

# Aufbereitung huminstoffhaltiger Wässer durch Nachrüstung einer Ozon-Biofiltrationsstufe

Die Ozon-Biofiltration hat sich in den letzten Jahren erfolgreich auf dem Gebiet der Trinkwasseraufbereitung etabliert. Das nachfolgende Praxisbeispiel aus dem Gütersloher Stadtteil Isselhorst zeigt, dass mit der Ozon-Biofiltration eine zuverlässige und kostengünstige Trinkwasseraufbereitung realisiert werden kann.

Die Wasserversorgung im Gütersloher Stadtteil Isselhorst erfolgt seit dem Jahre 1934 durch den eigens hierfür gegründeten genossenschaftlich organisierten Wasserbeschaffungsverband Isselhorst WBI. Der Wasserbeschaffungsverband verfügt über 10 Brunnen mit einer Förderleistung von 110 m<sup>3</sup>/h, ein Wasserwerk sowie ein Rohrnetz mit 64 km Länge und versorgt über 1395 Hausanschlüsse rund 5000 Bürger und Firmen. Besonders erwähnenswert ist, dass auch heute noch alle Vorstandsmit-

glieder ehrenamtlich arbeiten und damit alle Einnahmen für den Betrieb (ein fest angestellter Wassermeister) und zum Erhalt bzw. der kontinuierlichen Modernisierung der Wasserversorgung verwendet werden. So verfügt der Verband über ein gutes Leitungsnetz sowie über ein nach modernsten Kenntnissen der Technik ausgestattetes Wasserwerk – und das bei einem Wasserpreis von nur 0,80 Euro je Kubikmeter netto. Die Jahresfördermenge liegt bei circa 250 000 m<sup>3</sup>. Bei den Brunnenwässern handelt es sich um teilreduzierte stark saure Wässer mit auffällig hohem Permanganatverbrauch bedingt durch eine hohe organische Belastung. Diese natürlichen organischen Stoffe geben dem Wasser eine gelbliche Farbe und wirken sich nachteilig auf den Geschmack aus. Die TOC-Werte im Rohwasser liegen – je nach Brunnen – zwischen 4,8 und 8,4 mg/L bei einer Färbung bis zu 1,34 m<sup>-1</sup> (SAK 436 nm). Vorrangiges Ziel für die Optimierung der Wasseraufbereitung war die Reduzierung der Farbe. Ferner musste auch ein Wasserspeicher erstellt werden, um die Wasseraufbereitung von der Wasserförderung ins Netz zu trennen. Der Verband investierte in dieses Vorhaben in den Jahren 2007/2008 rund 900 000 Euro.

Verbrauchsmengen schwankten hierbei stark im Bereich von circa 3 m<sup>3</sup>/h bis zu knapp 60 m<sup>3</sup>/h. Bereits in einem vorhergehenden Modernisierungsschritt wurden die Brunnenpumpen deshalb zu Gruppen zusammengefasst und die Aufbereitungsleistung mittels Frequenzsteuerung kontinuierlich an die wechselnden Verbrauchsmengen angepasst. Einziger Puffer war ein den Filtern nachgeschalteter Druckwasserbehälter. Für eine Wasseraufbereitung (chemische Entsäuerung, Enteisenung und Entmanganung) war diese Betriebsweise alles andere als optimal, zumal der Oxidator für den heutigen Maximaldurchsatz unterdimensioniert war. Ferner zeigte sich, dass die Betriebspunkte der Brunnenpumpen in sehr niedrigen Wirkungsgradbereichen lagen.

## Organische Substanzen

Der TOC/DOC-Wert ist ein Summenparameter, der die Gesamtheit allen gelösten organischen Materials umfasst. Einige DOC-Moleküle haben eine definierte chemische Struktur und können analytisch leicht erfasst werden (z. B. Aldehyde, Ketonsäuren, Carboxylsäuren). Der größere Teil der Moleküle ist aber nicht einfach bestimmbar und wird unter dem Begriff Huminsäuren oder Huminstoffe zusammengefasst (**Bild 3**) [1].

