

Moderne Aufbereitungstechnik zur Farbreduzierung von Trinkwasser

Rund 1.500 Einwohner – in der Tourismussaison bis zu viermal mehr – leben auf der im Wattenmeer liegenden, ca. 16 km² großen Ostfriesischen Insel Juist. Die Trinkwasserversorgung auf der Insel existiert seit mehr als 300 Jahren. Das Grundwasser wird aus einer Süßwasserlinse entnommen, welche auch in torfige und humusreiche Schichten der Insel hinabreicht. Dadurch werden neben Eisen auch Huminstoffe gelöst, die zu einer leichten Gelbfärbung des Grundwassers führen. Durch eine modifizierte Verfahrenstechnik auf Basis der Ozon-Biofiltration wird das Grundwasser seit Juni 2020 entfärbt und zu geschmacklich gutem Trinkwasser aufbereitet.



Wasserwerk mit Geschichte

Das zentrale Wasserwerk in Juist wurde im Jahre 1907 im Ort gegründet und in den Jahren 1925 und 1958 erweitert. Ein Neubau in Ortsrandlage löste 1975 das alte Wasserwerk ab. Aufgrund eines zunehmenden Wasserbedarfs wurde das Werk 1998 erneut erweitert. Mit der im Jahr 2020/21 abgeschlossenen Modernisierung und Umstellung der Verfahrenstechnik wurde die Wasseraufbereitung insbesondere im Hinblick auf die Farbreduzierung zukunftsweisend optimiert.

Eine besondere Herausforderung auf der autofreien Insel Juist stellten der Materialtransport sowie das zulässige Baufenster im Winterhalbjahr dar. Zudem mussten alle Maßnahmen unter vollständiger Gewährleistung der Trinkwasserversorgung und damit unter Aufrechterhaltung des laufenden Betriebes der bestehenden Wasseraufbereitung umgesetzt werden. Um die neue Technik unter diesen Vorgaben unterbringen zu können, musste zwischen dem bestehenden Werk und dem bestehenden Absetzbecken ein Anbau konzipiert werden (Abb. 2), in dem auch noch eine zusätzliche Fläche für die Materiallagerung geschaffen wurde.

Rohwasserproblematik und Anlagenbestand

Im Erdreich unter der Insel befindet sich ausreichend Grundwasser, welches durch versickerndes Regenwasser ständig neu gebildet wird. Die süßwasserführenden Schichten liegen in unterschiedlichen Tiefen und an verschiedenen Orten auf der Insel. Die linsenförmige Ausbildung der Schichten wird durch die unterschiedliche Dichte des Süßwassers gegenüber dem umgebenden, von außen drückendem Salzwasser verursacht.

Für die Grundwasserentnahme wurden insgesamt 24 Tiefbrunnen abgeteuft, von denen jeder mit einer Leistung von ca. 10 m³/h alternierend betrieben wird. Durch die unterschiedlichen Standorte sind auch die Rohwässer von unterschiedlicher Qualität. Neben Eisen und geringen Mengen an Mangan enthält das stark sauerstoffreduzierte Rohmischwasser nennenswerte Anteile an Ammonium, Kohlenstoffdioxid, Schwefelwasserstoff sowie an Huminstoffen. Letztere verleihen dem Wasser eine gelbliche Färbung, welche durch die bestehende (und abgängige) Anlagentechnik nicht entfernt werden konnte. Je nach Brunnenkonstellation liegt der DOC bei mehr als 6 mg/l und die Farbe deutlich über 1,0 m⁻¹ (Grenzwert 0,5 m⁻¹).

Abb. 1 – Sauerstoffzeugungsanlage in zwei Linien



HydroGroup / Hydro-Elektrik GmbH

Abb. 2 – Wasserwerk mit Erweiterungsanbau



Wasserwerk Juist

Die Verfahrenstechnik bestand aus einer zweistufigen Filteranlage (Abb. 3) mit Zugabe von Luft zur Oxidation und nachfolgender Kaskadenbelüftung zur Entsäuerung. Das Rohwasser kommt in einer Sammelleitung beim Wasserwerk an. In der ersten Filterstufe mit drei parallel betriebenen Mehrschicht-Druckfiltern erfolgte die Enteisung und die Entmanganung. Anschließend lief das Wasser drucklos durch die zwei Kaskaden in ein Reaktionsbecken und von dort über eine offene Sand-Filteranlage in die Reinwasserkammern. Die abschließende Förderung ins Netz erfolgt über frequenzgeregelter Druckerhöhungspumpen.

