

# UNTERIRDISCHEN ENTEISENUNG IN DER TRINKWASSERAUFBEREITUNG



Erhöhte Eisen- und Mangankonzentrationen im Grundwasser sind ein weit verbreitetes Problem. Die Trinkwasserverordnung gibt für diese gelösten Metalle niedrige Grenzwerte vor. Außerdem führt ein Kontakt mit Sauerstoff zur Trübung und Verfärbung des Wassers sowie zu Ablagerungen in Brunnen, Pumpen, Rohrleitungen usw. (siehe **Bild 1**). Die gesetzlichen Anforderungen an die Trinkwasserqualität, aber auch an die technische Betriebssicherheit von Wasserversorgungsanlagen erfordern daher geeignete Wasseraufbereitungsverfahren zur Enteisung und Entmanganung [1; 2]. Eine gute Alternative zu den traditionellen Filtersystemen stellt dabei die Unterirdische Enteisung und Entmanganung (UEE) dar.

## Das Verfahren der unterirdischen Enteisung und Entmanganung

Mit einer unterirdischen Wasseraufbereitung lassen sich unter geeigneten Voraussetzungen sowohl die gesetzlichen Anforderungen an Trinkwasser bzgl. Eisen und Mangan einhalten als auch Verockerungen in Brunnen, Pumpen und Rohrleitungen vermeiden.



**Bild 1:** Verockerungen (im Bild in der Steigleitung einer Unterwasserpumpe) können bei der Verwendung von eisenhaltigem Grundwasser im gesamten Wasserversorgungssystem auftreten

Heute ist die unterirdische Enteisung und Entmanganung Stand der Technik [3] und im Regelwerk vom DVGW beschrieben [4]. Die Technologie und zahlreiche Anlagen bei Wasserwerken, z. B. beim Wasserwerk Boker Heide mit einer Aufbereitungsleistung von bis zu 2,5 Mio. m<sup>3</sup>/Jahr, sind in der Fachliteratur beschrieben [5 - 7]. Daneben sind inzwischen ca. 10.000 kleinere Kompaktanlagen unter dem Namen „Fermanox“ vornehmlich in Deutschland und den Niederlanden in Betrieb [8] (**Bild 2**).

Außer der klassischen Trinkwasseraufbereitung wird die unterirdische Aufbereitung auch für Tränkwasser, Bewässerungssysteme, Schwimmbäder, Brauch- und Prozesswasser sowie zunehmend im Bereich der offenen Geothermie eingesetzt.

Die Grundidee des Verfahrens ist sehr einfach: Von dem aus Brunnen geförderten Grundwasser wird eine Teilmenge abgezweigt, mit Sauerstoff aus der Umgebungsluft angereichert und über die Brunnen zurück in den Grundwasserleiter infiltriert. Durch den eingetragenen Sauerstoff entsteht um den Brunnen eine natürliche Reaktionszone (**Bild 2**). Strömt bei anschließender Förderung eisen- und manganhaltiges Wasser in diese Aufbereitungszone, wird zunächst das gelöste Eisen bei Kontakt mit dem Sauerstoff am Rand der Aufbereitungszone oxidiert und damit aus dem Wasser entfernt. Wo kein Eisen mehr im Grundwasser gelöst ist, erfolgt analog die Entmanganung durch Oxidation mit Sauerstoff. Das aufbereitete Wasser im Nahbereich des Brunnens mit Eisen- und Mangankonzentrationen weit unterhalb der Grenzwerte der Trinkwasserverordnung kann direkt genutzt werden und verursacht keine Verockerungen mehr.

Ehe die Kapazität an aufbereitetem Wasser erschöpft ist, erfolgt eine erneute Infiltration mit sauerstoffhaltigem Wasser. Je nach Rohwasserqualität kann nach jeder Infiltration die 2- bis 12-fache Menge aufbereitet gefördert werden.

Im Vergleich zum gesamten Volumen der gebildeten Oxide ist das Porenvolumen in der Reaktionszone im Grundwasserleiter riesig und kann die Oxide vieler Jahrzehnte ohne Einbußen der Durchlässigkeit aufnehmen. Zudem findet die Ablagerung der Oxide vorwiegend in den nicht durchströmten Porenzwickeln statt. Im Nahbereich vom Brunnenbauwerk ist kein Eisen oder Mangan mehr im Wasser gelöst, daher kann es dort nicht mehr zu

Oxidablagerungen kommen. So wird die Lebensdauer eines Bohrbrunnens durch den Einsatz einer unterirdischen Wasseraufbereitung deutlich erhöht.

