

Aufbereitung huminstoffhaltiger Wässer mit Ozon-Biofiltration

Die Ozon-Biofiltration hat sich in den letzten Jahren erfolgreich auf dem Bereich der Trinkwasseraufbereitung etabliert. Praxisbeispiele aus Deutschland, Skandinavien oder den USA zeigen, dass mit der Ozon-Biofiltration zuverlässige und kostengünstige Trinkwasseraufbereitungsanlagen realisiert werden können. Neben fundamentalen Grundlagen werden im Beitrag auch die Ergebnisse einer im Betrieb befindlichen Anlage in Norwegen aufgezeigt.

Die nördliche Hemisphäre ist reich an Grund- und Oberflächenwasser. In Skandinavien werden z. B. durchschnittlich 70 Prozent des Trinkwassers direkt aus Oberflächenwasser gewonnen. Somit sollte die Versorgung der Bevölkerung mit Trinkwasser eigentlich kein Problem darstellen. Auf Grund des nasskalten Klimas ist der Gehalt an natürlichen organischen Stoffen (NOM = Natural Organic Matter) in diesen Wässern aber hoch. Die NOM-Konzentration wird gewöhnlich als die Summe des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC = Dissolved Organic Carbon) bestimmt. Diese natürlichen organischen Stoffe geben dem Wasser eine gelblich braune Farbe und einen modrigen Geschmack. Typische DOC-Werte liegen bei 3 bis 6 mg/l, in Oberflächengewässern sind auch höhere Werte möglich. Die Farbzahlen liegen zwischen 20 bis 60 mgPt l⁻¹ (Platin-Cobalt Einheiten nach Hazen), in Einzelfällen bis über 100 mg Pt l⁻¹. Die pH-Werte dieser meist gering mineralisierten Wässer liegen im leicht sauren Bereich zwischen 5,5 und 6,5. In den letzten 15 Jahren sind die Farbzahlen sowie der Gehalt an NOM kontinuierlich angestiegen und es ist eine Veränderung von dessen Zusammensetzung beobachtet worden (**Abb. 1**).

Als Ursachen für diese Zunahme werden unter anderem die Auswirkungen klimatischer Faktoren wie stärkere Niederschläge und damit kürzere Verweilzeiten in den Seen, saurer Regen, eine intensivere Sonnenstrahlung sowie eine verstärkte Land- und Wassernutzung gesehen [1]. Auch im Norden Deutschlands werden teilweise DOC-Gehalte bis zu 6 mg/l im Grundwasser unter sandigen Böden vorgefunden.

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 (z. B. Aldehyde, Ketonsäuren, Carboxylsäuren). Der größere Teil der Moleküle ist aber nicht einfach bestimmbar und wird unter dem Begriff Huminsäure oder Huminstoffe zusammengefasst [2]. Für die Farbgebung sind insbesondere die DOC-Anteile aus pflanzlichen Zersetzungsprozessen ausschlaggebend. Die Farbe nimmt mit der Einwirkungsdauer und der Konzentration zu.

Zur Trinkwasserversorgung sollte Wasser mit hohen DOC-Gehalten ohne Wasseraufbereitung nicht verwendet werden.



Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

Wasseraufbereitungsanlage in Norwegen: Innenansicht

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 Trihalomethanen (THM) im Zusammenhang mit der Verwendung chlorhaltiger Desinfektionsmittel zu beachten.

Ozon-Biofiltration

Ein Erfolg versprechendes Verfahren bei der Aufbereitung huminstoffhaltiger Wässer stellt die Ozon-Biofiltration dar. 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 = Biodegradable Dissolved Organic Carbon) erhöht und die farbgebenden Substanzen – eine genügende Ozondosis vorausgesetzt – nahezu vollständig zerstört. Bei den bioverfügbaren Fraktionen wird wiederum unterschieden zwischen langsam abbaubaren Stoff-

fen (SBD OC = Slow Biodegradable Dissolved Organic Carbon) und schnell abbaubaren Stoffen (RBD OC = Rapid Biodegradable Dissolved Organic Carbon) [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 Reduktion des Nährstoffangebotes auf völlig natürliche Weise erfolgt (Abb. 2). Die Zone mit der höchsten biologischen Aktivität ist im oberen Filterbett, da dort das höchste Nährstoffangebot mit schnell abbaubaren Substanzen (RBD OC) vorliegt. Endprodukte sind unter anderem Wasser und Kohlenstoffdioxid, welches im weiteren Verlauf der Filtration mit eingelagertem Kalziumkarbonat reagiert und damit die Alkalität der in der Regel sehr weichen Oberflächenwässer erhöht.

