

Unterirdische Enteisenung und Entmanganung von Grundwasser

Zukunft Wasserwirtschaft: Innovative Technik für nachhaltige Kostensenkung

Neue Maßstäbe für Wirtschaftlichkeit und Umwelt

...das ist Versprechen und Leistung modernster Wasseraufbereitungstechnik: der unterirdischen Enteisenung und Entmanganung von Grundwasser.

Wasseraufbereitung mit Unterstützung der Natur – eine einfache Formel, die enorme Wirkung entfaltet. Und die nach einem erstaunlich einfachen Verfahren funktioniert. Die unterirdische Enteisenung und Entmanganung von Grundwasser (UEE), auch In-situ-Aufbereitung, aktiviert einen natürlichen Aufbereitungsprozess im Grundwasserleiter (Aquifer) bereits vor der Förderung. Damit schafft die UEE im Vergleich zu oberirdischen Filteranlagen einen deutlichen Vorsprung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit – und das bei vergleichsweise hoher Aufbereitungsqualität, ohne die Umwelt zu belasten.



Hand in Hand arbeiten wir als Vertreter aus Forschung und Lehre, mit umfassender Ingenieurkompetenz und praktischer Herstellererfahrung bereits seit Jahrzehnten an der In-situ-Aufbereitung. Aus guten Ideen entstehen so rentable und umweltgerechte Lösungen, von denen Sie – und damit auch Ihre Kunden – im täglichen Betrieb profitieren.

Planen Sie ein neues Grundwasserwerk oder eine Erweiterung? Soll alte Filtertechnik ersetzt werden? Nutzen Sie alle Vorteile einer zukunftsweisenden Verfahrenstechnik:

- aktive Kostenreduzierung von Bau bis Betrieb
 - Sparen Sie ca. 50% der Gesamtinvestition.
 - Reduzieren Sie Betriebskosten.
 - Vermeiden Sie Wartungskosten (kein Wechsel von Filtermaterialien!) sowie zukünftige Kosten für Brunnen- und Pumpenregeneration.
- höchste Aufbereitungsqualität
- maximale Betriebssicherheit

Modernste Wasseraufbereitung für Kosteneffizienz – wir sind Ihr Partner von der Vorplanung bis zum Abschluss!



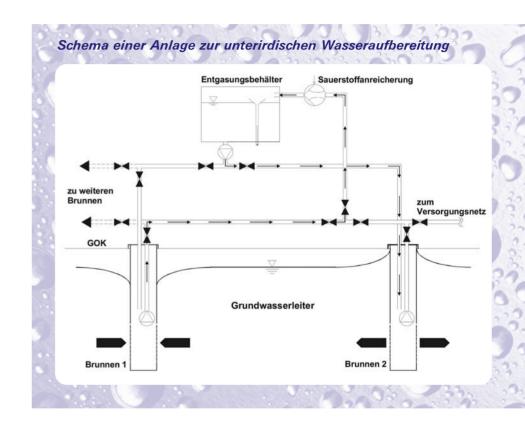
Historie und Anwendung

Bei erster Betrachtung ist es nicht nachvollziehbar, dass das vielfach bewährte Verfahren der In-situ-Aufbereitung in der Wasserwerkstechnik nur begrenzt Eingang gefunden hat. Wird doch die unterirdische Enteisenung und Entmanganung von Grundwasser seit den 70er Jahren im großtechnischen Maßstab, seit den 80er Jahren auch in einer Vielzahl von Kleinanlagen zur Trink- und Brauchwasseraufbereitung u.a. auch in den Niederlanden und in Skandinavien in verschiedenen Konzeptionen eingesetzt. Über das Anfangsstadium ist dieses Verfahren also längst hinaus: Als anerkannter Stand der Technik ist die In-situ-Aufbereitung in der Technischen Regel DVGW-Arbeitsblatt W 223 festgeschrieben.

Insbesondere die niedrigen Investitionskosten, aber auch geringe Folgekosten, z.B. durch die Vermeidung der Verockerung von Pumpen und Rohrleitungen, führen als positive Merkmale letztlich zu Interessenkonflikten und damit zur ungerechtfertigten Ablehnung des Verfahrens.