## Voraussetzungen für die Unterirdische Enteisung

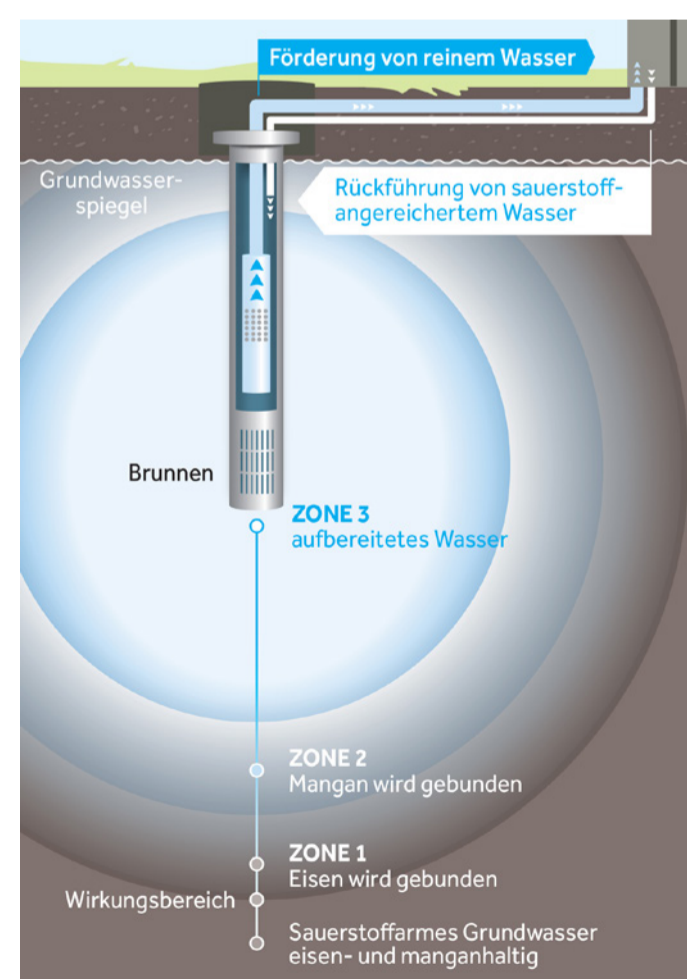
Die wichtigste Voraussetzung ist ein Grundwasserleiter im Lockergestein (Sand oder Kies), dessen Porenstruktur die nötige Oberfläche für die beschriebenen Reaktionen in der Aufbereitungszone bietet. Strömungen in stark durchlässigen Grundwasserleiter können die Reaktionszone deformieren.

Einschränkungen bzgl. der Grundwasserchemie gibt es nur dort, wo ein niedriger pH-Wert und eine niedrige Pufferkapazität eine erfolgreiche Entmanganung verhindern oder ein extrem hoher Sauerstoffbedarf die Effizienz der Aufbereitung deutlich senken würden. Daher kommt der Bewertung der Rohwasseranalysen eine herausragende Bedeutung bei der Auslegung einer Wasseraufbereitungsanlage zu.

Die Anforderungen an den Brunnenbau werden bereits durch die allgemein anerkannten Regeln der Technik abgedeckt. Fehler im Brunnenbau wie mangelhafte Abdichtungen können sich bei einer unterirdischen Wasseraufbereitung unmittelbar im Aufbereitungserfolg widerspiegeln. Daneben gibt es aber auch aufbereitungsspezifische Anforderungen. Hier ist vor allem die Notwendigkeit möglichst kurzer und ungeteilter Filterstrecken zu nennen, um homogene Reaktionszonen mit großem Radius aufbauen zu können.

## Technische Umsetzung

Bei größeren Aufbereitungsleistungen arbeiten Anlagen zur unterirdischen Enteisung im zyklischen Betrieb mit mehreren Brunnen. Bei einem 3-Brunnen-System besteht bspw. ein Aufbereitungszyklus aus drei Phasen. In Phase 1 dienen Brunnen 1 und 2 als Förderbrunnen. Gleichzeitig wird eine definierte Teilmenge abgezweigt,