Zur Trinkwasserversorgung sollte Wasser mit hohen DOC-Gehalten ohne Wasseraufbereitung nicht verwendet werden. Auch vermeintlich stabile Wässer können nach einer oxidativen Wasserbehandlung (z. B. Dosierung von Desinfektionsmitteln) plötzlich zu einer starken Verkeimung neigen. Neben möglichem



**Bild 1.** Messung und Zusammenführung der Rohwässer. Quelle: Hydro-Elektrik GmbH



**Bild 2.** Bestehende Druckfilteranlage zur Entsäuerung, Enteisenung und Entmanganung. Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

## Bestand vor Modernisierung

Die sauren, huminstoff- und gering eisen- und manganhaltigen Rohwässer aus den 10 Einzelbrunnen (**Bild 1**) wurden unter Druck mit Luftsauerstoff oxidiert und über drei parallele Entsäuerungs- und Enteisenungsdruckfilter (D = 2,0 m, H = 3 m) direkt ins Netz eingespeist (**Bild 2**). Die tageszeitlich bedingten

Keimwachstum im Netz durch bioverfügbaren Kohlenstoff (AOC = Assimilable Organic Carbon) ist aber auch die Bildung unerwünschter Reaktionsnebenprodukte wie Trihalomethanen (THM) im Zusammenhang mit der Verwendung chlorhaltiger Desinfektionsmittel zu beachten.

### Variantenuntersuchung zur Farbreduzierung

Bei der Auslegung einer Wasseraufbereitungsanlage sind grundsätzlich mehrere Faktoren für die Verfahrensfestlegung wesentlich. Es sind dies im Besonderen:

- die vorliegende Wasserproblematik
- die chemisch/physikalische Beschaffenheit des Wassers und dessen Schutz
- die Verwendung des Wassers und die geforderte Sicherheit
- die vorhandene Anlagentechnik
- die Investitionskosten
- die Betriebskosten
- anfallende Aufbereitungsrückstände bzw. Spülwassermengen

Bereits im Jahre 2004 befasste sich der WBI mit Vorüberlegungen zum weiteren Ausbau des Wasserwerks im Hinblick auf die Farbreduktion.

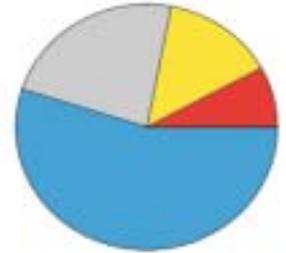
Zur Farbreduktion kommen im Wesentlichen Membranverfahren

(Nanofiltration NF bzw. Umkehrosmose RO), Ionenaustauschverfahren oder die Ozon-Biofiltration in Frage. Das Ionenaustauschverfahren schied aufgrund der hohen Abwasserfrachten sowie unzureichender Ergebnisse mit einer Versuchsanlage vorzeitig aus. Für ein Membranverfahren sprach die sehr gute Farbentfernung. Nachteilig waren hier aber die damit einhergehende unerwünschte Entsalzung, die erwartbaren Abwassermengen in Höhe von mindestens 10 bis 15 % der Aufbereitungsmenge sowie der hohe Energie- und Chemikalienverbrauch.

Die Investitionskosten für die grundverschiedenen Verfahrenstechniken mit Membrane oder Ozon-Biofiltration waren in etwa auf gleicher Höhe. Somit kam den Betriebskosten und dem Erhalt der positiven Substanzen im Wasser die entscheidende Bedeutung für die Verfahrenswahl zu.

Letztlich entschied sich der Verband für die Ozon-Biofiltration. Allerdings sollten vor einer endgültigen Entscheidung Versuche mit einer Pilotanlage durchgeführt werden. Dabei musste auch berücksichtigt werden, dass bei allen Maßnahmen das Wasserwerk ständig in Betrieb bleiben musste, um die Wasserversorgung aufrechterhalten zu können.