Der In-situ-Aufbereitung von Grundwasser genügen bereits geringe Mengen an Luftsauerstoff – eingebracht in den Grundwasserleiter – zur Aktivierung des wirkungsvollen Wasseraufbereitungsprozesses. Zwar werden in erster Linie Enteisenung und Entmanganung des Wassers angestrebt, aber auch eine Nitrifikation des Ammoniums, eine gewisse Verringerung leicht oxidierbarer organischer Substanzen und eine Reduzierung von Arsen werden erreicht.

Die Stoffe, die aufgrund reduzierter Bedingungen im Grundwasserleiter gelöst werden, werden durch Oxidation in den Festzustand zurückgeführt und im gleichen Grundwasserleiter lediglich an anderer Stelle dauerhaft wieder festgelegt.



Das besondere Merkmal gegenüber herkömmlichen oberirdischen Filteranlagen ist die Nutzung des Grundwasserleiters selbst im brunnennahen Bereich als Reaktionsraum und zum Verbleib der Reaktionsprodukte.

Mehrbrunnen-Technik

Für den kontinuierlichen Förderbetrieb und bei entsprechend hohen Leistungen arbeitet die unterirdische Enteisenung und Entmanganung mit mindestens zwei Brunnen.

Jeder Brunnen wird im Wechsel als Infiltrationsbrunnen und als Förderbrunnen betrieben: Dabei wird ein Teil des Wassers des im Förderbetrieb befindlichen Brunnens nach einer Anreicherung mit Sauerstoff aus der Luft durch einen Entgasungsbehälter geleitet, um evtl. noch vorhandene Luftblasen auszutragen. Zur Oxidation der im Grundwasser gelösten Metalle wird die mit Luftsauerstoff angereicherte Teilwassermenge über den zweiten Brunnen in den Grundwasserleiter reinfiltriert. Nach dem Durchsatz bestimmter Förder- und Infiltrationsmengen erfolgt eine Umschaltung der Brunnenfunktionen. Aus dem bisherigen Infiltrationsbrunnen erfolgt dann die Förderung, während über den anderen Brunnen sauerstoffreiches Wasser infiltriert wird.

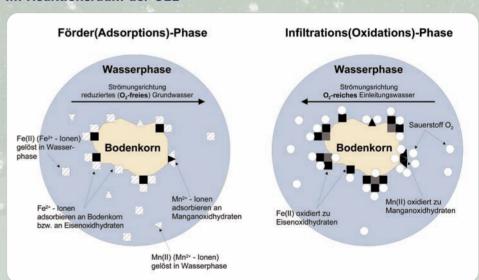
Durch die Einleitung von mit Sauerstoff angereichertem Wasser in den Grundwasserleiter entsteht um den Brunnen ein Reaktionsraum mit erhöhter Redoxspannung. Die Größe dieses Reaktionsraumes wird bestimmt durch die Infiltrationsmenge und den Anteil an aktivem Porenvolumen im Grundwasserleiter.

+

04 Das Verfahren

Beim Ersatz von Altanlagen wird durch einen vorübergehenden Betrieb beider Systeme ein nahtloser Übergang ohne Unterbrechung der Trinkwasserversorgung erreicht. Innerhalb des Reaktionsraumes erfolgt durch den eingetragenen Sauerstoff die Aktivierung der komplexen Aufbereitungsmechanismen. Dabei werden die chemisch-physikalischen Vorgänge durch eine autokatalytische Wirkung der bereits festgelegten Oxide unterstützt. Mikrobiologische Vorgänge spielen zusätzlich eine wesentliche Rolle

Adsorptions-Oxidations-Modell – chemisch-physikalische Vorgänge im Reaktionsraum der UEE



Auf dem Bodenkorn abgelagerte Eisen- und Manganoxidhydrate führen zu einer hohen Adsorptionskapazität gegenüber Eisen- und Mangan-Ionen in der Förderphase.