**Bild 2:** Durch Infiltration von sauerstoffhaltigem Wasser über die Bohrbrunnen wird eine Aufbereitungszone im Grundwasserleiter etabliert

mit Sauerstoff angereichert und nach einer kurzen Entlüftung über Brunnen 3 in den Grundwasserleiter infiltriert. Dort bewirkt der eingetragene Sauerstoff den beschriebenen Aufbereitungsprozess. Sobald bei Brunnen 1 die Kapazität an aufbereitetem Wasser erschöpft ist, wird automatisch umgeschaltet. In Phase 2 fördern nun Brunnen 2 und Brunnen 3 aufbereitetes Wasser. Davon wird wieder eine Teilmenge abgezweigt und nach Sauerstoffanreicherung über Brunnen 1 infiltriert. In Phase 3 schließlich folgt die Sauerstoffanreicherung in Brunnen 2, während Brunnen 3 und Brunnen 1 aufbereitetes Wasser bereitstellen. Danach beginnt der nächste Zyklus von vorn (siehe Bild 3).

Sofern kein konstanter Wasserbedarf vorliegt, ist eine verbrauchsabhängige Regelung wichtig. Die Förder- und Infiltrationsmengen werden dann für jeden Brunnen anhand von Zählern erfasst. Das richtige Verhältnis wird mittels geeigneter Umschaltung der Förderbrunnen automatisch eingehalten. Die Regelung zeichnet außerdem die Betriebsdaten auf und überwacht den Prozess.

**Vergleich mit oberirdischen Filtern**

Gegenüber klassischen oberirdischen Schnellfiltern mit Belüftung hat die unterirdische Enteisenung vor allem drei Nachteile:

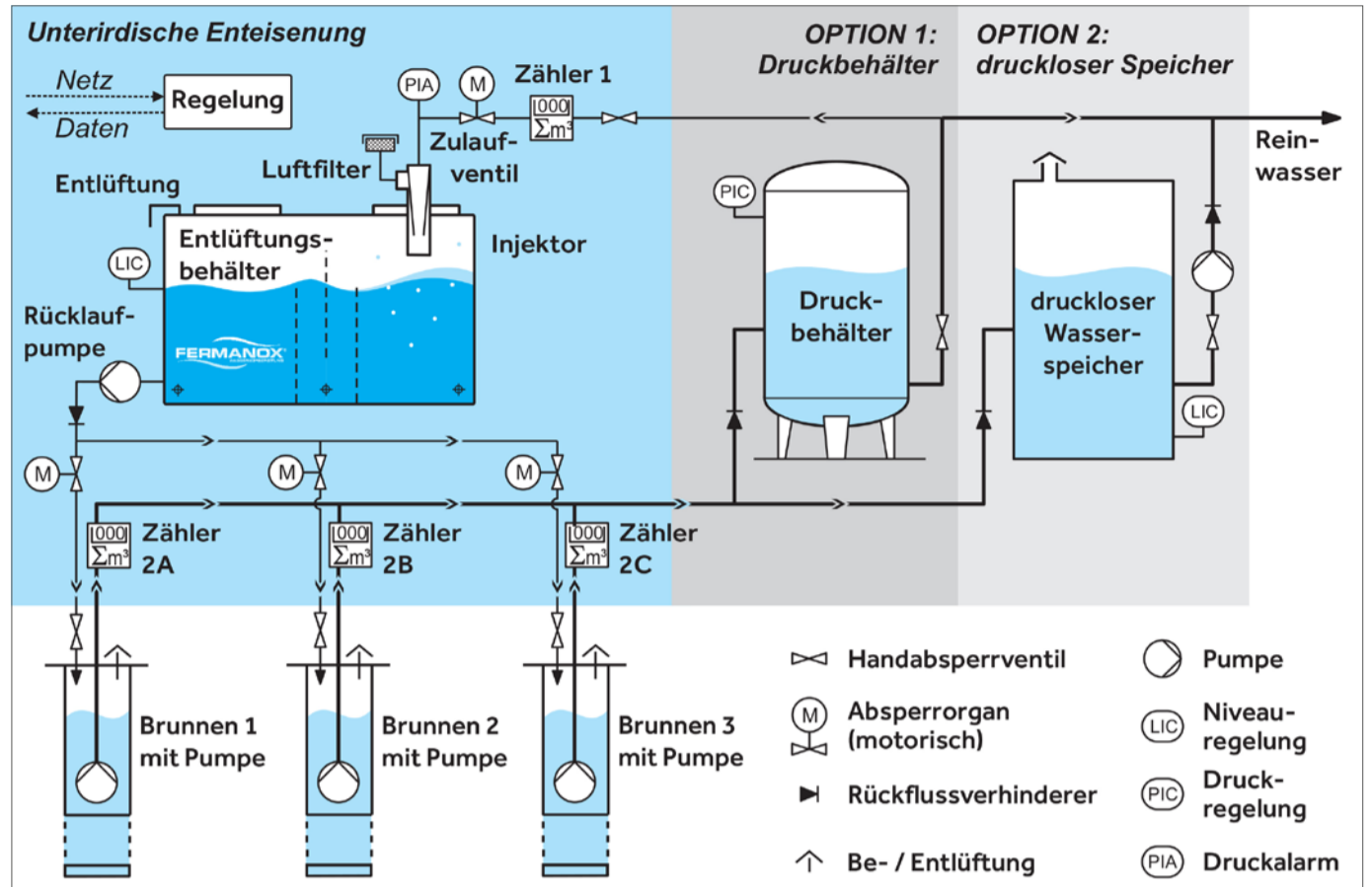
1. Die hydrogeologischen Voraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz einer unterirdischen Wasseraufbereitung sind nicht überall gegeben.
2. Es wird oft ein zusätzlicher Förderbrunnen benötigt, da ein Brunnen während der Infiltration mit sauerstoffhaltigem Wasser nicht für die Förderung verfügbar ist.
3. Die Zugabe von chemischen Hilfsmitteln ist im Gegensatz zu oberirdischen Filtern nicht möglich, da diese nicht in den Grundwasserleiter infiltriert werden dürfen.