Ozonung

Bei der Bestimmung der erforderlichen Ozondosis müssen sowohl der DOC als auch die Farbe berücksichtigt werden. Je nach Verhältnis DOC/Farbe sind Ozondosen zwischen 0,8 bis 2,5 mg O₃/mg DOC erforderlich. Bei sehr hohen Farbzahlen ist mit Richtwerten bis zu 0,15 mg O₃/mg Pt zu rechnen (Abb. 1). 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 zerstört. Ebenso spontan finden die chemischen Reaktionen mit metallischen Wasserinhaltsstoffen wie Eisen, Mangan und Arsen statt. Parallel zu der Oxidation verläuft die Desinfektion, bei der auf Grund der hohen CT-Werte (Concentration*Time) neben Keimen auch Viren und Parasiten sicher abgetötet werden.

Eine Oxidation in diesem Zusammenhang ist eine Reaktion, bei der Elektronen abgegeben werden. Als Desinfektion gelten Maßnahmen zur Abtötung bzw. Inaktivierung von Krankheitserregern. Auf Grund der langen Verweilzeiten in den Reaktionsbehältern und der hohen Ozondosen ist eine gut dimensionierte Ozon-Biofiltrationsanlage – trotz hohem Ozonverbrauch – stets auch

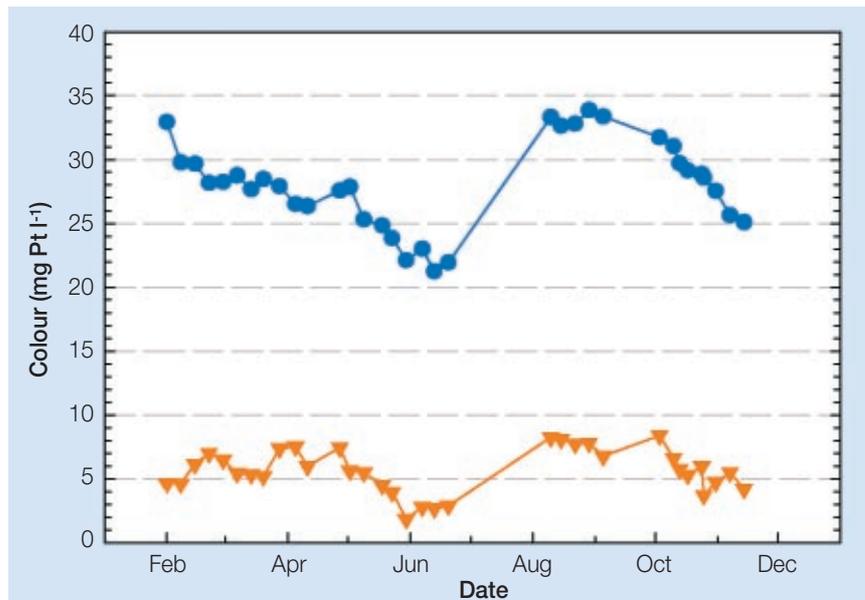


Abb. 1: Farbzahlen im Rohwasser und Reinwasser

Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

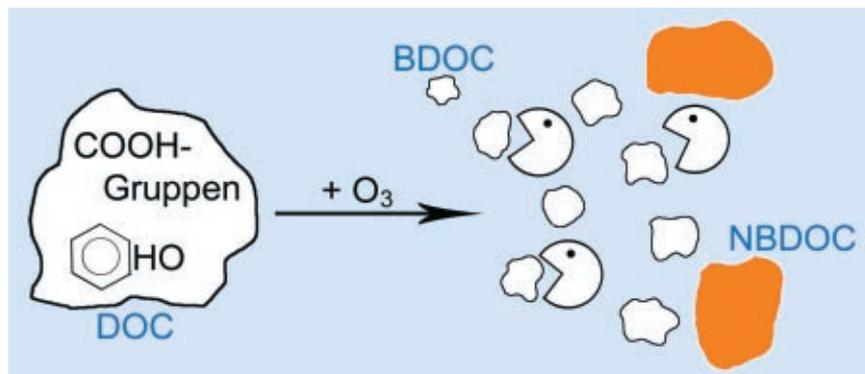


Abb. 2: Oxidation und biologischer Abbau

Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

eine sichere Barriere unter dem Gesichtspunkt des Multibarrierenprinzips (Abb. 3).