Der während der Infiltrationsphase eingetragene Sauerstoff erreicht beim Durchströmen des Grundwasserleiters an der Kornoberfläche adsorbierte Eisen- und Mangan-Ionen und oxidiert sie zu schwerlöslichen Verbindungen. Ein Teil des Sauerstoffs wird adsorbiert und steht zu Beginn der Förderung noch zur Oxidation zur Verfügung.

Der Ergiebigkeitskoeffizient K_E gibt das Verhältnis zwischen Infiltrationsmenge und Fördermenge eines Aufbereitungszyklus an. Er liegt normalerweise – je nach Rohwasserqualität – zwischen 2 und 12. $K_E = 6$ bedeutet z.B., dass nach der Infiltrationsphase die 6fache Menge an aufbereitetem Wasser dem Brunnen entnormmen werden kann

Wirksamkeit

Bei ca. 25% wirksamem Porenvolumen in einem Lockergestein-Grundwasserleiter wird mit der Infiltration ein Reaktionsraum geschaffen, der gegenüber der Infiltrationsmenge das ca. 4fache Volumen aufweist - ein Vielfaches größer als bei herkömmlichen Schnellfiltern. In diesem groß dimensionierten Raum wird das Wasser zum Brunnen hin gefördert. Die Infiltration erfolgt in entgegengesetzte Richtung vom Brunnen ausgehend in den Grundwasserleiter. Damit wird - im Gegensatz zu herkömmlichen Filtern - der gesamte Reaktionsraum für die Aufbereitung aktiv, und die Vorgänge der Oxidation und Adsorption werden vorteilhaft weitgehend getrennt. Da die Fördermenge die Infiltrationsmenge stets übersteigt, gibt es über den Reaktionsraum hinaus keine Veränderung des im Grundwasserleiter herrschenden Gleichgewichts.

Reaktionsraum im Aquifer und im Filter Aquifer 100 m³/h 600 m² 6000 m³ r = 14 m 100 m³/h 10 m² 20 m³

Selbst sehr schwierige Wässer mit extrem hohen Eisen- und Manganwerten können mit der unterirdischen Enteisenung und Entmanganung auf sehr niedrige Endwerte aufbereitet werden.



Zusätzliche Reaktionen

Neben der fokussierten Enteisenung und Entmanganung werden durch die In-situ-Aufbereitung weitere positive Abbaueffekte erzielt:

- Ammonium und/oder Nitrit im Grundwasser werden nitrifiziert und damit deutlich gesenkt. Die Umwandlung erfolgt dabei immer bakteriologisch und bei Ammonium immer zweistufig. Die sich bildende Biomasse ist gering und in der Regel ohne Bedeutung.
- Schwefelwasserstoff und der damit unangenehme Geruch werden durch Oxidation beseitigt.
- Schwermetalle wie Arsen, Nickel etc. können reduziert werden. Da sich diese Stoffe in die Eisenoxidationsprodukte einlagern, ist es erforderlich, dass das Grundwasser einen Mindesteisengehalt aufweist.
- Methan im Grundwasser oxidiert im Grundwasserleiter bei einem Sauerstoffeintrag noch vor dem Eisen, wodurch bei hohem Sauerstoffbedarf verhältnismäßig viel Biomasse gebildet wird; bei methanhaltigen Grundwässern wird daher eine besondere Betriebsweise gefahren.

Verbleib der Oxide

Eine erste Betrachtung des Verfahrens führt zu der Vermutung, dass es durch den Verbleib der Metalle im Aquifer zu frühzeitigen Verstopfungen im Brunnenbereich kommen muss. Das Gegenteil ist der Fall: Die Lebensdauer der Brunnen wird beim Verfahren der In-situ-Aufbereitung deutlich verlängert.

Die tatsächlich anfallende Eisenmenge wird in der Regel erheblich überschätzt. Außerdem erfolgt bei der unterirdischen Wasseraufbereitung die Ablagerung in Form von kristallinem Eisenoxidhydrat mit einer spezifischen Dichte von 4,09 t/m³ – somit wird eine wesentliche Verminderung des Volumens erzielt.

