoprolol	Szívritmus-szabályzó
	Venlafaxin	Antidepresszáns
2. Kategória Könnyen eltávolítható anyagok	Benzotriazol	Fagyálló, korroziógátlóanyag
	Kandezartán	Vérnyomáscsökkentő
	Irbezartán	Vérnyomáscsökkentő
	4/5-Metilbenzotriazol	Korróziógátlóanyag, Biocid/Peszticid

Kikötések:

- Száraz időben mérni
- Legalább 6 vegyület
- 1. kateg. : 2. kateg. = 2:1
- Minimum 80%-os átlagos eltávolítás arány

Negyedik fokozat bevezetése:

- Svájc: 2035-ig kötelezően a 100 legnagyobb WWTP-n
- EU: 2045-ig minden 150.000 LE telepen és 10.000-150.000 LE telepen indokolt esetben

Verordnung des UVEK

zur Überprüfung des Reinigungseffekts von Massnahmen zur Elimination von organischen Spurenstoffen bei Abwasserreinigungsanlagen

vom 3. November 2016 (Stand am 1. Dezember 2016)

Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK),

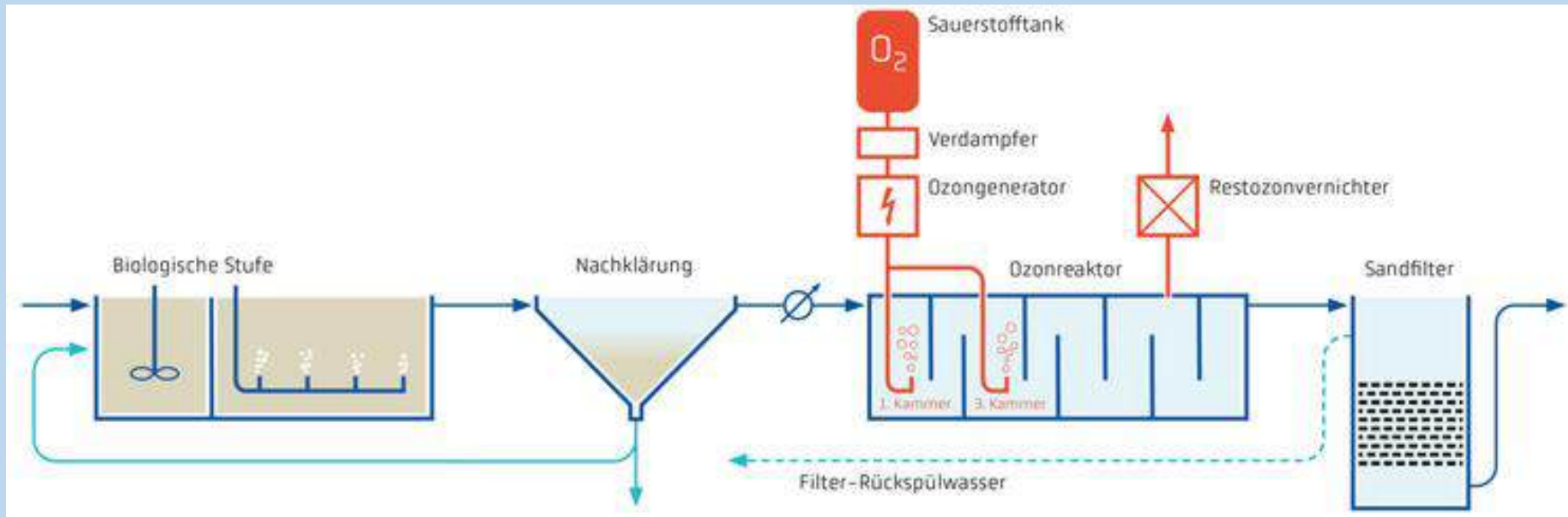
gestützt auf Anhang 3.1 Ziffer 2 Nummer 8 der Gewässerschutzverordnung vom 28. Oktober 1998