Wo die hydrogeologischen Bedingungen für ihren Einsatz gegeben sind, bietet die unterirdische Enteisenung und Entmanganung aber viele Vorteile gegenüber oberirdischen Filtersystemen:

- hohe Effizienz: Die unterirdische Reaktionszone ist um ein Vielfaches größer als Sand- oder Kiesfilter, entsprechend auch die Kontaktzeit von gelösten Metallen und Sauerstoff. Das ermöglicht eine Enteisenung und Entmanganung auch bei sehr hohen Konzentrationen im Rohwasser.
- Umweltfreundlichkeit: Bei der UEE gibt es kein Filtermedium, das ausgetauscht oder rückgespült werden muss, somit entstehen weder Abfall noch Abwasser. Als Betriebsmittel werden nur Luft und elektrische Energie benötigt.
- Wartungsfreiheit: Die unterirdische Wasseraufbereitung schützt das gesamte Versorgungssystem



**Bild 4: Anlage zur unterirdischen Wasseraufbereitung beim Wasserverband Kleinhöhenrain**



**Bild 3: Beispielhaftes Fließschema einer Trinkwasserversorgung aus drei Förderbrunnen, die zyklisch reihum mit Hilfe einer unterirdischen Enteisenung aufbereitet werden**

inklusive der Förderbrunnen und -pumpen vor Verkürzungen. Dadurch wird der Wartungsaufwand für Brunnen, Pumpen und Rohrleitungen erheblich verringert.

- Wirtschaftlichkeit: Je höher die Aufbereitungsleistung ist, desto geringer fallen Bauvolumen und Investitionskosten von Anlagen zur unterirdischen Wasseraufbereitung im Vergleich zu oberirdischen Filtern aus. Dafür benötigt die unterirdische Aufbereitung aber einen zusätzlichen Bohrbrunnen. Da Wasserversorgungsanlagen meistens für Jahrzehnte konzipiert werden, entscheiden letztlich die Betriebskosten über die Wirtschaftlichkeit. Wegen der geringeren Wartungs- und Energiekosten fallen auch diese bei der UEE günstig aus. Eine vergleichende Betrachtung der Wirtschaftlichkeit lohnt sich also.