Ein Beispiel:

Wasserentnahme: 1.000 m³/Tag

Eisengehalt: 5 mg/l
Betriebszeit: 30 Jahre

Wasserentnahme in 30 Jahren: 10.950.000 m³

Die im Beispiel angenommene Wassermenge enthält 54,75 t Eisen, das – als Eisenblock angenommen – ein Volumen von 6,97 m³ einnimmt. Diese Eisenmenge ergibt durch die unterirdische Wasseraufbereitung 87,6 t Eisenoxidhydrat mit einem Volumen von nur 21,4 m³.

Das reale Porenvolumen eines natürlich gewachsenen Aquifers (Feinsand bis Grobkies) beträgt 36% bis 42%. Bei der Annahme von nur 36% könnte man

rechnerisch das gesamte Eisenoxidhydrat aus der Wasserförderung von 30 Jahren in nur knapp 60 m³ Sand/Kies unterbringen. So werden nur weniger als 10 % des ursprünglich verfügbaren Porenvolumens verschlossen!

Bei einer mittleren Aufbereitbarkeit mit einem Ergiebigkeitsfaktor von $K_{\epsilon}=5$ werden jedoch bei der o.a. Rechnung ca. **850 m³** Bodenvolumen vom Sauerstoffeintrag erreicht. Damit sind nach den ersten 30 Betriebsjahren noch deutlich mehr als 90% des Porenvolumens im Aquifer verfügbar. Darüber hinaus vergrößert sich der Reaktionsraum in dem Maß, in dem aktives Porenvolumen durch Ablagerung geschlossen wird, wenn die Rückführung von mit Sauerstoff angereichertem Wasser in der Menge gleich bleibt.

Ihr Kostenfaktor: Durch die Infiltration von Sauerstoff im Überschuss werden bei der In-situ-Aufbereitung in unmittelbarer Brunnennähe keine Oxidationsprodukte mehr festgelegt. Eine Verockerung von Brunnen, Pumpen und Rohrleitungen wird sicher vermieden.





Stichwort: Wirtschaftlichkeit

Kosteneinsparung ist ein zentrales Ziel bei Neubau und Modernisierung von Wasseraufbereitungsanlagen. Die Investition in eine Anlage zur In-situ-Aufbereitung rechnet sich mehrfach – vom Zeitpunkt Ihrer Entscheidung an.

Investitionskosten

Relativ wenige Funktionselemente und der Verzicht auf große Filterbehälter wirken sich ausgesprochen preisgünstig in Bezug auf das Gerät und auch hinsichtlich der Baukosten aus.

Ein Beispiel:

Eine FERMANOX®-Kompaktanlage zur unterirdischen Aufbereitung für die Infiltration von entsprechend einer Aufbereitungsleistung von bei mittlerer Aufbereitbarkeit, kostet netto (je nach Ausstattung, ohne Montage)
Für die Aufstellung ist ein Platz von nur erforderlich, so dass sich bei normaler Raumhöhe ein erforderliches Bauvolumen von

900 – 1.000 m³/Tag, 3.000 – 8.000 m³/Tag

ca. 60.000,00 EUR

ca. $2,5 \times 3,5 \text{ m}$

ca. 30m³ ergibt.

Obwohl ein zusätzlicher Brunnen mit Pumpe erforderlich ist, liegen die Gesamtinvestitionskosten für den Bereich Förderung und Aufbereitung ca. $40-50\,\%$ niedriger als bei oberirdischen Kiesfilteranlagen.

Betriebs- und Folgekosten

Bei der unterirdischen Enteisenung und Entmanganung von Grundwasser wird eine Teilwassermenge mit Sauerstoff wieder in den Aquifer infiltriert. Die zusätzliche Förderung dieser Teilwassermenge bestimmt die Betriebskosten, bezogen auf die Aufbereitung.