A negyedik fokozat

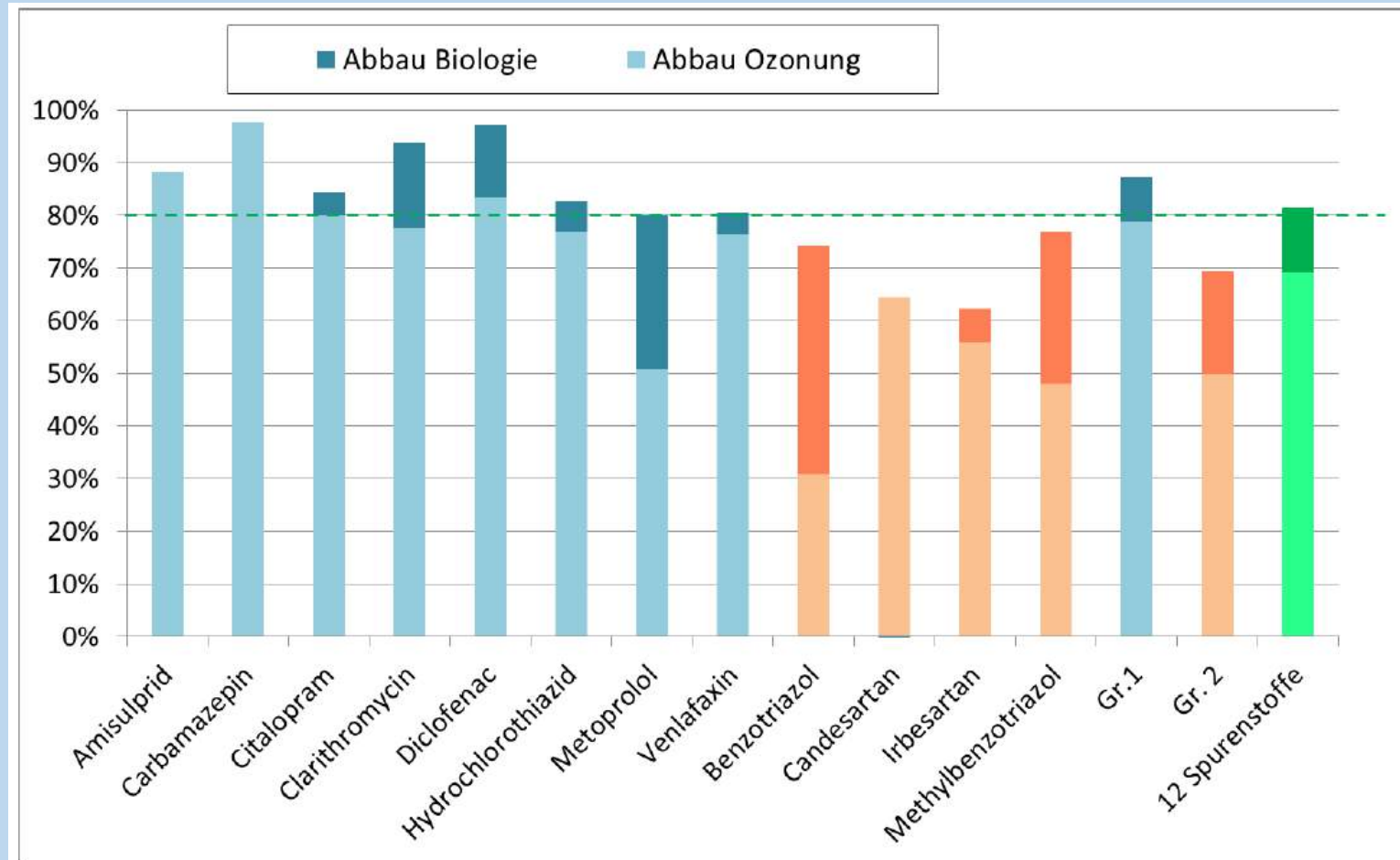
- Bevezetés előfeltétele: A telep felülvizsgálata → Az első 3 fokozatnak hatékonyan kell működnie, különben a 4. fokozat hatékonysága romlik vagy nő a vegyszerigény azonos eredmény eléréséhez. Oldott szerves szén és lebegőanyag mennyiségét minimalizálni kell.
- Negyedleges kezelési eljárások:
 - Aktív szenes szűrés (PAC, GAC)
 - Membránszűrés (Fordított ozmózis, Nanofiltráció)
 - Nagyhatékonyságú/Fejlett Oxidációs Eljárások (AOP)
 - **Ózonizálás**, fotolízis, fotokatalízis, ultrahangos, elektrokémiai, Fenton, aktivált perszulfát
 - Egyéb (természetközeli eljárások, elektron ágyú)

