

# Ozon-Biofiltrationsprozesse in Deutschland und Norwegen

Die Entfärbung von Wasser mittels Ozon-Biofiltration im Rahmen der Aufbereitung von Wasser zu Trinkwasser, gilt als zukunftsweisende Aufbereitungstechnik, insbesondere vor dem Hintergrund der klimatisch bedingten Auswirkungen bzw. Veränderungen der Zusammensetzung der jeweiligen Rohwässer. Im Wasser gelöste, biologisch schwer abbaubare organische Kohlenstoffverbindungen verursachen in zunehmendem Maße gelblich-grüne oder gelblich-braune Verfärbungen, welche analytisch als Summenparameter zusammengefasst werden (TOC/DOC). Durch eine modifizierte Verfahrenstechnik auf Basis der Ozon-Biofiltration kann Wasser effektiv entfärbt und zu geschmacklich gutem Trinkwasser aufbereitet werden.

## TOC und DOC: Kohlenstoff im Wasser

Der gesamte organische Kohlenstoff in einem Wasser wird im Summenparameter TOC (Total Organic Carbon) angegeben. Der DOC-Wert (Dissolved Organic Carbon) ist ebenfalls ein Summenparameter, der den gesamten gelösten organischen Kohlenstoff umfasst. Zur Bestimmung des DOC wird die Probe über einen definierten Membranfilter mit 450 nm Trenngrenze filtriert. Dadurch werden die ungelösten von den gelösten Substanzen getrennt. Einige DOC-Moleküle haben eine definierte chemische Struktur und können analytisch leicht erfasst werden, wie z. B. Aldehyde, Keton-

säuren und Carboxylsäuren. Der größere Teil ist aber nicht einfach bestimmbar und wird unter dem Begriff Huminsäuren oder Huminstoffen zusammengefasst. Die Färbung wird durch die chromophoren Strukturen der größeren DOC-Anteile aus pflanzlichen Zersetzungsprozessen verursacht, welche einen Teil des eindringenden Lichtspektrums absorbieren und damit die visuell wahrnehmbare Farbe beeinflussen. Zu beachten ist hierbei, dass die Färbung nicht zwingend mit dem DOC korreliert! **Bild 1** zeigt eine typische Rohwasserquelle in Norwegen, alles um den See anfallende Wasser wird im See gespeichert, was die Huminstoffgehalte erklärt.

Quelle: HydroGroup® / Hydro-Elektrik GmbH



**Bild 1:** Typische Rohwasserquelle in den norwegischen Bergen

Typische DOC-Gehalte in Grundwasser können bis zu 6 mg/l betragen, in Oberflächenwässern noch deutlich mehr. Zur Trinkwasserversorgung sollte Wasser mit hohen DOC-Gehalten ohne Wasseraufbereitung nicht verwendet werden.

Auch vermeintlich stabile Wässer können nämlich nach einer oxidativen Wasserbehandlung (z. B. Dosierung von Desinfektionsmitteln) plötzlich zu einer starken Verkeimung neigen. Neben möglichem Keimwachstum im Netz durch bioverfügbaren Kohlenstoff (AOC = Assimilable Organic Carbon) ist aber auch die Bildung unerwünschter Reaktionsnebenprodukte wie Trihalogenmethanen (THM) im Zusammenhang mit der Verwendung chlorhaltiger Desinfektionsmittel zu beachten.

Die Rohwasserentnahme erfolgt in der Regel nicht an der Oberfläche, sondern durch abgesenkte Entnahmeleitungen mit Einlaufsieben aus 25 bis 45 m Tiefe, welche in einem Entnahmebauwerk (**Bild 2**) münden. Mittels Tauchmotorpumpen wird das Rohwasser den Aufbereitungsstationen zugeführt. Je nach Rohwasserqualität müssen mechanische, selbstspülende Vorfilter zur Feststoffabtrennung oder zur Rückhaltung von Wasserkleinstlebewesen, Fischen oder Krebsen nachgeschaltet werden.