Konzeptentwicklung

Die ursprüngliche Anlagentechnik war für eine maximale Aufbereitungsmenge von 150 m³/h ausgelegt. Durch Verlängerung der täglichen Laufzeit konnten die Brunnen entlastet, das Gesamtsystem der Aufbereitung vergleichmäßigt und damit die der Neudimensionierung zugrunde gelegte maximal aufzubereitende Wassermenge auf 90 m³/h reduziert werden. Damit können bei 24-stündigem Betrieb maximal 2.160 m³ zu Trinkwasser aufbereitet werden. Neben der Entgasung sowie der Enteisung und Entmanganung wurde als ein Schwerpunkt der zukünftigen Wasseraufbereitung das Ziel einer starken Entfärbung ohne den Einsatz von Chemikalien festgelegt. Als zuverlässiges Verfahren zur Aufbereitung von huminstoffhaltigen Rohwässern, mit dem die vorgenannten Anforderungen erreicht werden können, wurde die Ozon-Biofiltration als beste Möglichkeit eingeschätzt. Trotz geringer Erfahrung mit Anlagen in Deutschland [1], ist die Ozon-Biofiltration in Europa insbesondere in Norwegen zur Aufbereitung von Trinkwasser aus huminstoffhaltigen Oberflächenwässern bekannt und etabliert [2, 3]. In Vorversuchen im Labor wurde deshalb Rohwasser vom Wasserwerk Juist mit verschiedenen Ozondosen behandelt. Ziel der Versuche war es, das huminstoffhaltige Wasser mithilfe von Ozon zu entfärben, ohne dabei relevante Bromatkonzentrationen zu erzeugen. Bromat kann bei der Oxidation von Bromid entstehen, welches in meerwasserbeeinflussten Grundwässern in geringen Konzentrationen enthalten ist. Für Bromat ist gemäß Trinkwasserverordnung ein Grenzwert von 10 µg/l einzuhalten.

Die Ergebnisse zeigten, dass eine starke Entfärbung durch alleinige Ozonzugabe zum Wasser erreicht wird. Ab einer Ozondosis von 3 g/m³ ließ sich für das Rohwasser aus Juist eine Bromatbildung nachweisen. Der Grenzwert für die Farbe (SAK436 nm) wurde in den Versuchen bei einer Ozondosierung



HydroGroup / Hydro-Elektrik GmbH

Abb. 3 – Bestehende Druckfilteranlage

von 4 g/m³ erreicht. Die Dosierung von 5 g/m³ Ozon führte zu einer geringen Bromatbildung (2,9 µg/l) im Wasser. Bei großtechnischen Anlagen muss der Zusammenhang zwischen Ozondosierung zur Entfärbung im Kontext zur Bromatbildung beachtet werden. Aktuell beträgt die Ozondosis im Wasserwerk Juist 2,3 g/m³ und liegt damit im unkritischen Bereich.

Hohe DOC-Werte

Der DOC-Wert ist ein Summenparameter, der die Gesamtheit allen gelösten organischen Materials von Pflanzen und Tieren umfasst. Einige DOC-Moleküle haben eine definierte chemische Struktur und können analytisch leicht erfasst werden, wie z. B. Aldehyde, Ketonsäuren und Carboxylsäuren. Der größere Teil ist aber nicht einfach bestimmbar und wird unter dem Begriff Huminsäuren oder Huminstoffen zusammengefasst. Für die Farbgebung sind insbesondere die größeren DOC-Anteile aus pflanzlichen Zersetzungsprozessen ausschlaggebend. Ähnlich wie bei der Zubereitung von Tee nimmt die Farbe mit der Einwirkungsdauer und der Konzentration zu.

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.

Ozon-Biofiltration

Ein erfolgreiches, an den Vorgängen in der Natur angelehntes Verfahren zur Aufbereitung huminstoffhaltiger Wässer stellt die Ozon-Biofiltration dar. Unter der Einwirkung von Ozon als starkem Oxidationsmittel werden die organischen Kohlenstoffver-