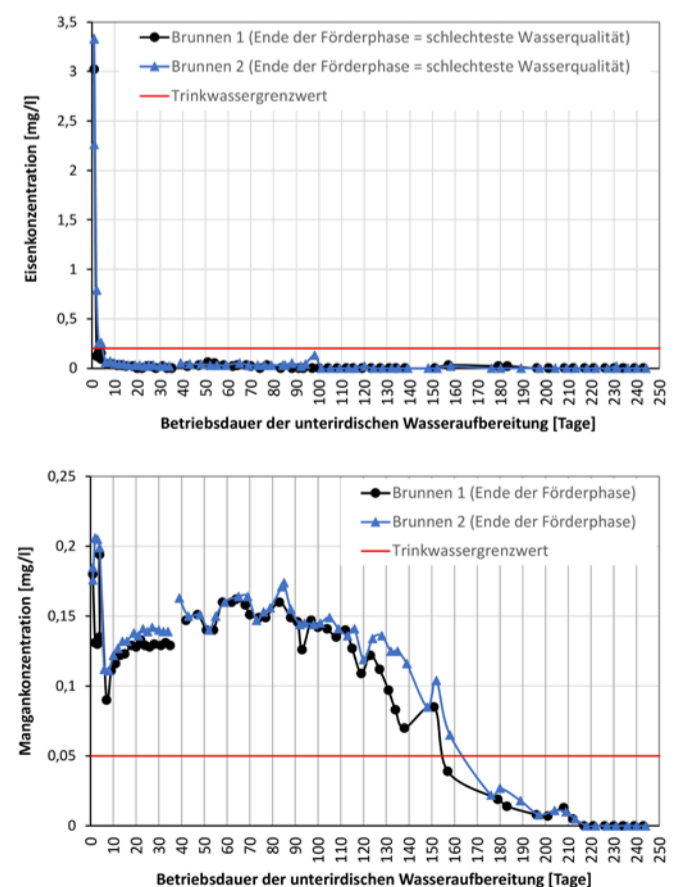
**Anwendungsbeispiele – Wasserwerk Kleinhöhenrain**

Der Wasserverband Kleinhöhenrain in Bayern errichtete 2012 einen neuen, 40 m tiefen Förderbrunnen (siehe Bild 4). Die Rohwasserqualität dieses Brunnens wies Eisen- und Mangankonzentrationen nahe den Trinkwassergrenzwerten und teilweise auch darüber auf. Zur sicheren Unterschreitung der Grenzwerte und weil sich in Rohrleitungen bereits Oxidablagerungen zeigten, wurde die Entscheidung getroffen, eine UEE nachzurüsten. Nach Errichtung eines weiteren Förderbrunnens 2016 wurde eine Fermanox-Anlage mit einer Aufbereitungsleistung von bis zu 1.300 m<sup>3</sup>/Tag in einem der Brunnenhäuser installiert. Da die beiden Brunnen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten in einem Abstand von nur 25 m gebohrt wurden, findet im Grundwasserleiter eine gegenseitige Beeinflussung und Verschiebung der unterirdischen Reaktionszonen statt, die durch eine geeignete Über-Infiltration kompensiert werden müssen. Dadurch verringert sich der Ergiebigkeitsfaktor der unterirdischen Wasseraufbereitung von  $kE = 11,3$  (bei Annahme eines größeren Brunnenabstands) auf immerhin noch  $kE = 7,1$ . Das bedeutet, dass nach Infiltration von sauerstoffhaltigem Wasser anschließend die 7,1-fache Menge eisen- und manganfrei dem Brunnen entnommen werden kann. Praktisch müssen zusätzlich zum Reinwasser noch  $1/(7,1-1) = 16\%$  mehr Wasser für die Sauerstoffanreicherung und Reinfiltration gefördert werden. Die Betriebskosten für die

Wasseraufbereitung beschränken sich auf den Energiebedarf der Pumpen für diese zusätzliche Förderung. Nach Inbetriebnahme der Fermanox-Anlage im Juli 2018 lagen die Eisen- und Mangankonzentrationen drei Monate später bei  $< 0,01$  mg/l und im Januar 2019 unterhalb der Nachweisgrenze von  $0,005$  mg/l.

Wasseraufbereitung Jürgenstorf (Mecklenburg-Vorpommern) (siehe Bild 5a, 5b)

Der Wasserzweckverband Malchin-Stavenhagen versorgt insgesamt über 20.000 Menschen mit Trinkwasser aus 23 Wasserfassungen. Die Wasserfassung Jürgenstorf soll zukünftig bis zu 600 m<sup>3</sup>/Tag Trinkwasser liefern. Um das bisher zur Wasseraufbereitung eingesetzte Kiesfilter durch eine UEE zu ersetzen, wurde 2016 zunächst ein Versuch mit den beiden Bestandsbrunnen mit Hilfe einer im Container neben