### Ozon-Biofiltration

Ein erprobtes und an den Vorgängen in der Natur angelehntes Verfahren zur Aufbereitung huminstoffhaltiger Oberflächenwässer stellt die Ozon-Biofiltration dar. Unter der Einwirkung von Ozon als starkem Oxidationsmittel werden die organischen Kohlenstoffverbindungen mit hohem Molekulargewicht in kurzer Zeit gespalten und die Konzentrationen der Verbindungen mit niedrigem Molekulargewicht erhöht. Die Oxidation erfolgt durch atomaren Sauerstoff, der beim Ozonzerfall entsteht. Durch diesen – in der Natur sehr viel langsamer ablaufenden Vorgang – werden die Anteile der bioverfügbaren Stoffe (BDOC) erhöht und die farbgebenden Substanzen – eine genügende Ozondosis vorausgesetzt – nahezu vollständig zerstört. Bei den bioverfügbaren Anteilen wird wiederum unterschieden zwischen langsam abbaubaren Stoffen (SBDOC) und schnell abbaubaren Stoffen (RBDOC).

Die beschriebene Umwandlung des DOC in bioverfügbare Substanzen erklärt auch, warum einer Ozonungsstufe immer ein biologisch optimierter Reaktor folgen muss. Dies ist in der Regel eine abwärts durchströmte Filterstufe, die gezielt als Bioreaktor aufgebaut ist und in der die Reduktion des Nährstoffangebotes als Mineralisierung durch Mikroorganismen auf natürliche Weise erfolgt. Die Zone mit der höchsten biologischen Aktivität ist im oberen Filterbett, da dort das höchste Nährstoffangebot mit schnell abbaubaren Substanzen (RBDOC) vorliegt.

### Filteraufbau

Der Filter in einer Ozon-Biofiltrationsanlage hat mehrere Aufgaben zu erfüllen (**Bild 3**). Neben dem Abbau von Restozon im Wasser – einer Voraussetzung für biologische Aktivität – und dem Rückhalt von Trübstoffen und oxidierten Stoffen wie z. B. Eisen und Mangan, muss der Filter ein guter Bioreaktor sein. Prinzipiell erfolgt eine biologische Besiedlung auf nahezu allen Filtermaterialien. Die Temperatur des aufzubereitenden Wassers hat nur einen geringen Einfluss auf die Bioaktivität bzw. die Abbauraten in Bezug auf DOC,



(Quelle: HydroGroup® / Hydro-Elektrik GmbH)

**Bild 2:** Rohwasserpumpstation Furusjøen, Norwegen

die bis zu mehr als 30 % des Rohwasserwertes betragen kann. Die Filtergeschwindigkeit sollte zwischen 5 und 8 m/h liegen. Damit ergeben sich erforderliche Verweilzeiten in der biologisch aktiven Schicht von bis zu 25 Minuten.

### Ozonung und Filtration

Bei der Bestimmung der erforderlichen Ozondosis muss sowohl der DOC als auch die Färbung (als SAK in  $m^{-1}$  oder nach Hazen als  $mg/l Pt$ ) berücksichtigt werden. Je nach Verhältnis DOC/Färbung sind Ozondosen zwischen 0,8 und 2,5  $mg O_3/mg DOC$  erforderlich. Um auch zukünftigen Entwicklungen bzw. Rohwasseränderungen gerecht zu werden, sollte generell eine gewisse Reserve eingeplant werden. Ozon wird heutzutage in modernen Ozonerzeugern in hoher Konzentration (10 – 20 % (wt)) unter



(Quelle: HydroGroup® / Hydro-Elektrik GmbH)