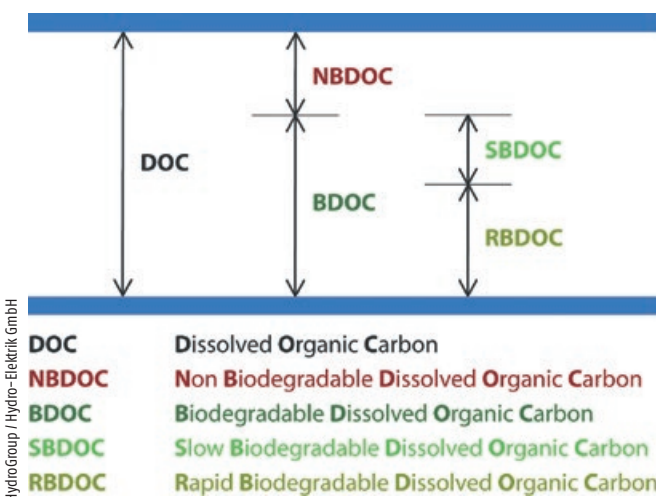


Abb. 4 – Grafik und Erläuterung der Abkürzungen



Abb. 5 – Behältertransport auf der Insel

bindungen mit hohem Molekulargewicht gespalten und die Konzentrationen der Verbindungen mit niedrigem Molekulargewicht erhöht. Durch diesen Vorgang werden auch die Anteile der bioverfügbaren Stoffe (BDOC) erhöht und die farbgebenden Substanzen – eine genügende Ozondosis vorausgesetzt – nahezu vollständig zerstört. Bei den bioverfügbaren Anteilen wird wiederum zwischen langsam abbaubaren Stoffen (SBDOC) und schnell abbaubaren Stoffen (RBDOC) unterschieden (Abb. 4).

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 konzipiert ist und in der 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 (RBDOC) vorliegt.

Filteraufbau

Der Filter in einer Ozon-Biofiltrationsanlage hat mehrere Aufgaben zu erfüllen. Neben dem Abbau von Restozon im Wasser – einer Voraussetzung für biologische Aktivität – und dem Rückhalt von Trübstoffen und oxidierten Stoffen wie Eisen und Mangan, muss der Filter ein guter Bioreaktor sein. Prinzipiell erfolgt eine biologische Besiedlung auf nahezu allen Filtermaterialien. Die Temperatur des Wassers hat nur einen geringen Einfluss auf die Bioaktivität bzw. die Abbauraten in Bezug auf DOC, welche mehr als 30 % betragen kann. Die Filtergeschwindigkeit sollte zwischen 5 und 8 m/h liegen. Damit ergeben sich Verweilzeiten in der biologisch aktiven Schicht von bis zu 25 Minuten.

Faktor Insel

Als wesentlicher Faktor im Rahmen der Dimensionierung waren die maximal möglichen Transportgewichte und Transportabmessungen auf der sandigen Insel zu beachten. Weitere limitierende Faktoren waren der Schifftransport, die Tragkraft des auf der Insel verfügbaren mobilen Portalkrans und letztlich das Wetter. Als größte zu transportierende Einzelkomponenten kristallisierten sich die Edelstahlfilterbehälter heraus. Um transportierbare Filtergrößen zu erhalten und auch um eine hohe Flexibilität und Redundanz zu schaffen, wurden drei Linien mit je 30 m³/h Aufbereitungsleistung bei einem maximal möglichen Filterdurchmesser von 2.200 mm und einer Höhe von ca. 5.500 mm festgelegt (Abb. 5 + 6).



Abb. 6 – Einsetzen der Filterbehälter

» 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. «

Die maximal zulässigen Transportgewichte und die nicht ständige Erreichbarkeit der Insel erforderten auch eine angepasste Lösung für die Ozonerzeugung. Die Anlagentechnik musste darauf abgestimmt werden, dass der Sauerstoff vor Ort aus Luft hergestellt werden muss, da der Einsatz von flüssigem Sauerstoff (LOX) aus einer Tankanlage als Ausgangsstoff für die Ozonerzeugung aus Transportgründen ausschied.

Provisorien

Die bestehende Kaskadenbelüftung mit zwei Linien musste in die neue Verfahrenstechnik so integriert werden, dass sowohl der bisherige Betrieb als auch der zukünftige Betrieb mit der neuen Technik möglich ist. Ferner sollte das aufbereitete Wasser wieder in die Reaktionskammern der zweiten Filterstufe eingeleitet werden. Mittels mehrerer provisorischer Rohrleitungsverbindungen mit entsprechenden Absperrorganen musste gewährleistet werden, dass in der Übergangszeit mit der Inbetriebnahme der neuen Anlagentechnik beide Linien betrieben werden konnten. Die komplette Umstellung auf den neuen Prozess sollte erst nach erfolgreicher Inbetriebnahme und stabilem Aufbereitungserfolg vollzogen werden.

Neue Verfahrenstechnik optimal integriert

Im neuen Aufbereitungskonzept wurde die Entgasung des stellenweise stark schwefelwasserstoffhaltigen Rohwassers an die erste Stelle gerückt. Das heißt, das Rohwasser wurde in der Kaskade entgast und zur Zwischenspeicherung in ein vorhandenes Reaktionsbecken geleitet. Hierzu wurde eine der drei Filterstrecken der zweiten Sandfilterstufe außer Betrieb genommen und deren Reaktionsbecken zum Rohwasserbecken umgenutzt. Aufgrund der Mengenreduzierung war diese Filterstrecke auch nicht mehr erforderlich. Mittels zweier frequenzgeregelter und redundant aufgebauter Druckerhöhungspumpen wird das Rohwasser der neuen Ozon-Biofiltrationsstufe mit drei Filterlinien zugeführt. Jede Linie verfügt über einen eigenen Ozon-Generator mit nachfolgendem Kontaktor, Reaktionsbehälter und Biofilter (Abb. 7).