In Bezug auf den CT-Wert muss darauf hingewiesen werden, dass weder eine hohe Konzentration bei vergleichsweise kurzer Einwirkungszeit noch eine lange Einwirkungszeit bei niedriger Konzentration eine sichere Desinfektion gewährleisten. Die anzustrebenden Ozongehalte am Ende der Reaktionsstrecke sollten deshalb nicht unter 0,2 bis 0,5 mg O₃/l liegen.

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, 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 mehr als 30 Prozent betragen kann. Die Filtergeschwindigkeiten sollten zwischen 5 bis 8 m/h liegen. Die Verweilzeiten in der biologisch aktiven Schicht betragen – je nach DOC-Gehalt – bis zu 25 Minuten (Abb. 4).

Bewährt hat sich auch die gleichzeitige Filtration über kalziumkarbonathaltige Materialien, welche im Filterbett eingelagert sind und direkt mit dem in der biologisch aktiven Zone gebildeten Kohlenstoffdioxid reagieren.

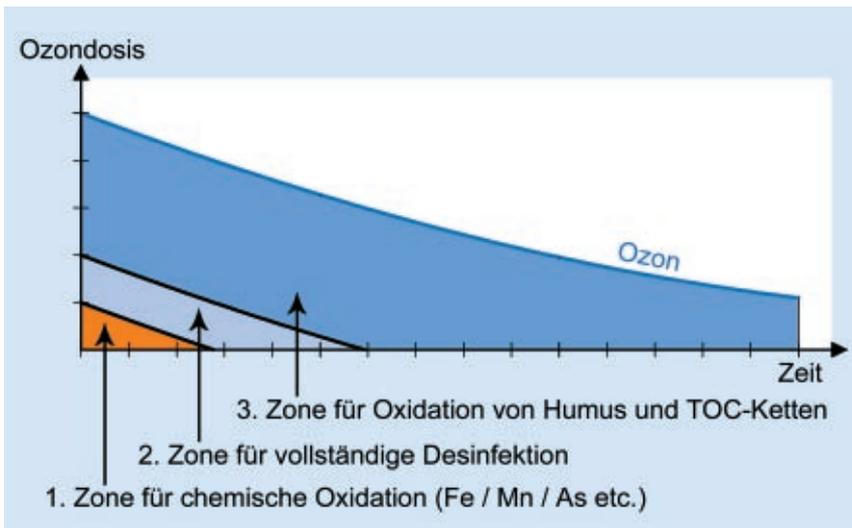


Abb. 3: Reaktionskinetik Ozon-Wasser

Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

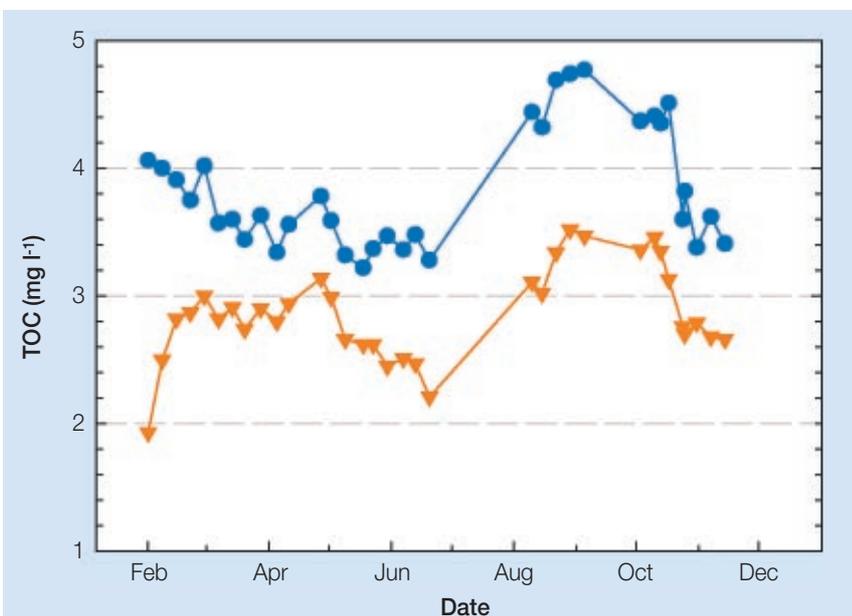


Abb. 4: TOC-Konzentrationen im Rohwasser und im Reinwasser [3]

Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

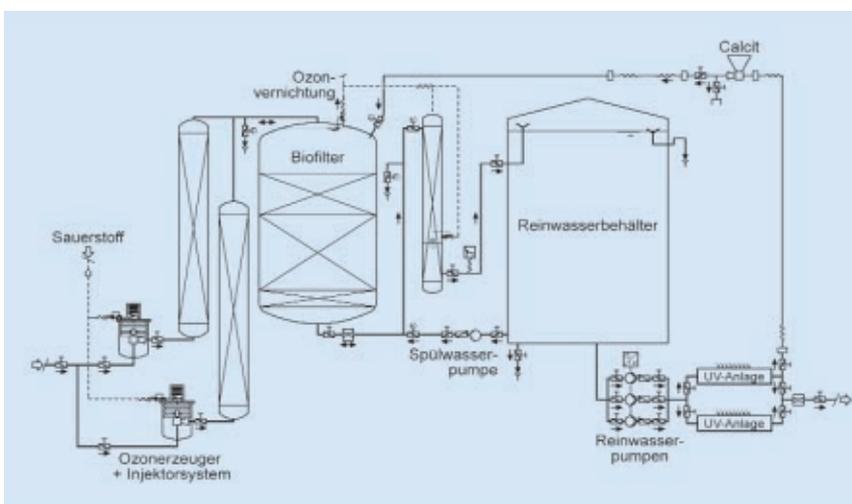


Abb. 5: Prozessschema

Quelle: Hydro-Elektrik GmbH

Kombinationsfilter für die Ozon-Biofiltration und die Entsäuerung müssen damit meist eine zylindrische Höhe von rund vier Metern aufweisen. Zum Nachfüllen des Entsäuerungsmaterials sollte deshalb eine festinstallierte Einrichtung mit Feststoffpumpe installiert sein.

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 m² Filterfläche. Bei Luftspülung würde zu viel Biomasse aus dem Filter ausgetragen, was beim Wiederaufstart zunächst eine verminderte Abbauleistung bedeuten würde. 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 Überschusozon eingesetzt.

Messtechnische Ausstattung

Neben einer kontinuierlichen Mengenmessung ist der Restozongehalt im oxidierten Wasser nach der Reaktionsstrecke kontinuierlich zu erfassen. Beide Werte werden ausgewertet und bilden die Basis für die automatische Steuerung der Ozonproduktion. Messungen des pH-Wertes sowohl im Rohwasser als auch im Reinwasser geben Auskunft über die Entsäuerungsleistung bzw. ob jeweils noch genügend Kalziumkarbonat in den Filtern vorrätig ist. Bei schwankenden Rohwasserverhältnissen kann ferner eine kontinuierliche Trübungsmessung sowohl des Rohwassers als auch des Reinwassers erforderlich werden. Mit Letzterer könnte auch eine zusätzliche Dosierung von Flockungsmitteln gesteuert werden. Leitfähigkeitsmessungen, Druck- und Temperaturmessungen sind prozesstechnisch nicht relevant.

Praxisbeispiel

Für mehrere westnorwegische Kommunen wurden von Hydro-Elektrik GmbH Ozon-Biofiltrationsanlagen errichtet. Die Aufbereitungsleistungen bewegen sich im Bereich zwischen 10 m³/h bis zu 200 m³/h. Die nachfolgend vorgestellte Anlage mit einer Aufbereitungsleistung von rund 150 m³/h steht auf einer Insel in der Nähe von Bergen (Abb. 5).

Das Rohwasser für die Anlage wird in ca. 30 Metern Tiefe mittels Saugleitung direkt aus einem See entnommen und über eine Pumpstation mit drehzahlgeregelten Unterwassermotor-Pumpen den Aufbereitungsanlagen zugeführt. Im Aufbereitungsgebäude sind drei HYDROZON®-Kompaktanlagen mit je zwei Ozonerzeugern mit integriertem Mischsystem und je zwei Reaktionsbehältern installiert. Jeder der sechs elektronisch gesteuerten Ozonerzeuger generiert bis zu 150 g Ozon/h. Die maximale Ozondosis beträgt damit rund 6 g/m³.