Aldehyde	(3 - 8 %)
Ketonsäuren	(7 - 15 %)
Carboxylsäuren	(12 - 25 %)
unbekannt	(52 - 76 %)



**Bild 3.** Anteile und Art der bioverfügbaren Stoffe.

Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

### Pilotierung

Als Pilotanlage wurde eine Kompaktanlage mit einer Leistung von 10 m<sup>3</sup>/h im Wasserwerk installiert (**Bild 4**). Um die im Niederdruckbereich arbeitende Anlage kontinuierlich betreiben zu können, wurde ein Vorlagebehälter sowie ein 10 m<sup>3</sup>



**Bild 4.** Pilotanlage mit Roh- und Reinwasservorlage.

Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

## Abdichtungstechnik von Rohrdurchführungen

### System 308

#### Expandierende Verpressharze



Werkfoto: Büttig Koblenz

Der Hausanschluß ist gas- und druckwasserdicht sicher verschlossen und erfüllt höchste Anforderungen an die Auszugssicherheit



**BÜTTIG GmbH**

D-56070 Koblenz  
Telefon: (02 61) 9 84 29-0  
Telefax: (02 61) 9 84 29-50  
e-Mail: info@buettig.de  
Internet: www.buettig.de

## Sensortechnik für UV-Wasserdesinfektion



- UV-Messtechnik nach DVGW W294 und ÖNORM M-5873
- UV-Referenzmessgeräte
- UV-Sensoren für Abwasser- und Luftdesinfektion
- UV-Monitore

Wir sind Aussteller auf der IFAT in München vom 13.09. -17.9. 2010

**IL Metronic**  
Sensortechnik GmbH

Mittelstraße 33, 98693 Ilmenau-Unterpörlitz  
www.il-metronic.de E-Mail: info@il-metronic.de  
Tel. 03677-8457-0 Fax 03677-871842



fassender Reinwasserbehälter aus Edelstahl mit nachgeschalteter Frequenzgesteuerter Druckerhöhungspumpe installiert. Der Vorlagebehälter wurde über ein automati-



**Bild 5.** Reinwassertanks 2 x 200 m<sup>3</sup> aus Edelstahl.  
Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

sches Ventil mit voraufbereitetem Wasser aus der Entsäuerungsanlage gespeist. Die Pilotanlage arbeitete im Bypass und förderte das zusätzlich aufbereitete Wasser direkt in die Druckleitung am Wasserwerksausgang. So war es möglich, die Farbe unter den Grenzwert von 0,5 m<sup>-1</sup> abzusenken. Die Anlage arbeitete im Rahmen der rund 15-monatigen Pilotierungsphase problemlos und führte zu einer wesentlichen Verbesserung der Wasserqualität. Damit war die Grundlage zur weitergehenden Planung der Wasserwerkserweiterung gegeben.

### Daten und Fakten zur Erweiterung

Bei einem durchschnittlichen Tagesverbrauch von 600 m<sup>3</sup> bzw. rund 780 m<sup>3</sup> in der Spitze ermittelt sich die erforderliche mittlere Aufbereitungsleistung zu maximal 32,5 m<sup>3</sup>/h bei 24 stündigem Betrieb. Unter Berücksichtigung der maximalen Türbreite für die Einbringung des Biofilters wurde die Aufbereitungsleistung auf 40 m<sup>3</sup>/h bzw. 960 m<sup>3</sup>/d festgelegt. Die Einteilung der Brunnen in Gruppen wurde aufgehoben und stattdessen ein rollierendes System eingeführt, nachdem in regelmäßigen Zeitabständen z.B. stündlich jeweils ein anderer Brunnen in Betrieb gesetzt wird. So wird täglich aus jedem Brunnen ausreichend Wasser entnommen. Durch die Erhöhung der Förderleistung der einzelnen Pumpen (Verschiebung des Betriebspunktes) konnte der Wirkungsgrad der Brunnenpumpen nahezu verdoppelt werden. Die Auswertung des Lastprofils zeigte, dass für einen kontinuierlichen Betrieb der Wasseraufbereitungsanlage eine Speichergöße von mindestens 150 m<sup>3</sup> erforderlich ist. Unter der Berücksichtigung von zukünftigem Wachstum sowie der gewünschten Redundanz wurde das Speichervolumen mit 2 x 200 m<sup>3</sup> festgelegt. Für die Wasserspeicherung wurden die innovativen HydroSystemTanks (**Bild 5**) gewählt, welche in einem modernen Anbau

an das Wasserwerk (**Bild 6**) aufgestellt wurden. Sowohl bei der Wasseraufbereitungsanlage als auch beim Speichersystem wurden spätere Erweiterungsmöglichkeiten mit berücksichtigt.