**Bild 3:** Biofilter in Furusjøen vannverk

Quelle: HydroGroup® / Hydro-Elektrik GmbH



**Bild 4:** Ozonemischung

Verwendung von Sauerstoff erzeugt. Es versteht sich von selbst, dass bei hohen Dosen einer hervorragenden feinblasigen Einmischung des gasförmigen Ozons mit dem flüssigen Wasser eine zentrale Bedeutung zukommt. Besonders bewährt haben sich hierzu Venturi-/Injektorkombinationen (**Bild 4**), bei denen der gesamte Wasserstrom mit hochkonzentriertem Ozon/Luftgemisch behandelt wird. Füllkörperkolonnen sind bei dieser Art der Einmischung nicht mehr erforderlich. Im Kontaktor erfolgt die intensive Einmischung und im nachfolgenden Reaktionsbehälter erfolgt die Reaktion mit den langsam oxidierenden Wasserinhaltsstoffen. Die farbgebenden Stoffe sind bereits kurz nach der Erstreaktion zerstört. Ebenso spontan finden die chemischen Reaktionen mit metallischen Wasserinhaltsstoffen wie Eisen, Mangan und Arsen statt. Eine Oxidation in diesem Zusammenhang ist eine Reaktion, bei der Elektronen abgegeben werden. Oxidationsprodukte sind z. B. Eisenoxidhydrat, Braunerstein oder Arsenat. Als Desinfektion gelten dagegen Maßnahmen zur Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern. Aufgrund der langen Verweilzeiten in den Reaktionsbehältern und der hohen Ozondosen ist eine gut dimensionierte Ozon-Biofiltrationsanlage – trotz hohem Ozonverbrauch – stets auch eine sichere Barriere unter dem Gesichtspunkt des Multibarrierenprinzips. Ozon ist auf der §11-Liste der TrinkwVO (UBA) als zulässiger Aufbereitungsstoff und die Ozonung als zulässiges Verfahren zur Oxidation und Desinfektion gelistet. Biologisch aktive Filter sollten nur mit Wasser gespült werden. Anzusetzende Spülwassermengen bewegen sich – je nach Filteraufbau – zwischen 35 und 45 m<sup>3</sup>/h. Der Spülwasserbedarf liegt bei rund 5 bis 6 m<sup>3</sup> pro m<sup>2</sup> Filterfläche. Nach der Filterspülung muss das Erstfiltrat in der Menge eines Filtervolumens abgeleitet werden. Die Filterlaufzeiten sind den jeweiligen Rohwasser-Verhältnissen anzupassen. Weniger als 1,5 % von der aufbereiteten Wassermenge muss für die Filterspülung angesetzt werden. Ozon-Biofiltrationsanlagen können problemlos rund um die Uhr und mit wechselndem Durchsatz betrieben werden.

schung nicht mehr erforderlich. Im Kontaktor erfolgt die intensive Einmischung und im nachfolgenden Reaktionsbehälter erfolgt die Reaktion mit den langsam oxidierenden Wasserinhaltsstoffen. Die farbgebenden Stoffe sind bereits kurz nach der Erstreaktion zerstört. Ebenso spontan finden die chemischen Reaktionen mit metallischen Wasserinhaltsstoffen wie Eisen, Mangan und Arsen statt. Eine Oxidation in diesem Zusammenhang ist eine Reaktion, bei der Elektronen abgegeben werden. Oxidationsprodukte sind z. B. Eisenoxidhydrat, Braunerstein oder Arsenat. Als Desinfektion gelten dagegen Maßnahmen zur Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern. Aufgrund der langen Verweilzeiten in den Reaktionsbehältern und der hohen Ozondosen ist eine gut dimensionierte Ozon-Biofiltrationsanlage – trotz hohem Ozonverbrauch – stets auch eine sichere Barriere unter dem Gesichtspunkt des Multibarrierenprinzips. Ozon ist auf der §11-Liste der TrinkwVO (UBA) als zulässiger Aufbereitungsstoff und die Ozonung als zulässiges Verfahren zur Oxidation und Desinfektion gelistet. Biologisch aktive Filter sollten nur mit Wasser gespült werden. Anzusetzende Spülwassermengen bewegen sich – je nach Filteraufbau – zwischen 35 und 45 m<sup>3</sup>/h. Der Spülwasserbedarf liegt bei rund 5 bis 6 m<sup>3</sup> pro m<sup>2</sup> Filterfläche. Nach der Filterspülung muss das Erstfiltrat in der Menge eines Filtervolumens abgeleitet werden. Die Filterlaufzeiten sind den jeweiligen Rohwasser-Verhältnissen anzupassen. Weniger als 1,5 % von der aufbereiteten Wassermenge muss für die Filterspülung angesetzt werden. Ozon-Biofiltrationsanlagen können problemlos rund um die Uhr und mit wechselndem Durchsatz betrieben werden.