Ózonos kezelés implementálása

- >80%-os lebontási hatásfok 0,3 – 0,7 g O₃/g DOC adagolással
- HRT 10-14 perc (max. 30 perc)
- A bomlástermékek miatt szükséges homok vagy GAC szűrést alkalmazni



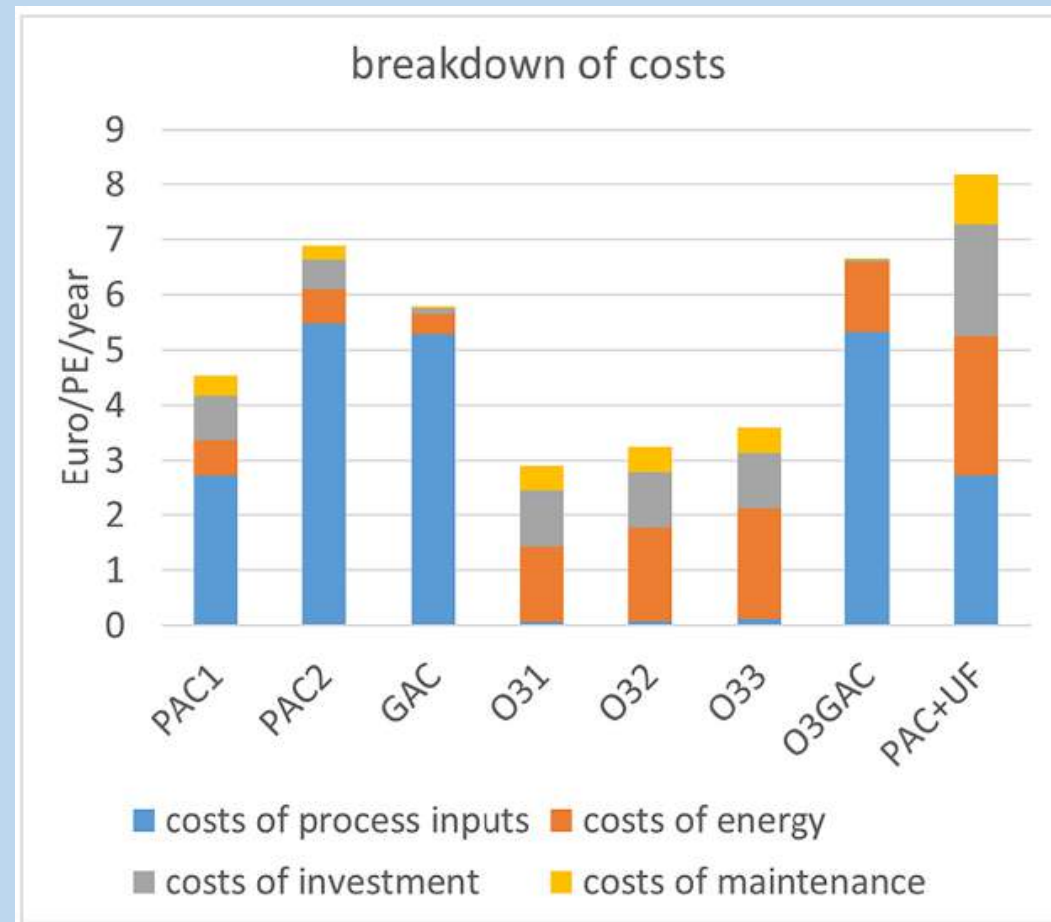
Mikroszennyezők eltávolításának hatékonysága



