

# Bakteriális növekedés és fertőtlenítési melléktermék eltávolítása az uszodavíz kezelésben alkalmazott granulált aktív szén szűrőkben

W. Uhl<sup>(1)</sup>, C. Hartmann<sup>(2)</sup>, B. Kreckel<sup>(2)</sup>

- (1) corresponding author: Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Uhl, Technische Universität Dresden, Institute for Urban Water Management; Water Supply Engineering Group; 01062 Dresden, Germany; email: wolfgang.uhl@mailbox.tu-dresden.de
- (2) University of Duisburg-Essen, Institute for Energy- and Environmental Process Engineering (EUT), Water Technology Department, Bismarckstr. 90, D-47048 Duisburg, Germany

**Összefoglaló** Általánosan elfogadott tény, hogy a medencés fürdőkben szabad klórra van szükség a megfelelő fertőtlenítés biztosításához. A javasolt szabad klór koncentráció Németországban 0,3 és 0,6 mg/L között változik, más országban elérheti a 3 mg/L-t. A fürdőzők jelentős mennyiségű szervesanyagot visznek be a medencevízbe, főleg vizelet és izzadság formájában. Ennek eredménye a fertőtlenítési melléktermékek (DBP) keletkezése. A német szabályozás kötött klórra 0,2 mg/L, trihalometánokra (THM) 20 µg/L határértéket ír elő. Jelentős mennyiségben detektáltak még haloecetsavakat (HAA), haloacetonitrileket (HAN), kloropikrint, és klorálhidrátot. Ezekre a vegyületekre azonban jelenleg nincs szabályozás. Az uszodák személyzete és az úszók, különösen a sportolók vannak elsősorban kitéve belégzéssel és bőrön át a melléktermékek hatásának.

Németországban az új uszodavíz kezelési szabályozás általában előírja aktív szén-szűrő használatát. A tanmányban három különböző granulált aktív szén (GAC) (egy normál és két katalitikus) típus hosszútávú uszodavíz kezelési hatékonyságát hasonlítottunk össze. Valódi uszodavízzel működtetett modellrendszerben vizsgáltuk a fertőtlenítési melléktermékek (THM, HAA, AOX) és lebontható szervesanyagok (AOC) keletkezését és eltávolítását, a bakteriális csíraszám változását (*Ps. aeruginosa*, *Legionella*, coliform, heterotrof összesíraszám), valamint a klór és a klóramin eltávolítást a granulált aktív szén szűrő rétegvastagság függvényében.

A kötött klór mélyebben behatol a szűrőágyba, mint a szabad klór. A szűrő működése során azonban idővel mind a szabad, mind a kötött klór eltávolításának határfoka csökken. Az eltávolítási hatékonyság csökkenése más paraméterekkel is megfigyelhető, mint az oldott szerves szén, az adszorbeálható szerves szén, és a legtöbb fertőtlenítési melléktermék koncentrációja, és a spektrális adszorpciós együttható. Egyes trihalometánok, elsősorban a kloroform, a szűrőágyban is keletkezhetnek.

A granulált aktív szén szűrőágyakban mikrobiális szennyezés, elsősorban *Ps. aeruginosa* volt. A szennyezést klóros visszamosással (2 mg/L szabad klór) nem lehetett eltávolítani.

**Kulcsszó** uszodavíz kezelés, mikrobiális szennyezés, fertőtlenítési melléktermékek, GAC

## Bevezetés és célkitűzés

Németországban az új uszodavíz kezelési előírások léptek életbe 1997 és 2000 között [1, 2], az uszodai személyzet és az úszók egészségének megóvása érdekében. Négy kezelési kombinációt engedélyeznek. Valamennyiben szerepel porított vagy granulált aktív szén (PAC vagy GAC). A megnövelt katalitikus aktivitású aktív szén különösen érdekes, mivel a gyártók (GAC) szerint megnöveli a vízkezelés hatékonyságát, különösen a kötött klór és a fertőtlenítési melléktermékek eltávolítása terén.

A granulált aktív szén szűrőágy általában eltávolítja a szerves és szervetlen szennyezőket, mint a szabad klór [3], a kötött klór [4], az asszimilálható szerves szén (AOC), a trihalometán vegyületek (THM) és a haloecetsavak (HAA). Az aktív szén eltávolítási határfoka az idővel csökken [4, 5]. A medencevíz kezelésben nem ismert, hogy az adszorpciós képesség és a

katalitikus aktivitás mikor merül ki, és mikor szükséges a GAC töltet cseréje vagy regenerációja. A szénfelszín általában a jó környezet a mikrobiális növekedéshez [6, 7]. Mivel a klór a szén felszínén lebomlik, nem ismeretes, hogy a szűrőn növekedő mikroorganizmusok milyen mértékben távolíthatóak el klóros vizes visszamosással, mivel klór nélkül visszamosva gyakorlatilag nem távolíthatóak el [8].