Als Desinfektion gelten dagegen Maßnahmen zur Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern. Aufgrund der langen Verweilzeiten in den Reaktionsbehältern und der hohen Ozondosen ist eine gut dimensionierte Ozon-Biofiltrationsanlage – trotz hohem Ozonverbrauch – stets auch eine sichere Barriere unter dem Gesichtspunkt des Multibarrierenprinzips. Ozon ist auf der §11-Liste der TrinkwVO (UBA) als zulässiger Aufbereitungsstoff und die Ozonung als zulässiges Verfahren zur Oxidation und Desinfektion gelistet. Biologisch aktive Filter sollten nur mit Wasser gespült werden. Anzusetzende Spülwassermengen bewegen sich – je nach Filteraufbau – zwischen 35 und 45 m<sup>3</sup>/h. Der Spülwasserbedarf liegt bei rund 5 bis 6 m<sup>3</sup> pro m<sup>2</sup> Filterfläche. Nach der Filterspülung muss das Erstfiltrat in der Menge eines Filtervolumens abgeleitet werden. Die Filterlaufzeiten sind den jeweiligen Rohwasser-Verhältnissen anzupassen. Weniger als 1,5 % von der aufbereiteten Wassermenge muss für die Filterspülung angesetzt werden. Ozon-Biofiltrationsanlagen können problemlos rund um die Uhr und mit wechselndem Durchsatz betrieben werden.

Biologisch aktive Filter sollten nur mit Wasser gespült werden. Anzusetzende Spülwassermengen bewegen sich – je nach Filteraufbau – zwischen 35 und 45 m<sup>3</sup>/h. Der Spülwasserbedarf liegt bei rund 5 bis 6 m<sup>3</sup> pro m<sup>2</sup> Filterfläche. Nach der Filterspülung muss das Erstfiltrat in der Menge eines Filtervolumens abgeleitet werden. Die Filterlaufzeiten sind den jeweiligen Rohwasser-Verhältnissen anzupassen. Weniger als 1,5 % von der aufbereiteten Wassermenge muss für die Filterspülung angesetzt werden. Ozon-Biofiltrationsanlagen können problemlos rund um die Uhr und mit wechselndem Durchsatz betrieben werden.

### Sauerstoff zur Wasseraufbereitung

Sauerstoff ist das wichtigste Oxidationsmittel im Rahmen der Wasseraufbereitung und ebenfalls in der §11-Liste zugelassen. Zudem ist Sauerstoff das notwendige Einsatzgas (Feedgas) für die Ozonerzeugung. Technischer Sauerstoff kann mittels Sauerstoffgeneratoren im Druckwechselverfahren (PSA – Pressure Swing Adsorption) direkt vor Ort in hoher Qualität erzeugt werden [4]. Das Gasmischung wird über mehrere abgestufte Filter feinstfiltriert und enthält nur noch eine geringe Menge an Stickstoff. Sauerstoffgeneratoren erzeugen technischen Sauerstoff aus Luft durch Aufkonzentrierung bis zu einer Reinheit von 95 % (**Bild 5**).

Die aus hochwertigen Komponenten zusammengesetzten Anlagen (bestehend aus Verdichter, Filterkombinationen, PSA-Anlagen und Speicherbehältern) müssen optimal aufeinander abgestimmt werden, um eine hoch effiziente und zuverlässige Sauerstoffproduktion gewährleisten zu können.

### Praxisbeispiel WW Juist

Im Wasserwerk auf der Insel Juist wurde im Rahmen einer erforderlichen Sanierung eine Ozon-Biofiltrationsstufe für 90 m<sup>3</sup>/h Aufbereitungsleistung installiert und das Verfahren den neuen Erfordernissen angepasst. Neben der Entgasung sowie der Enteisenung und Entmanganung war ein Schwerpunkt der zukünftigen Wasseraufbereitung das Ziel einer starken Entfärbung (Farbe Rohwasser >1 m<sup>-1</sup>). Trotz wenig Erfahrungen mit Anlagen in Deutschland [1], ist die Ozon-Biofiltration in Europa insbesondere in Norwegen zur Aufbereitung von Trinkwasser aus huminstoffhaltigen Oberflächen-