Für die Wasserförderung ins Netz wurde eine vollautomatisch arbeitende Kompaktdruckerhöhungsanlage mit vier Pumpen ausgewählt. Die Anlage ist so bemessen, dass im Normalbetrieb nur max. drei Pumpen fördern. Mit der Anlage kann auch der Feuerlöschbedarf bereitgestellt werden. Jede Pumpe verfügt über einen direkt gekoppelten Frequenzumformer mit programmierbarer Steuerungseinheit und Druckmessung. Ein zusätzlicher Windkessel ist bei dieser Anlage nicht mehr erforderlich (**Bild 7**).

Nachdem das Rohwasser bereits eine ausreichende Härte aufweist (je nach Brunnen zwischen 13 und 17°dH) wurde auf die chemische Aufhärtung verzichtet und die Entsäuerung ausschließlich durch eine physikalisch arbeitende Anlage realisiert. Die Entsäuerung erfolgt nach den Filterstufen vor Einlauf in den Reinwasserbehälter. Den vorhandenen Druckfiltern kommt nun nur noch die Aufgabe der Enteisung und Entmanganung zu. Nach der Inbetriebnahme wurden die Druckfilter deshalb nicht wieder mit karbonatischem Entsäuerungsmaterial befüllt.

### Ozon-Biofiltrationsstufe

Unter der Einwirkung von Ozon als starkem Oxidationsmittel werden die organischen Kohlenstoffverbindungen mit hohem Molekulargewicht gespalten und die Konzentrationen der Verbindungen mit niedrigem Molekulargewicht erhöht. Durch diesen Vorgang werden auch die Anteile der bioverfügbaren Stoffe (BDOC)<sup>1</sup> erhöht und die farbgebenden Substanzen – eine genügende Ozondosis vorausgesetzt – weitgehend zerstört.

Bei den bioverfügbaren Fraktionen wird wiederum unterschieden



**Bild 6.** Anbau in moderner Industriehallenkonstruktion. Quelle: Hydro-Elektrik GmbH



**Bild 7.** Kompaktdruckerhöhungsanlage 4 x 25 m<sup>3</sup>/h bei 4 bar. Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

zwischen langsam abbaubaren Stoffen (SBDIOC)<sup>2</sup> und schnell abbaubaren Stoffen (RBDIOC)<sup>3</sup> [2].

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, welche gezielt als Bioreaktor aufgebaut ist und in der die Mineralisierung bzw. die Reduktion des Nährstoffangebotes auf völlig natürliche Weise erfolgt.

Die Zone mit der höchsten biologischen Aktivität ist im oberen Filterbett, da dort das höchste Nährstoffangebot mit schnell abbaubaren Substanzen (RBDIOC) vorliegt. Endprodukte sind unter anderem Wasser und Kohlenstoffdioxid, welches durch die nachgeschaltete Entsäuerungsanlage ausgeblasen wird.

## Ozonung

Allgemein muss bei der Bestimmung der erforderlichen Ozondosis sowohl der DOC als auch die Farbe berücksichtigt werden. Je nach Verhältnis DOC/Farbe sind Ozondosen zwischen 0,8 bis 2,5 mg O<sub>3</sub>/mg DOC erforderlich. Es versteht sich von selbst, dass bei derart hohen Dosen einer hervorragenden feinblasigen Einmischung des Ozons mit nachfolgender Vermischung eine zentrale Bedeutung zukommt. Besonders bewährt haben sich Venturi-/Injektorkombinationen, bei denen der gesamte Wasserstrom mit hochkonzentriertem Ozon/Luftgemisch behandelt wird. Im nachfolgenden Reaktionsbehälter erfolgt die Reaktion mit langsam reagierenden Wasserinhaltsstoffen. Die farbgebenden Stoffe sind bereits kurz nach der Erstreaktion mit Ozon weitgehend zerstört. Parallel mit der Oxidation verläuft die Desinfektion, bei der aufgrund der hohen CT-Werte (Concentration\* Time) neben Keimen auch Viren und Parasiten sicher abgetötet werden. Aufgrund der langen Verweilzeiten in den Reaktionsbehältern und der hohen Ozondosen ist eine gut dimensionierte Ozon-Biofiltrationsanlage – trotz hoher Ozonzehrung –