**Bild 5: Zeitliche Entwicklung der Eisen- bzw. Mangankonzentration im geförderten Grundwasser während der Einlaufphase einer unterirdischen Wasseraufbereitung beim WZV Malchin-Stavenhagen**

den Brunnen platzierten FERMANOX-Anlage mit einer Aufbereitungsleistung von 400 m<sup>3</sup>/Tag durchgeführt (siehe **Bild 6**). Trotz vergleichsweise hoher Ammonium- und Methankonzentrationen von jeweils ca. 1 mg/l unterschritten die Eisenkonzentrationen innerhalb einer Woche und die Mangankonzentrationen nach ca. 5 Monaten die Trinkwassergrenzwerte und blieben danach stabil unterhalb der Nachweisgrenze. Da Ammonium und Methan einen sehr hohen zusätzlichen Sauerstoffbedarf für die Oxidation in der unterirdischen Reaktionszone bringen, orientiert sich die Auslegung in diesem Fall nahezu ausschließlich daran. Mit einem Ergiebigkeitskoeffizient von  $kE = 2,1$  konnten aber selbst die höchsten Ammonium- und Methan-gehalte bei dem Brunnen mit der schlechtesten Rohwasserqualität bis auf Konzentrationen unterhalb der Nachweisgrenze entfernt werden.

Nachdem der Nachweis der Funktion erbracht war, wurden neue Brunnen erstellt und 2018 dann die endgültige Anlage im wechselweisen Betrieb mit drei Bohrbrunnen in Betrieb genommen. Bis die Anlage eingefahren war und stabil Wasser in Trinkwasserqualität direkt aus den neuen Brunnen gefördert werden konnte, wurde das Reinwasser noch über das alte Kiesfilter gefahren – so konnte ohne Unterbrechung der Versorgung die neue Technologie etabliert werden.

#### Fazit

Die Unterirdische Enteisenung und Entmanganung findet heute breite Anwendung in der Trinkwasseraufbereitung. Wo die Voraussetzungen für den Einsatz dieses Verfahrens gegeben sind, ist es meistens effizienter und wirtschaftlicher als traditionelle Filteranlagen. Die bisherigen Betriebserfahrungen belegen die gute Funktion des Verfahrens.

Bei den meisten Wasserwerken sind nach wie vor oberirdische Filter zur Enteisenung im Einsatz, oft seit Jahrzehnten. Besonders im Zuge von Modernisierungsmaßnahmen kann dort ein Umstieg auf die unterirdische Enteisenung große Einsparungen bringen, auch beim Thema Wartung. Das kleinere Bauvolumen von Anlagen zur unterirdischen Wasseraufbereitung spielt vor allem beim Neubau von Wasserwerken eine große Rolle.

Ein Vorversuch mit Leihanlagen bietet die Chance, Erfahrungen mit der Technologie zu sammeln und den Funktionsnachweis am Standort ohne Unterbrechung der Wasserversorgung zu führen [9].

#### Literatur

- [1] TrinkwV 2001: Trinkwasserverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. März 2016 (BGBl. I S. 459)
- [2] DVGW-Arbeitsblatt W223-1 (2005): Enteisenung und Entmanganung; Teil 1: Grundsätze und Verfahren; wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn

- [3] Groth, P. et al. (1997): Unterirdische Enteisenung und Entmanganung – aktualisierter Statusbericht; gwf – Wasser/Abwasser 138 (Nr. 4), S. 182 – 187
- [4] DVGW-Arbeitsblatt W223-3 (2005): Enteisenung und Entmanganung; Teil 3: Planung und Betrieb von Anlagen zur unterirdischen Aufbereitung; wvgw Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- [5] Rott, U. und Friedle, M. (2000): 25 Jahre unterirdische Wasseraufbereitung in Deutschland; gwf – Wasser/Abwasser 141 (Nr. 13), S. 99-107
- [6] Wischhusen, R. (2015): Bau und Erfahrungen beim Betrieb von Anlagen zur unterirdischen Enteisenung und Entmanganung; energie | wasser-praxis 6, S. 30 - 35
- [7] Ewert, Th. et al. (2011): Erfahrungen mit der unterirdischen Enteisenung an den Wasserwerken der NiederrheinWasser GmbH; gwf – Wasser/Abwasser 152 (Nr. 2), S. 170 - 175
- [8] Winkelkemper, T. (2015): Enteisenung im Grundwasserleiter; bbr 66 (Nr. 6), S. 49 – 55
- [9] Opel, O. und Winkelkemper, T. (2016): Online-Eisenmonitoring in der unterirdischen Wasseraufbereitung; bbr 67 (Nr. 12), S. 88 - 93

**Autor:** Dr.-Ing. Torsten Winkelkemper, Winkelkemper GmbH  
Fermanox Wasseraufbereitung, Wadersloh,  
Tel. 02523-9590958, t.winkelkemper@fermanox.de,  
www.fermanox.de