**Bild 5:** Sauerstoff- und Ozonerzeugungsanlage

wässern bekannt ([2], [3]) und etabliert. Nachdem das Rohwasser aufgrund der Meerwasserbeeinflussung auch geringe Mengen an Bromid enthält, war die Frage der Bromatbildung essenziell. Für Bromat ist gemäß Trinkwasserverordnung ein Grenzwert von 10 µg/l einzuhalten. In Laborversuchen wurde deshalb Rohwasser vom Wasserwerk Juist mit verschiedenen Ozondosen behandelt. Eine starke Entfärbung wurde durch alleinige Ozonzugabe zum Wasser erreicht. Ab einer Ozondosis von 3 g/m<sup>3</sup> ließ sich für das Rohwasser aus Juist eine Bromatbildung nachweisen. Der Grenzwert für die Farbe von 0,5 m<sup>-1</sup> (SAK436 nm) wurde in den Versuchen bei einer Ozondosierung von 4 g/m<sup>3</sup> erreicht. Die Dosierung von 5 g/m<sup>3</sup> Ozon führte zu einer geringen Bromatbildung (2,9 µg/l) im Wasser. Aktuell liegt die Ozondosis im unkritischen Bereich bei nur 2,3 g/m<sup>3</sup>, womit eine Färbung von 0,3 m<sup>-1</sup> erreicht wird. Das Reinwasser liegt im mittleren Härtebereich, der DOC bei rund 3,9 mg/l.

Im neuen Aufbereitungskonzept wurde die Entgasung des stellenweise stark schwefelwasserstoffhaltigen Rohwassers an die erste Stelle gerückt. Die Ozon-Biofiltrationstufe besteht aus drei Filterlinien. Jede Linie verfügt über einen eigenen Ozon-Generator mit nachfolgendem Kontaktor, Reaktionsbehälter und Biofilter.

### Praxisbeispiel Wasserwerk Isselhorst

Im Wasserwerk Isselhorst wird die Ozon-Biofiltration seit dem Jahr 2008 praktiziert. Auch hier erfolgte zuerst eine Verfahrensumstellung, indem die chemische Entsäuerung des bereits ausreichend mineralisierten mittelharten Wassers auf eine betriebsabschließende physikalische Entsäuerung umgestellt wurde. Im Rahmen einer zeitlich gestaffelten Umsetzung stehen im Endausbau eine redundante zweistufige Anlage mit zwei Linien mit einer Aufbereitungsleistung je Linie bis zu 60 m<sup>3</sup>/h zur Verfügung. In der ersten Filterstufe erfolgt die Vorozonung sowie die Entfernung von Eisen und Mangan. In der zweiten Filterstufe erfolgt die Hauptozonung



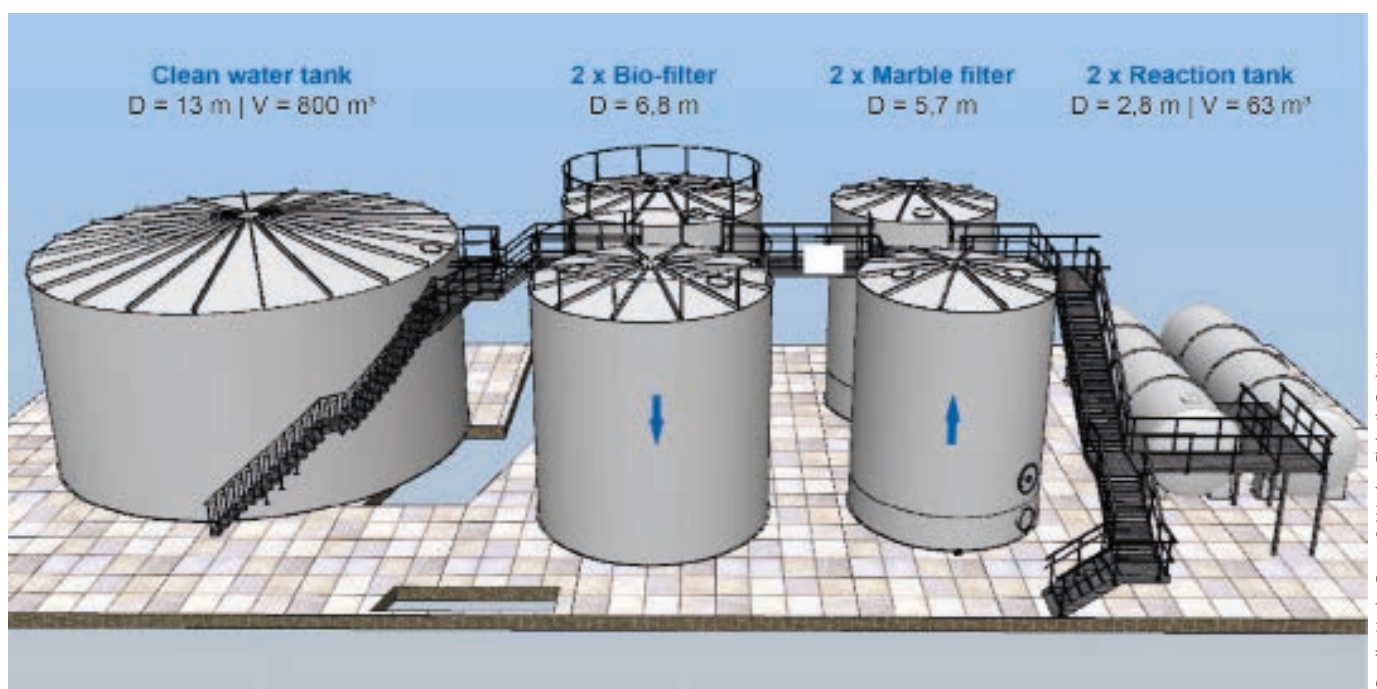
(Quelle: HydroGroup® / Hydro-Elektrik GmbH)