Im Vergleich: In geschlossenen Schnellfiltern mit Verdichter muss das Wasser mit mindestens gleich hohem Energieaufwand belüftet werden. Bei offenen Anlagen wird die gesamte Wassermenge mit deutlich höherem Energieaufwand zweimal gefördert.

Durch die In-situ-Aufbereitung entfallen zukünftig Kosten

- für Filterrückspülungen und die Entsorgung der anfallenden Filterschlämme
- für den Austausch von Filtermaterialien und deren Entsorgung
- durch Verzicht auf Chemikalien
- für Brunnenregenerationen und Pumpenreinigungen

Ist die In-situ-Wasseraufbereitung erst einmal in Betrieb, arbeitet sie völlig wartungsfrei und setzt die Position "Wartungskosten" dauerhaft auf Null.



...und die Köpfe dahinter

Forschung

Prof. Dr.-Ing. Ulrich Rott Ordinarius für Siedlungswasserbau und Wassergütewirtschaft der Universität Stuttgart



"Forschung und Lehre bringen Technik voran"

Die unterirdische Enteisenung und Entmanganung von Grundwasser ist zwar seit Ende des 19. Jahrhunderts bekannt, wurde aber erst seit den 1970er Jahren verstärkt als "In-situ-Aufbereitung" erfolgreich im In- und Ausland eingesetzt. Heute

arbeiten mehr als 20 innerdeutsche Wasserwerke, aber auch mehrere tausend Kleinanlagen mit diesem Verfahren.

Seit mehr als 30 Jahren begleitet Prof. Dr.-Ing. Ulrich Rott als Inhaber des Lehrstuhls für Siedlungswasserbau und Wassergütewirtschaft die Entwicklung mit zahlreichen Forschungsprojekten und Feldversuchen. Ausgezeichnet: Das Projekt "Unterirdische Wasseraufbereitung mit Horizontalfilterbrunnen Boker Heide" erhielt die Goldmedaille als weltweites Projekt der EXPO 2000.



Engineering

prosys° GmbH Bremen prosys°

"Nachhaltigkeit im Fokus"

Für Projektvorhaben rund um Wasser, Energie und Umwelt sind wir Ihr Ansprechpartner! Seit 1997 bieten wir umwelttechnische Komplettlösungen: Projekte im Rahmen der Trinkwassergewinnung und Abwasseraufbereitung sowie Maßnahmen zur Senkung des Energiebedarfs – wir planen, bauen und betreuen.

Aktiver Umweltschutz ist Basis und Ziel unserer Arbeit. Fachwissen und unsere Erfahrung sind zuverlässige Werkzeuge zur Schonung der natürlichen Ressourcen. Engagement mit Erfolg: 2005 erhielt die prosys° GmbH für das Verfahren fotokatalytischer Oxidation von Schadstoffen in Wasser den Bremer Umweltpreis.



...und die Köpfe dahinter

Engineering

Lührs Ingenieurbüro GmbH Bremen



"Erfahrung für Innovation"

Neue Entwicklungen vorantreiben und mit ihnen Zukunft gestalten – seit 100 Jahren ist dies unsere Erfolgsformel. Rentabilität für Ihr Unternehmen und die Bewahrung natürlicher Ressourcen sind dabei Ziel und gleich doppelt positives Ergebnis.

Anlagen zur unterirdischen Enteisenung und Entmanganung von Grundwasser haben sich zunächst im Container, längst aber auch in der Praxis bewährt. Mit der Planung kompletter Brunnenanlagen, aller Rohrleitungen, der Versuchsanlagen mit Schalt- und Steuereinrichtungen sowie der technisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen verfügen wir über umfangreiche projektbegleitende Erfahrung. Gerne sind wir auch Ihr Partner bei der



Realisierung innovativer Wasseraufbereitungverfahren!

Engineering

Zink Ingenieure GmbH Ingenieurbüro für Tief- und Wasserbau, Lauf



"Wasser ist Leben"

Schutz und Sicherung des wichtigsten Lebensmittels Trinkwasser – auf dieses Ziel richten sich unsere planerischen Leistungen unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Grundsätze.