→ Required elimination performance achieved

Költségek

Electricity			
Ozonation 5 % of total demand		0.024 kWh/m ³ → 11.4 kWh/kgO ₃	
Total WWTP		0.48 kWh/m ³	
Waste water quantity 8 Mio. m ³ per year			
Costs			
(without consideration of subsidies)			
Amortisation, Maintenance		2.2 ct /m ³	} 5 €/PE year
• Investment costs 2.82 Mio €, 15 a; Interest 2 %			
Operating costs		1.2 ct/m ³	
• 95'000 € per year			
Share of operating costs			
10 ct/kWh	0.42 gO ₃ /gDOC	18 x year	
Electricity 20 %	Liquid Oxygen 40 %	Analytics 20 %	Staff 20 %

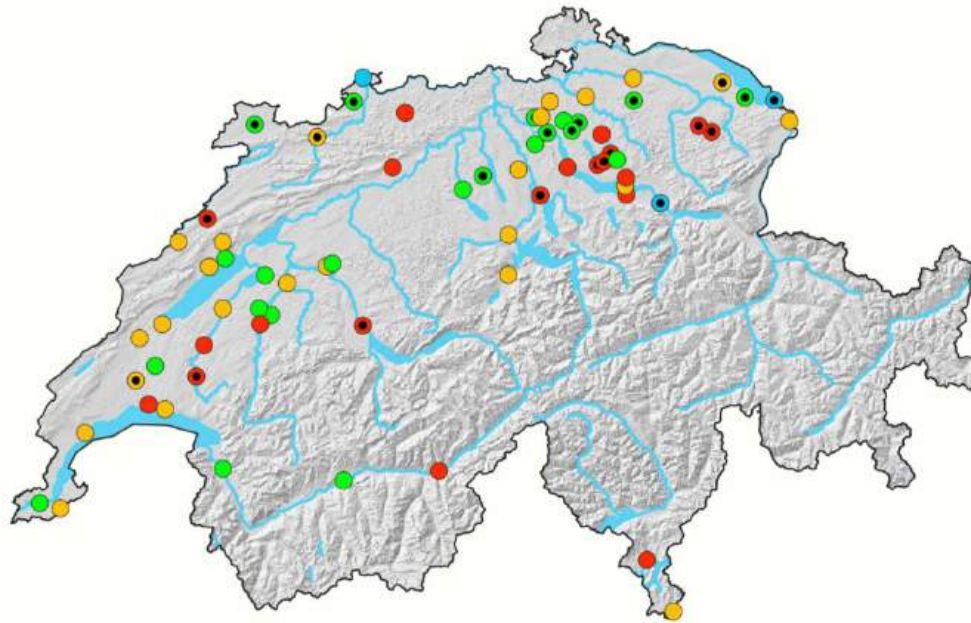


2025.04.03. ARA Neugut – Elizaveta Shilyaeva-tól kapott adatok
 (Részletes információ: <https://micropoll.ch/Mediathek/auswertung-der-energie-und-kostenkennzahlen-von-verfahren-zur-elimination-von-organischen-spurenstoffen-in-ara/>)

A. Pistocchi et al. Science of The Total Environment
 Volume 850, 1 December 2022, 157593

Ózonos szennyvíztisztító telepek (Svájc)

Stand November 2023



Verfahren, Stand

- Ozon In Betrieb
- Ozon Planung/Bau
- PAK In Betrieb
- PAK Planung/Bau
- GAK In Betrieb
- GAK Planung/Bau
- Kombi In Betrieb
- Kombi Planung/Bau

Quelle: Bundesamt für Landestopographie

ARA	Stand	Inbetriebnahme
Neugut	In Betrieb	2014
Reinach	In Betrieb	2016
Werdhölzli	In Betrieb	2018
Bassersdorf	In Betrieb	2018
Porrentruy	In Betrieb	2020
Morgental (+Hofen)	In Betrieb	2021
Furthof (Buchs ZH)	In Betrieb	2021
Lützelmutgtal (Aadorf)	In Betrieb	2022
Birsig	Planung/Bau	–
Kloten Opfikon	In Betrieb	2025

Ózonos szennyvíztisztító telepek (Európa)

PRESS RELEASE - Nijhuis Saur Industries completes the first full-scale ozone solution at a Dutch sewage treatment plant for micropollutants and medical residue removal

[Download Pressrelease](#)