Ozongung und Filtration

Bei der Bestimmung der erforderlichen Ozondosis muss sowohl der DOC als auch die Farbe berücksichtigt werden. Je nach Verhältnis DOC/Farbe sind Ozondosen zwischen 0,8 und 2,5 mg O₃/mg DOC erforderlich. Um auch zukünftigen Entwicklungen bzw. Rohwasserveränderungen gerecht zu werden, wurde eine maximale Ozondosis von 5 g/m³ festgelegt. Das Ozon wird in drei modernen Ozonmodulen auf Basis der Plasmatechnik erzeugt. Es versteht sich von selbst, dass bei derart hohen Dosen einer hervorragenden und feinblasigen Einmischung des gasförmigen Ozons mit dem flüssigen Wasser eine zentrale Bedeutung zukommt. Besonders bewährt haben sich hierzu Venturi-/Injektorkombinationen, bei denen der gesamte Wasserstrom mit einem hochkonzentriertem Ozon-Luft-Gemisch behandelt wird. Im dem Kontaktor nachfolgenden Reaktionsbehälter erfolgt die Reaktion mit 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. Als Desinfektion gelten



HydroGroup / Hydro-Elektrik GmbH

Abb. 7 – Ozonerzeuger links und Biofiltrationsanlagen rechts



Abb. 8 – Bedienung eines Ozonerzeugers

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 Multi-barrierenprinzips.

Biologisch aktive Filter sollten nur mit Wasser gespült werden. Anzusetzende Spülwassermengen bewegen sich – je nach Filteraufbau – zwischen 35 und 45 m³/h. Der Spülwasserbedarf liegt bei rund 5 bis 6 m³ pro Quadratmeter Filterfläche. Bei Luftspülung würde zu viel Biomasse aus dem Filter ausgetragen, was beim Wiederaufstart zunächst eine verminderte Abbauleistung zur Folge hätte. Nach der Filterspülung muss das Erstfiltrat in der Menge eines Filtervolumens abgeleitet werden. Die Filterlaufzeiten sind den jeweiligen Rohwasserhältnissen anzupassen. Weniger als 1,5 % 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. Zudem ist Sauerstoff notwendiges Einsatzgas für die Ozonerzeugung. Technischer Sauerstoff kann mittels Sauerstoffgeneratoren im Druckwechselverfahren (PSA – Pressure Swing Adsorption) direkt vor Ort in hoher Qualität erzeugt werden. Das Gasgemisch 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 %.

Die aus hochwertigen Komponenten zusammengesetzten Anlagen müssen optimal aufeinander abgestimmt werden und gewährleisten damit eine hoch effiziente und zuverlässige Sauerstoffproduktion. Eine Sauerstoffgeneratorenlinie besteht im Einzelnen aus:

- Kompressoranlage 7,5 bar
- Kältetrockner
- Drucklufttank
- Luftfilterkombination aus Fein- und Aktivkohlefilter
- Sauerstoffgenerator
- Sauerstofftank
- Verteiler und Regleinheit zur Dosierung

Im Wasserwerk Juist werden zwei unabhängige und vollautomatisch arbeitende Linien bedarfsabhängig parallel betrieben. Für einen etwaigen späteren Ausbauschritt ist ausreichend Platz für eine dritte Linie vorgehalten.

Die komplette Anlage arbeitet vollautomatisch. Mittels Touchpanel können die verschiedenen Prozessebenen aufgerufen werden. Alle Prozessbilder visualisieren den Prozess und stellen die jeweiligen Einstell- und Messwerte grafisch dar. Parameteränderungen können in der jeweiligen Prozessebene direkt vorgenommen werden (Abb. 8). Die komplette Anlagenbedienung ist in die übergeordnete Leittechnik eingebunden.

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.

Autoren

Manfred Brugger
HydroGroup / Hydro-Elektrik GmbH
Angelestr. 48/50
88214 Ravensburg
Tel.: +49 (0) 751 6009 0
mb@hydrogroup.de
www.hydrogroup.de

Jens Dammann
Dr. Zander Beratende Ingenieure GmbH
Wendendorwall 19
38100 Braunschweig
Tel.: + 49 (0) 531/ 242 11-0
j.dammann@zander-ingenieure.de
www.zander-ingenieure.de

Andreas Schmeißer
Wasserwerk Juist
wasserwerk@juist.de