Nach der Filtration wird das Wasser in einem Edelstahltank zwischengespeichert und von dort mittels frequenzgesteuerter Pumpen in das Netz eingespeist. Zwischen Pumpen und Wasserwerksausgang sind zwei UV-Anlagen zur betriebsabschließenden Desinfektion installiert.

Kosten

Die Investitionskosten für die komplette verfahrenstechnische Einrichtung inklusive Pumpstationen und Reinwasserbehälter beliefen sich auf rund 1 Mio. Euro. Die laufenden Betriebskosten der Ozon-Kompakt-

anlagen liegen bei rund 1,5 bis 2 Cent/m³ und damit im Vergleich zu Nanofiltrationsanlagen in einem günstigen Bereich.

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) und Probleme mit Nachverkeimungen im Netz haben sich nicht bestätigt. In Bezug auf mögliche Reaktionsnebenprodukte bei der Ozonung ist insbesondere der Bromidgehalt des Rohwassers zu beachten. Höhere Bromidgehalte können insbesondere bei pH-Werten über 7,5 zur Bildung von Bromat und erhöhten THM-Gehalten führen. Die für den Aufbereitungsbetrieb erforderlichen Stoffe und Filtermaterialien sind in der Liste des Umweltbundesamtes enthalten [4]. 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 eingesetzt werden bzw. dessen Einsatz in Erwägung gezogen werden.

Literatur:

- [1] Increase in color and amount of organic matter in surface waters. Position Paper 009 – Nordtest, 02150 Espoo, Finland.
- [2] NTNU – Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Professor Dr. Hallvard Ødegaard.
- [3] „Testing Ozonation-Biofiltration Plant“ SINTEF in Trondheim/Norwegen, Ergebnisse eines Forschungsauftrages der Hydro-Elektrik GmbH 1999-2001.
- [4] Liste der Aufbereitungsstoffe und Desinfektionsverfahren gemäß § 11 TrinkwV 2001, Bundesgesundheitsbl. – Gesundheitsforsch. – Gesundheitsschutz 2005/48.

Autor:

Dipl.-Ing. (FH) Manfred Brugger
 Hydro-Elektrik GmbH
 Angelestr. 48/50
 88214 Ravensburg
 Tel.: 0751 6009-47
 Fax: 0751 6009-33
 E-Mail: manfred.brugger@hydro-elektrik.de
 Internet: www.hydro-elektrik.de ■

Ideenschmiede für Wassertechnik

Die Hydro-Elektrik GmbH – ein seit 35 Jahren erfolgreich tätiges Unternehmen für wassertechnische Systemlösungen – präsentiert sich erstmals auf der Wasser Berlin.

Hydro-Elektrik hat die Art der Trinkwasserspeicherung revolutioniert. Bei diesem neuartigen System erfolgt die Wasserspeicherung in hermetisch abgeschlossenen Edelstahltanks.

Die Behälter werden im Spezialverfahren direkt auf der Baustelle gefertigt. Einzel tanks mit Volumen bis zu mehreren tausend Kubikmeter können so rationell hergestellt werden. Für die Wasseraufbereitung bietet Hydro-Elektrik mit Trinkwasserkompaktanlagen eine breite Palette für nahezu jede Aufbereitungsproblematik an.

Stark ist die Firma in der kundenorientierten Projektentwicklung auf Basis komplexer Systemlösungen – auch mit internationalem Tätigkeitsfeld. Neben dem Stammsitz in Ravensburg ist das Unternehmen in Gütersloh sowie in Bergen/Norwegen präsent.

Überzeugen Sie sich von den Vorteilen modernster Produkte und Systeme.

www.wasseraufbereitungssysteme.de



- **Trinkwasser-Speicheranlagen**
- **Badwasseraufbereitungsanlagen**
- **Edelstahlgroßbehälter**
- **Schaltanlagen, Automatisierung, Prozessleittechnik**
- **Wasseraufbereitungsanlagen für Kommunen und Industrie**
- **Ausrüstungen und Zubehör für die Wasserversorgung**
- **Anlagen für Ionenaustausch und Entgasung**
- **Pumpwerke und Druckerhöhungsanlagen**
- **Ozon-Anlagen**

Firmengruppe Hydro-Elektrik GmbH

Angelestraße 48/50 Tel. 0751/6009-0

88214 Ravensburg Fax 0751/6009-33

www.hydro-elektrik.de info@hydro-elektrik.de



Verfahrenstechnik