Doetinchem, 07-06-2023

Severn Trent starts construction of UK's first operational ozone wastewater site

Tuesday 17th September 2024

- Többi: Németország (Duisburg Verlinden), Franciaország, Svédország
- **Magyarország:** Svájci - Magyar Együttműködési Program (Svájci Alap)
 - 1. szakasz: 40-60 WWTP állapotfelmérése → „Fehér Könyv” elkészítése
 - 2. szakasz: 2-3 WWTP-n a 4. fokozat megvalósítása → tervezési, üzemeltetési útmutatók

Ózonizálás: előnyök/hátrányok

Előnyök	Hátrányok
Más alkalmazásban elterjedt módszer	AOC és BDOC nő → biológiailag aktív szűrés szükséges
Alacsony költségek és energiafogyasztás	Biztonsági kérdések merülnek fel
Viszonylag kis helyigény	Optimális előtisztítás (pl. min. NO_2^-)
Erős oxidálószer, rengeteg szerves vegyület képes lebontani	Magas Br^- koncentráció esetén BrO_3^- képződés
Sok patogént képes elpusztítani (fertőtlenítés helyét is átveheti)	Potenciális veszélyes bomlástermékek pl. aldehidek, nitrózaminok
Antibiotikum rezisztencia elleni küzdelem	Nem gazdaságos magas SS, BOI, KOI, TOC vizekben való alkalmazása
Ökológiai szempont: kémiaiilag alakítja át a molekulákat (egyszerűsödő molekulák)	
„Vegyszermentes” (O_2 -re bomlik)	
Ártalmatlan bomlástermékek	

Egyéb felhasználási területek

- Városi vízkezelés: Biztosítja a közösségek biztonságos ivóvízellátását.
- Ipari szennyvízkezelés: A gyártási és vegyi folyamatokból származó összetett szennyező anyagok eltávolítása.
- Felszín alatti vizek remediációja: Szennyezett talajvíz kezelése a szennyező anyagok lebontásával.
- Szürkevíz újrahasznosítása: A szennyvíz újra felhasználhatóvá tétele nem ivóvíz céljára, például öntözésre.
- Úszómedence: fertőtlenítés
- Élelmiszer- és italgyártás: Biztosítja, hogy a gyártáshoz használt víz megfeleljen a magas biztonsági és minőségi előírásoknak.

Egyéb alkalmazások

- Íztelenítés¹
- Szagtalanítás¹
- Fertőtlenítés²
- Szerves vegyületek lebontása pl. cianid³
- Fémek (Fe¹, Mn¹, As⁴) eltávolítása
- Elszíntelenítés⁵
- KOI csökkentés⁵
- TOC csökkentés⁵
- Toxicitás csökkentése⁶

¹Tarek Manasfi *Comprehensive Analytical Chemistry Volume 92, 2021, Pages 85-116.*

²EPA 832-F-99-063 September 1999.

³The European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection Vol.3, No.3, 1303-0868, 2003, pp. 316-323.

⁴EPA 542-R-02-004. June 2002.

⁵A. Abidin et. al. *ScienceAsia* 41 (2015): 49–54.

⁶K. Paździor et. al. *Journal of Environmental Management Volume 195, Part 2, 15 June 2017, Pages 166-173*

Összefoglalás

- Az ózon erős oxidálószer, nagyon hatékony kommunális és ipari szennyvizek kezelésére, talajvizek kármentesítésére.
- Az ózon hatékonyságát sok körülmény befolyásolja (T, pH, p, vízkeménység, SS, KOI, BOI, TOC)
- A szennyvíz minőségétől függően előkezelés lehet szükséges
- Az ózonizálás teljesítménye tovább javítható kombinált módszerekkel