A kutatás elsődleges célja a szűrőágyban lejátszódó kémiai és mikrobiológiai folyamatok leírása volt. Ezek közül a katalitikus transzformációknak van elsődleges jelentőségük. Az adszorpció, a katalitikus konverzió, a mikrobiális növekedés mértékének, és a szűrő üzemidejének ismeretében minden granulált aktív szén típusra meghatározható, hogy használata gazdaságilag mennyire megfelelő. Az uszodavíz kezelési üzletág képviselőinek javaslatokat fogunk tenni. A projekt további jövőbeli célja egy olyan gyakorlati stratégia kidolgozása klóros vizes visszamosásra, ami megakadályozza a fakultatív patogének növekedését a szűrőn.

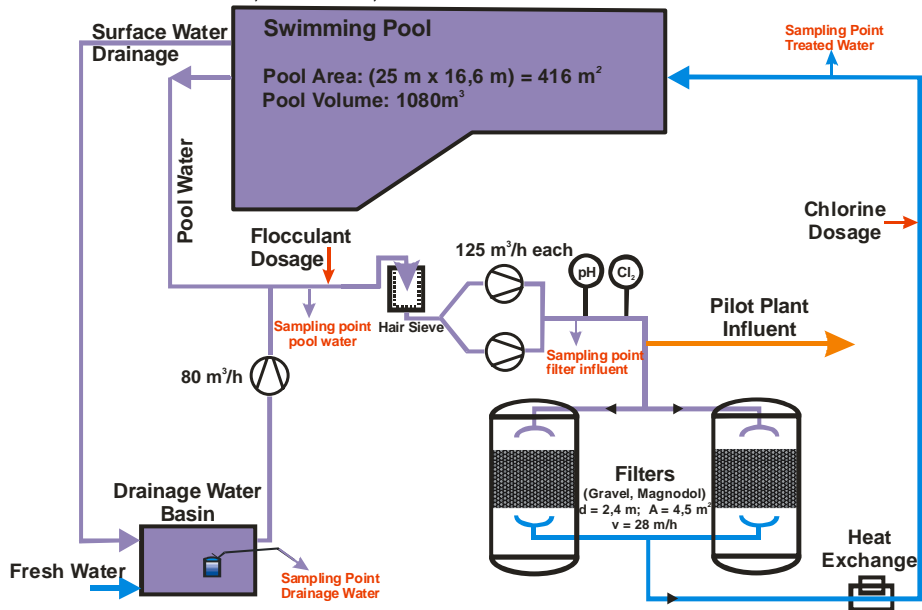
## Modell berendezés

A modell berendezés három szűrővel (20 cm átmérő, 90-100 cm szűrőágy mélység) üzemel. A szűrők közvetlenül egy nyilvános uszoda vízkezelő berendezésénél vannak. A teljes méretű szűrőkkel párhuzamosan helyezkednek el, és folyamatosan működnek (1. ábra). A modell berendezés befolyója tehát a forgatott víz és a túlfolyókból származó víz keveréke. A szűrés előtt flokkuláló szert adnak hozzá. A modell berendezés elfolyója klórozás után a kiegyenlítő tartályba kerül.