Seit fast 50 Jahren bieten wir mit Studien, mit Planung und Bauleitung Kompetenz in vielfältigen Tätigkeitsbereichen: von Wasserver- bis Abwasserentsorgung, in Wasserbau, Landschafts- und Verkehrsplanung, bei der Erschließung von Wohn-, Gewerbe-, Industriegebieten sowie in der Elektro-, Mess-, Steuer- und Regeltechnik.

Auch die UEE wird von uns erfolgreich umgesetzt: Im Wasserwerk "Im großen Bruch" der Gemeinde

Sinzheim wurden mit dem innovativen Aufbereitungsverfahren Investitionskösten in Höhe von ca. 1 Mio. EUR eingespart.





...und die Köpfe dahinter

Hersteller

Winkelnkemper GmbH FERMANOX®-Wasseraufbereitungen, Wadersloh



"Praxiserfahrung für mehr Leistung"

Schon die ersten Versuche zu Beginn der 80er Jahre zeigten. Die unterirdische

Enteisenung und Entmanganung von Grundwasser hat Zukunftspotenzial!

Aus der anfänglichen Fertigung von Kleinanlagen für Haushalte und landwirtschaftliche Betriebe (1-Bohrbrunnen) erwuchs bald die Forderung nach Anlagen mit höheren Leistungen. Inzwischen versorgen wir Industrie, Wasserwerke und Kommunen mit Anlagen zur In-situ-Aufbereitung:

Beim Betrieb mit 2 bis 3 Bohrbrunnen werden Leistungen von bis zu 8.000 m³/Tag in 1 Einheit erreicht, die Parallelschaltung mehrerer Anlagen für noch höhere Leistungen ist möglich. Und über 7.500 in Betrieb befindliche Anlagen bezeugen unsere Erfahrung auf diesem innovativen Gebiet der Wasseraufbereitung.





Prof. Dr.-Ing. Ulrich Rott

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft (ISWA) Universität Stuttgart

Bandtäle 2, D-70569 Stuttgart fon: 0049 (0) 12 34 56 78 fax: 0049 (0) 12 34 56 78

mail: ulrich.rott@iswa.uni-stuttgart.de

www.iswa.uni-stuttgart.de

prosys° GmbH

Fahrenheitstr. 1, D-28359 Bremen fon: 0049 (0) 421 22 08 263 fax: 0049 (0) 421 22 08 259 mail: info@prosys-bremen.de www.prosys-bremen.de

Lührs Ingenieurbüro GmbH

Beratende Ingenieure

Hollerallee 8, D-28209 Bremen fon: 0049 (0) 421 34 854-0 fax: 0049 (0) 421 34 854-29 mail: info@luehrs-ingenieurbuero.de

Zink Ingenieure GmbH

www.luehrs-ingenieurbuero.de

Ingenieurbüro für Tief- und Wasserbau

Poststr. 1, D-77886 Lauf fon: 0049 (0) 78 41 70 3-0 fax: 0049 (0) 78 41 70 3-80 mail: info@zink-ingenieure.de www.zink-ingenieure.de

Winkelnkemper GmbH

FERMANOX®-Wasseraufbereitungen

Krummer Weg 31, D-59329 Wadersloh

fon: 0049 (0) 25 23 74 08 fax: 0049 (0) 25 23 25 27 mail: info@fermanox.de www.fermanox.de



Gerne erstellen wir Ihnen ein individuelles Angebot

Senden Sie uns einfach das Antwortformular per Post oder Fax – wir melden uns bei Ihnen! Für weitere Informationen und Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung:

fon: 0049 (0) 25 23 74 08

fax: 0049 (0) 25 23 25 27

mail: info@h2-pro.eu

Ansprechpartner:

Dipl.-Ing.

Heinz Winkelnkemper



Ja, wir interessieren uns für eine Anlage zur unterirdischen Enteisenung und Entmanganung von Grundwasser!

Firma:			
Ansprechpartner:			
Adresse:			
fon:	zu erreichen von	bis	Uhr
_fax:			
mail:			