**Bild 6:** Montage Furusjøn

mit nachfolgender Biofiltration und betriebsabschließender Hygienisierung mit Ozon und physikalischer Entsäuerung. Auch hier liegt das Reinwasser im mittleren Härtebereich und die Färbung im Bereich 0,2 – 0,3 m<sup>-1</sup> bei Rohwasserfärbung bis 1,2 m<sup>-1</sup>.

### Praxisbeispiel Furusjøn

Eine Besonderheit in Norwegen ist, dass als Rohwasser oft nur Oberflächenwasser aus natürlichen Seen als Rohwasserquelle zur Verfügung steht. Diese sauren Wässer (pH-Bereich zwischen 4,5 und 6,5) weisen oft eine hohe Färbung auf, bei TOC-Gehalten zwischen 2 und 8 mg/l und ansonsten äußerst geringer Mineralisierung. Je nach Rohwasserqualität kommen einstufige oder zweistufige Aufbereitungsprozesse zur Anwendung. Die reine



(Quelle: HydroGroup® / Hydro-Elektrik GmbH)

**Bild 7:** Räumliche Anordnung Flåte vannverk



**Bild 8:** Lagune Flåte vannverk

einstufige Ozon-Biofiltration kommt insbesondere bei geringeren Farbzahlen und kleineren Anlagen zur Anwendung. Kleinere Anlagen können oft als vormontierte Einheiten in Folie verpackt auf der Baustelle angeliefert werden (**Bild 6**). Am Rand des norwegischen Rondane-Gebirges liegt der See Furusjøen. Zur Trinkwasserversorgung eines touristischen Naherholungsgebietes wurde eine Trinkwasseraufbereitungsanlage in zwei Linien mit einer Leistung von je 22,5 m<sup>3</sup>/h errichtet. Das Rohwasser wird direkt aus dem Furusjøen entnommen. Das Wasser hat eine Färbung im Grenzwertbereich um 15 mg Pt/l und einen pH-Wert um 6,8. Im Filter für die Biofiltration wurde zusätzlich eine alkalische Filterschicht eingebaut. Die Färbung im Reinwasser liegt bei <2 mg Pt/l und der pH-Wert bei 7,6. Die Aufbereitung besteht aus Ozonung mit nachfolgender Bio-Filtration, UV-Behandlung, Reinwasserspeicher und Pumpwerk zur Netzversorgung und Reinwasserförderung.