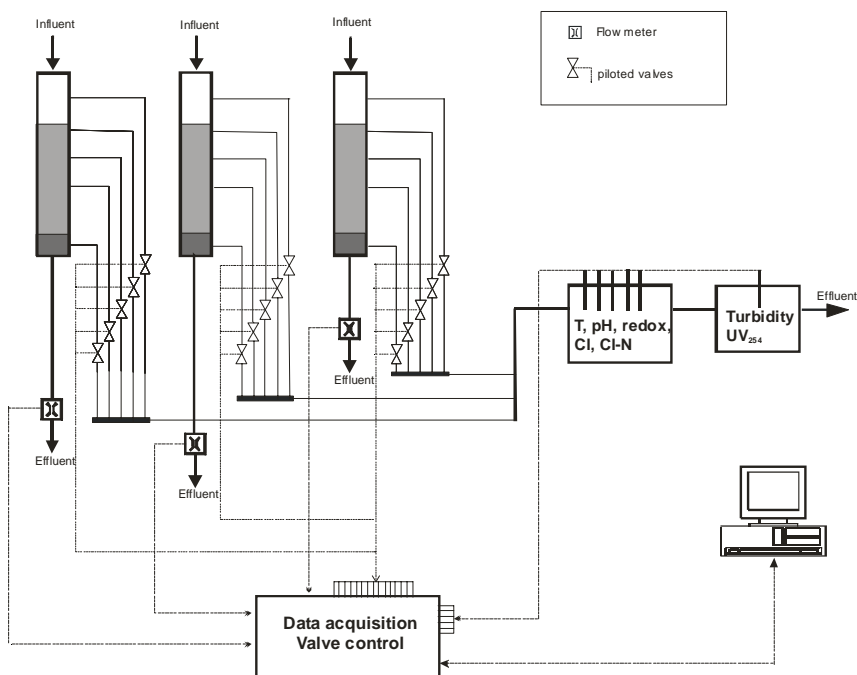
Három aktívszén típust hasonlítottunk össze a tanulmányban: egy alacsony aktivitású (A típus) és két megnövelt katalitikus aktivitású aktív szenet (B és C típus). A kísérleteket három modell méretű szűrőn (20 cm átmérőjű, 90-100 cm mély) végeztük.

Minden szűrőnek 8 mintavevő nyílása van a szűrőágyon, egyenletesen elosztva, valamint két nyílás a szűrőágy felett. A két felső nyílás és négy a szűrőágyon levők közül automata szeleppel van ellátva online vizsgálatokhoz (2. ábra). A többi mintavevő nyílás offline mintavételezésre alkalmas. A szűrőket a szabványos eljárás szerint hetente egyszer mossák vissza.

Az online műszerekkel az alábbi paraméterek vizsgálhatóak a szűrőágyban: hőmérséklet, pH, redox potenciál, szabad és kötött klór, zavarosság és UV elnyelés. Emellett offline vizsgálják a fertőtlenítési melléktermékeket, az oldott szerves szént, az UV elnyelést, a *Pseudomonas aeruginosa*, *E. coli*, *Legionella pneumophila* csíraszámot és a heterotróf összcsíraszámot.



1. ábra: Az uszodavíz kezelő berendezés sematikus rajza, a modell berendezés helye a vízkezelés folyamatában.



2. ábra: A modell berendezés, az online vizsgálatok és az adatgyűjtés sematikus rajza.

A befolyó víz minősége nagyon változó volt az eredeti vízkezelő berendezés klórozási problémái miatt. Az online vizsgálatok átlag-, minimum és maximum értékeit az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat: A befolyó víz minősége (minimum, átlag (+/- konfidencia intervallum; 95%), maximum, a vizsgálatok száma)

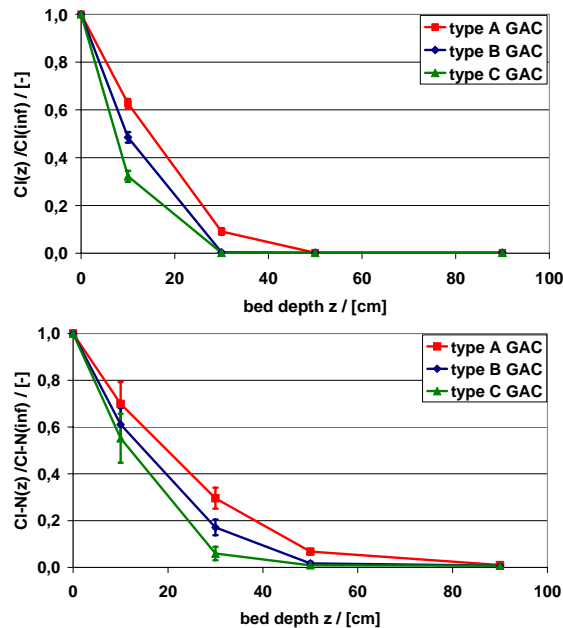
	Min.	- Konf.Int. (95 %)	Átlag	+ Konf.Int. (95 %)	Max.	Mintaszám
pH	6,89	7,36	7,39	7,43	7,89	486
Redox potenciál/ [mV]	330	725	732	739	821	486
Klór / [ppm]	0	0,48	0,50	0,53	> 1,0	484
Kötött klór / [ppm]	0,001	0,25	0,28	0,31	> 1,0	401
Turbidity / [FNU]	0,01	0,088	0,094	0,100	0,349	263
UV <sub>254</sub> / [m <sup>-1</sup> ]	2,347	2,768	2,805	2,842	3,195	250
Hőmérséklet / [°C]	28,02	30,11	30,25	30,40	32,11	487

## Eredmények és értékelés

### Szabad és kötött klór

A szabad klórt a szűrők viszonylag gyorsan eltávolítják. A C típusú filterben nagyobb az eltávolítás sebessége, mint a másik kettőben (3. ábra).