**Bild 8.** Ozon-Biofiltrationsanlage TWK 70/40.

Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

stets auch eine sichere Barriere unter dem Gesichtspunkt des Multi-barrierenprinzips. Die anzustrebenden Ozongehalte am Ende der Reaktionsstrecke sollten nicht unter 0,2 bis 0,3 mg O<sub>3</sub>/L liegen. Die in dieser Anlage installierten Ozon-



<sup>1</sup> BDOC = Biodegradable Dissolved Organic Carbon

<sup>2</sup> SBDIOC = Slow Biodegradable Dissolved Organic Carbon

<sup>3</sup> RBDIOC = Rapid Biodegradable Dissolved Organic Carbon

## Für Generationen gemacht Innovative PP-Rohrmaterialien von Borealis

BorECO™ BA2000 ist das erste ungefüllte PP-HM Material mit 2000MPa für die Herstellung von Hochleistungsrohren. BorECO BA415E™ hat hervorragende Prozesseigenschaften, wodurch eine höhere Durchsatzrate erzielt, und der Energieverbrauch im Extrusionsprozess verringert wird.

BorECO™ Rohrsysteme sind extrem zuverlässig und erlauben einen störungsfreien Betrieb über die gesamte Lebenszeit. Reduzierter Material- und Energieverbrauch machen BorECO™ zudem zu einem nachhaltigen, umweltschonenden Rohrmaterial – für Generationen.



[www.borealisgroup.com](http://www.borealisgroup.com)

**BOREALIS**  
SHAPING THE FUTURE WITH PLASTICS

generatoren liefern bis zu 2 x 150 g Ozon pro Stunde.

### Filteraufbau

Der Filter in der Ozon-Biofiltrationsanlage (**Bild 8**) hat mehrere Aufgaben zu erfüllen. Neben dem Abbau von Restozon im Wasser – einer Voraussetzung für biologische Aktivität – und dem Rückhalt von Trübstoffen, Partikeln und Viren muss der Filter ein guter Bioreaktor sein. Prinzipiell erfolgt eine biologische Besiedlung auf nahezu allen Filtermaterialien. Zu beachten ist aber, dass Filteranlagen im Bereich der Wasseraufbereitung auch Stillstandszeiten überbrücken müssen.

Materialien auf Basis poröser Aktivkohlen sind hier anderen porösen Filtermaterialien (z.B. Bims oder gebrochenem Blähton) deutlich überlegen. Aktivkohle belädt sich in den ersten Wochen sehr stark mit organischen Stoffen und stellt damit vermutlich auch während Filterstillstandszeiten eine Nahrungsquelle für die Mikroorganismen dar. Auch erfolgt die Besiedlung eines Filters mit Aktivkohle schneller als bei anderen Materialien. Die Temperatur des Wassers hat nur einen geringen Einfluss auf die Bioaktivität bzw. die Abbauraten in Bezug auf DOC, welche bis zu 30 Prozent betragen kann. Die Filtergeschwindigkeiten sollten zwischen 5 und 8 m/h liegen. Biologisch aktive Filter sollten nur mit Wasser gespült werden. Anzusetzende Spülwassermengen bewegen sich – je nach Filteraufbau – zwischen 35 und 45 m/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 (ca. Menge eines Filtervolumens) abgeleitet werden. Die Filterlaufzeiten sind den jeweiligen Rohwasserverhältnissen anzupassen. Weniger als 1,5 Prozent von der aufbereiteten Wassermenge muss für die Filterspülung angesetzt werden. Ozon-Biofiltrationsanlagen können problemlos rund um die Uhr betrieben werden.