### Praxisbeispiel Flåte

In mehreren Anlagen hat sich ein zweistufiger Aufbereitungsprozess mit Ozonung, CO<sub>2</sub>-Dosierung, Filtration über alkalischen Filter zur Aufhärtung/Stabilisierung und Bio-Filtration mit betriebsabschließender Hygienisierung über UV bewährt. Durch die Ozonung und die betriebsabschließende UV-Bestrahlung ist eine im Rahmen des Multibarrieren-Prinzips erforderliche zweifache Desinfektion gewährleistet. In der norwegischen Bamble-Kommune erfolgt die Wasseraufbereitung für rund 12.000 Menschen seit August 2014 kontinuierlich nach diesem Prozess. Das Rohwasser wird in 28 m Tiefe aus dem See Flåte entnommen und mittels Pumpen über die Aufbereitungsanlage geleitet. Das Wasserwerk hat eine maximale Kapazität von 680 m<sup>3</sup>/h und besteht aus zwei Linien. **Bild 7** zeigt die prinzipielle Anordnung des Wasserwerks. Nach der Ozonung strömt das Wasser durch zwei liegende Reaktionstanks mit einem Volumen von je 63 m<sup>3</sup> und einem speziellen Einbau zur Gewährleistung einer gleichmäßigen Kolbenströmung. Vor der Passage der alkalischen Filter mit D = 5.700 mm erfolgt die Dosierung von CO<sub>2</sub>. Anschließend strömt das Wasser über die Biofilter mit D = 6.800 mm in den Reinwassertank. Die Förderung ins Netz erfolgt mittels Hochdruckpumpen und nachgeschalteter UV-Anlagen. Die Färbung im Rohwasser liegt zwischen 25 und 30 mg Pt/l, im Reinwasser

bei 5 – 7 mg Pt/l. Der pH-Wert liegt stabil bei 7.5. Die erforderliche Ozondosis liegt hier bei ca. 3 g Ozon/m<sup>3</sup> Wasser. Die Abbaurate des TOC liegt bei 15-17 % (Reinwasser gegen Rohwasser).

Eine Besonderheit in Flåte ist, dass alles anfallende Spülwasser über eine Lagune direkt wieder in den See zurück gespeist wird (**Bild 8**) und somit faktisch ein abwasserfreier Betrieb möglich ist.

### Ausblick

Zur Farbreduktion kommen neben der Ozon-Biofiltration im Wesentlichen Membranverfahren zum Einsatz. Im Gegensatz zu Membranverfahren erfordert die Ozon-Biofiltration prinzipiell keinen Einsatz von Chemikalien und in der Regel auch deutlich weniger Energieeinsatz. Auf der anderen Seite gibt es auch Grenzen, welche durch die zur Verfügung stehenden Rohwasserqualitäten gegeben sind, was aber auch für Membranverfahren gilt. Die Kombination von Membranverfahren mit der Ozon-Biofiltration ist ein weiterer gangbarer Weg. Die Ozon-Biofiltration ist ein sehr robuster Prozess, der auch gut mit schwankenden Rohwasserqualitäten oder hohen Eisen- und Mangangehalten zurechtkommt. Bei der Verfahrensfestlegung sind grundsätzlich alle möglichen Faktoren zu berücksichtigen und angemessen zu bewerten. Diese können wie folgt zusammengefasst werden:

- vorliegende Rohwasserproblematik,
- Beschaffenheit des Rohwassers und dessen Schutz,
- geforderte Sicherheit und Redundanz,
- möglicherweise Einbindung in Bestand,
- anfallende Aufbereitungsrückstände/Abwasserentsorgung,
- gegebenenfalls Pilotierung,
- Bedienung, Betriebssicherheit und Wartung,
- Investitionskosten,
- Betriebskosten,
- Lebensdauerkosten.

Im Rahmen der europäischen Gesetzgebung ist Ozon sowohl bei REACH (REGULATION (EC) No 1907/2006 – Regulation for Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals) als auch der Biozid-VO (Biocidal Products Regulation (BPR) – (EU) 528/2012) zur Aufbereitung von Wasser registriert. Rein oxidative Anwendungen fallen unter den Rahmen von REACH, Anwendungen mit dem Zweck der Desinfektion fallen unter die Biozid-VO (BPR).

### Literatur:

- [1] Aufbereitung huminstoffhaltiger Wässer durch Nachrüstung einer Ozon-Biofiltrationsstufe gwf-Wasser/Abwasser 04/2010
- [2] Aufbereitung huminstoffhaltiger Wässer mit Ozon-Biofiltration, energie | wasser-praxis 04/2006
- [3] Kapazitätserhöhung von Ozon-Biofiltrationsanlagen zur Trinkwasseraufbereitung in norwegischen Kommunen, bbr 03/2015
- [4] Sauerstoff für die Wasserbehandlung und Wasseraufbereitung, gwf-Wasser/Abwasser 07/08/2021

### Autor

**Manfred Brugger**  
 HydroGroup® / Hydro-Elektrik GmbH  
 mb@hydrogroup.de  
 www.hydrogroup.de