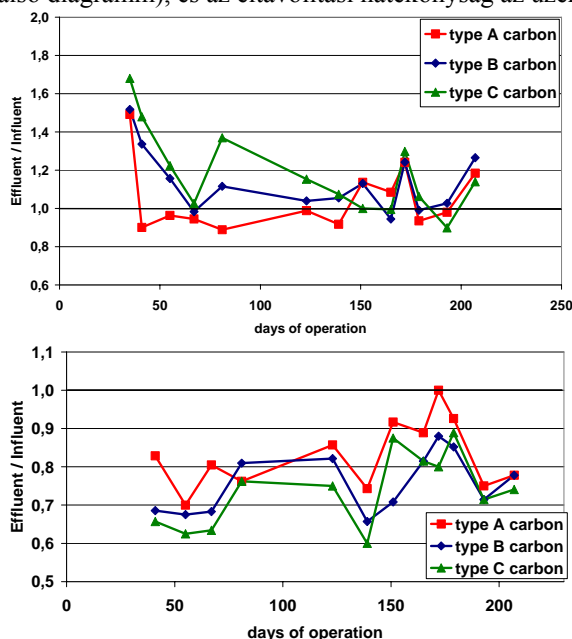
A szűrők teljesítménye az üzemelés 4. hónapjában kezdett romlani, az 5. hónapban a folyamat már egyértelműen felismerhető volt (nincs az ábrán). A kötött klór eltávolítása lassabb, mint a szabad klóré (3. ábra). Ismét a C típusú szén teljesítménye bizonyult a legjobbnak. A kötött klór eltávolítás hatékonysága ugyancsak csökken az üzemidővel arányosan



3. ábra A szabad (felső ábra) és kötött klór (also ábra) relative koncentrációja (átlagos értékek) a szűrőágy mélységének függvényében az 5. és a 3. mintavételi időpontban (körülbelül 5 ill. 3 hónap üzemelés után).

### A fertőtlenítési melléktermékek és az adszorbeálható szerves halidok

Érdekes módon trihalometánok a szűrőágyban is keletkeznek, különösen a megnövelt katalitikus aktivitású szűrők (B és C típusú aktív szén) esetében (4. ábra, felső diagramm). Ennek a hatásnak a kloroform a legfontosabb komponense. A haloecetsavakat mindhárom filter eltávolítja (ábrán nem szerepel). Az eltávolítás határfoka az A típusú granulált aktív szénrel töltött szűrőkön a legkisebb. A szűrési teljesítmény az idővel valamennyi szűrőtípusnál csökken. Az adszorbeálható szerves szénvegyületeket is valamennyi szűrő eltávolítja (4. ábra, alsó diagramm), és az eltávolítási hatékonyság az üzemidővel csökken.



4. ábra. A trihalometánok (felső ábra) és az adszorbeálható szerves szénvegyületek relative koncentrációja az üzemidő függvényében.

### Az asszimilálható szerves szén és a mikrobiológiai paraméterek

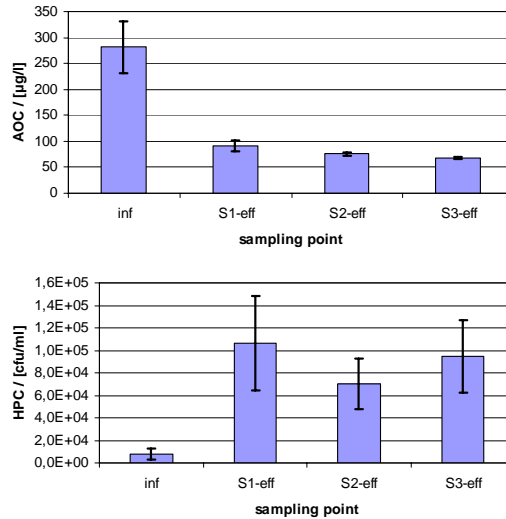
Az asszimilálható szerves szén (AOC) az oldott szerves széntartalomnak azon része, amely biomasszává alakítható. Amint az 5. ábrán látható, az átlagos AOC tartalom mindhárom szűrőn körülbelül ugyanarra az értékre csökken. A heterotrof összcsíraszám értéke ezzel szemben a vártnak megfelelően ötvenszeresére növekedett.