Für die betriebsabschließende Desinfektion werden vorzugsweise UV-Anlagen oder auch Ozon eingesetzt.

### Messtechnische Ausstattung

Neben einer kontinuierlichen Mengemessung ist der Restozongehalt im oxidierten Wasser nach der Reaktionsstrecke kontinuierlich zu erfassen. Beide Werte werden ausgewertet und bilden die Basis für die Steuerung der Ozonproduktion. Messungen des pH-Wertes sowohl im Rohwasser als auch im Reinwasser geben Auskunft über die Entsäuerungsleistung.

### Inbetriebnahme

Die Inbetriebnahme der neuen Anlage erfolgte Anfang 2008. Besonderes beobachtet wurde die Entwicklung der Koloniezahlen nach der Anlage bzw. im Netz. Durch einen Fehler war die bei der Umstellung auf das „neue“ Wasser vorgesehene Chlorung nicht aktiv. Heftiger als erwartet entwickelten sich daraufhin die Koloniezahlen im Netz. Bedingt durch den langjährigen Betrieb des Leitungsnetzes mit Wasser mit hohem DOC musste davon ausgegangen werden, dass sich im Netz ein stabiler Biofilm ausgebildet hat.

Es ist bekannt, dass die Biofilme im Netz grundsätzlich auf Änderungen der Wasserqualität reagieren. In diesem Falle kamen gleich mehrere Faktoren zusammen: Änderung der Härte, gering veränderter pH-Wert, starke Sauerstoffübersättigung und verändertes Nährstoffangebot. Dazu kam, dass sich die biologische Aktivität im Biofilter erst entwickeln musste. Durch eine kontinuierliche Chlorung über Monate hinweg und durchgeführte Spülungen einzelner Rohrleitungsstränge konnte das Netz wieder stabilisiert werden. Dabei wurde die anfängliche Chlordosierung stufenweise unter Beobachtung der bakteriologischen Wasserqualität verringert. Zwischenzeitlich arbeitet die Anlage ohne

Probleme und ohne Chlordosierung mit einer stabilen Wasserqualität bei einer Farbe zwischen 0,2 und 0,3 m<sup>-1</sup>. Die betriebsabschließende Hygienisierung erfolgt mit Ozon.

### Fazit

Die Erfahrungen aus dem bereits zum Teil mehrjährigen Betrieb der Ozon-Biofiltrationsanlagen zeigen, dass mittels abgestimmter Prozesstechnik Trinkwasser aus Rohwasser mit hohen Farbzahlen und erhöhten DOC-Werten erzeugt werden kann. Die für die Trinkwasserversorgung geforderte hygienische Sicherheit ist zuverlässig gegeben. Anfängliche Bedenken bezüglich langfristig erhöhter AOC-Gehalte (AOC = Assimilable Organic Carbon) im Netz haben sich nicht bestätigt. Die für den Aufbereitungsbetrieb erforderlichen Stoffe und Filtermaterialien sind in der Liste des Umweltbundesamtes enthalten. Auch in Deutschland kann das Verfahren im Rahmen der zugelassenen Grenzen und Dosiermengen gemäß Trinkwasserverordnung z. B. zur Aufbereitung von Grundwasser mit hohen DOC-Gehalten – wie der Bericht zeigt – eingesetzt werden.

### Literatur

- [1] NTNU – Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Prof. Dr. Hallvard Ødegaard.
- [2] "Testing Ozonation-Biofiltration Plant" SINTEF in Trondheim/Norwegen. Ergebnisse eines Forschungsauftrages der Hydro-Elektrik GmbH 1999–2001.

### Autoren:

**Heinz Hanneforth,**  
**Wasserbeschaffungsverband Isselhorst,**  
**Postfach 5039, D-33278 Gütersloh,**  
**Tel. (05241) 6657**

**Manfred Brugger,**  
**Hydro-Elektrik GmbH,**  
**Angelestraße 48/50,**  
**D-88214 Ravensburg,**  
**Tel. (0751) 6009-47,**  
**Fax (0751) 6009-33,**  
**E-Mail: mb@hydro-elektrik.de,**  
**www.hydro-elektrik.de**