2023-1.1.1-PIACI_FÓKUSZ-2024-00017

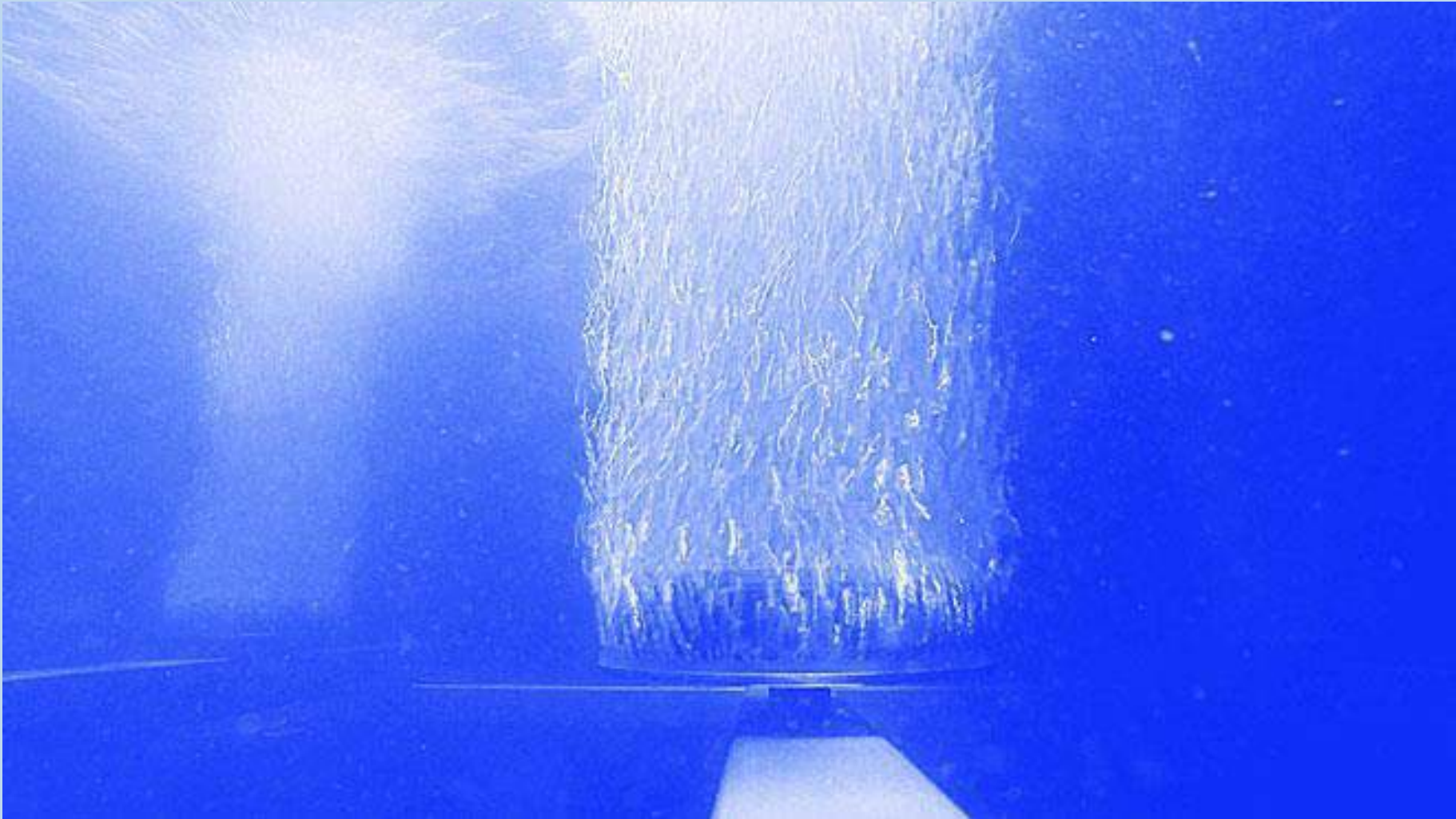
Ipari méretű ózont felhasználó technológia és szolgáltatás fejlesztése szennyvíztisztításra projekt




NEMZETI KUTATÁSI, FEJLESZTÉSI
ÉS INNOVÁCIÓS HIVATAL

AZ NKFI ALAPBÓL
MEGVALÓSULÓ
PROJEKT

Köszönöm a figyelmet!



2025.04.03. ARA Neugut – Elizaveta Shilyaeva-tól kapott anyagból
(Elérhető: <https://micropoll.ch/Mediathek/abklaerungen-verfahrenseignung-ozonung-empfehlung/>)