*Legionella*-t eddig a befolyó vízben soha nem észleltek. Az üzemelés első 3 hónapjában ugyanez volt elmondható a B és C típusú megnövelt katalitikus aktivitású szűrők elfolyó vizéről. Ezt követően az elfolyó víz csíraszám nagy volt, általában több mint 200 cfu/ml. Az A típusú aktív szén elfolyójában *Legionella* csak kétszer volt kimutatható. A csíraszám mindkét esetben nagyobb volt, mint 1000 cfu/ml.

*Ps. aeruginosa*-t a 16 mintavétel közül kettőnél észleltek a befolyó vízben, a csíraszám 11 és 24 cfu/ml volt. A B és C típusú katalitikus aktív szén szűrők elfolyójában *Ps. aeruginosa* a kísérlet kezdetétől 8 hétig volt kimutatható. A csíraszám esetenként elérte a 200 cfu/ml-t. A *Ps. aeruginosa* csíraszám csökkenése az A típusú szén esetében sokkal hosszabb időt vett igénybe, 6 hónap után csökkent 10 cfu/ml alá.

### Visszamosás klóros vízzel

A granulált aktív szén *Ps. aeruginosa* szennyezését klóros vizes visszamosással kíséreltük meg eltávolítani 1,0 és 2,0 mg/l klórkoncentráció mellett. Amikor a visszamosó víz 2,0 mg/l klórt tartalmazott, a klór körülbelül a szűrőágy kétharmadát hatolt be. Az eredmények szerint azonban a klóros visszamosás ilyen koncentráció mellett nem képes a mikrobiális szennyezés eltávolítására.



5. ábra Asszimilálható szerves szénvegyületek koncentrációja (felső ábra) és a heterotrof összcsíraszám (alsó ábra) a befolyó vízben és a három szűrő elfolyójában (átlag érték és a 67 %-os konfidenciaintervallum; 5 mintavétel alapján).

### Irodalomjegyzék

- [1] G. Gansloser; U. Hässelbarth; W. Roeske, 1999. Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser. Kommentar zu DIN 19643. In: Deutsches Institut für Normung e. V. DIN, Beuth, Berlin.
- [2] Anonymus, 1999. Entwurf zur DIN 19643-5. Aufbereitung von Schwimm- und Badebeckenwasser. Teil 5: Verfahrenskombination: Flockung - Filtration - Adsorption an Aktivkohle - Chlorung. In: DIN Deutsches Institut für Normung e. V.,
- [3] V.L. Snoeyink; R.R. Clark; J.J. McCreary; W.F. McHie, 1981. Organic compounds produced by the aqueous free-chlorine-activated carbon reaction. *Environ. Sci. Technol.*, 15:188-.
- [4] F.F. Becker; D. Stetter; U. Janowsky; H. Overath, 1990. Abbau von Monochloraminen durch Aktivkohlefilter. *gwf Wasser/Abwasser*, 131:1:1-8.
- [5] W.-J. Huang; H.-H. Yeh, 1999. Reaction of chlorine with NOM adsorbed on powdered activated carbon. *Water Res.*, 33:1:65-72.
- [6] W. Uhl, 2000. Einfluss von Schüttungsmaterial und Prozessparametern auf die Leistung von Bioreaktoren bei der Trinkwasseraufbereitung. In: IWW Rheinisch-Westfälisches Institut für Wasserforschung, *Dissertationen aus dem IWW - Berichte aus dem IWW*, Mülheim/Ruhr.
- [7] W. Uhl, 2000. Simultane biotische und abiotische Prozesse in Aktivkohlefiltern der Trinkwasseraufbereitung. In: *Sorptionenverfahren der Wasser- und Abwasserreinigung - Schriftenreihe des SFB 193 (Biologische Behandlung industrieller und gewerblicher Abwässer) der TU Berlin*, TU Berlin - Universitätsbibliothek, Berlin.
- [8] R. Ahmad; A. Amirtharajah; A. Al-Shawwa; P.M. Huck, 1994. Optimum backwashing strategies for biological filters. In: Am. Water Works Ass., *Proc. 1994 AWWA Water Qual. Technol. Conf.*, AWWA, Denver.