

# ISCO (In situ chemical oxidation) und ISCR (In situ chemical reduction) zur Sanierung kontaminierter Standorte mittels Grundwasser-Zirkulations-Brunnen (GZB)

G. REHNER<sup>1</sup>, E. J. ALESI<sup>2</sup>, J. MUELLER<sup>3</sup>, J. MORENO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>GfS mbH, Gruibingen, Germany

<sup>2</sup>IEG Technologie GmbH, Gruibingen, Germany

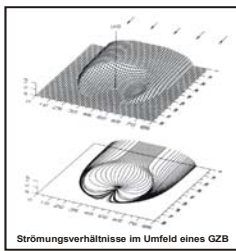
<sup>3</sup>Adventus Americas Inc., Chicago, USA

## Einleitung

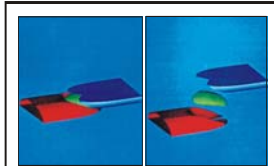
Der Einsatz von Verfahren wie ISCO (in situ chemical oxidation) oder ISCR (in situ chemical reduction) zur Sanierung kontaminierter Standorte wird zur Zeit intensiv diskutiert. Die Hauptschwierigkeit für die Anwendung dieser Verfahren stellt in der Regel die Verteilung der einzubringenden Chemikalien in den Untergrund dar. Störend wirken sich vor allem Inhomogenitäten in der Durchlässigkeit des Grundwasserleiters aus. Nur wenn sichergestellt wird, dass die eingebrachten Stoffe auch in ausreichender Menge und Kontaktzeit mit den Schadstoffen reagieren können, lassen sich die vorstehend genannten Techniken ökonomisch sinnvoll einsetzen. Die GZB-Technologie stellt eine kostengünstige Möglichkeit dar, reaktive Stoffe aller Art weitestgehend homogen im Grundwasserleiter zu verteilen. Sie erlaubt es, kurzfristig auf chemische Prozessverläufe zu reagieren und kann auf hydraulische Veränderungen im Grundwasserregime dynamisch angepasst werden. Sie ist für eine Vielzahl von Kontaminanten einsetzbar: Schwermetalle, LHKW, MKW/BTEX, Pestizide, persistente Industrieorganika u. a.

## Hydraulische Wirkungsweise

GZB erzeugen eine rotationsymmetrische Grundwasserzirkulationsströmung um eine vertikale Brunnenachse. Das Wasser in der Zirkulation muss den Brunnen vertikal durchströmen. Die Reichweite eines solchen Brunnens und die Anzahl der Zirkulationen eines Wasserteilchens innerhalb des Rotationskörpers hängen von den hydraulischen Gegebenheiten und vom Brunnenbetrieb ab. Das Strömungsregime um einen GZB lässt sich durch Modellrechnungen darstellen; in den letzten 15 Jahren wurden diese durch eine Vielzahl von Feldmessungen



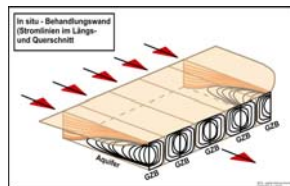
Strömungsverhältnisse im Umfeld eines GZB



3D - Ansicht eines Grundwasserzirkulationskörpers

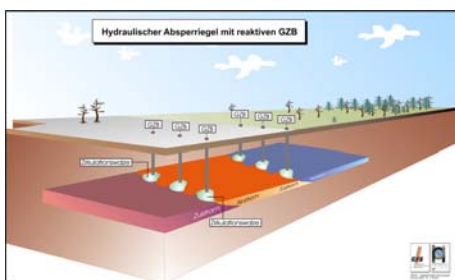
gen verifiziert.

GZB können als Einzelsysteme installiert werden, eine entsprechende Dimensionierung erlaubt auch die Errichtung von hydraulischen Ab-sperrriegeln quer zu einer Kontaminationsfahne. Damit kann sichergestellt werden, dass verunreinigtes Wasser in einer Fahne quantitativ behandelt werden kann, vergleichbar mit einer reaktiven Wand.

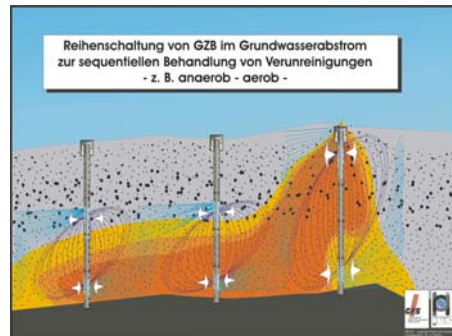


In situ - Behandlung einer Schadstofffahne (Längs- und Querschnitt)

Quer zur Längserstreckung einer Schadstofffahne lassen sich z. B. mehrere Brunnengalerien hintereinander anordnen, um anaerobe und aerobe Milieuzonen zum sequentiellen Schadstoffabbau zu erzeugen.



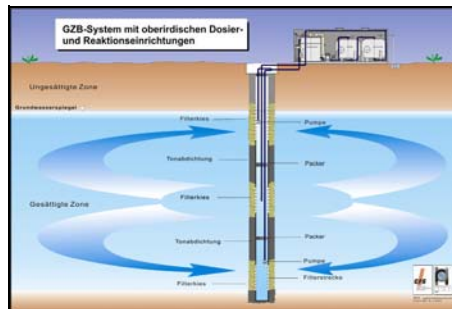
Hydraulischer Abperriegel mit reaktiven GZB



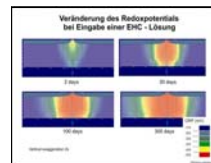
## Sanierungstechnische Anwendungen

### a) Einspülung bzw. Injektion in den Grundwasserleiter

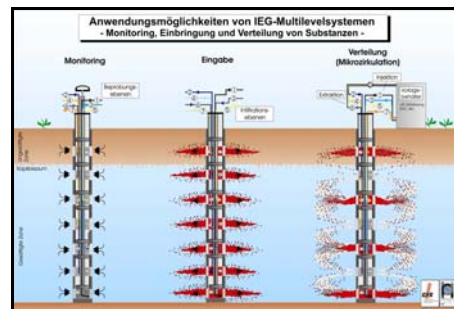
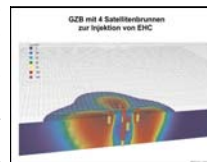
Die zur Durchführung von GZB-ISCO erforderlichen Chemikalien (Permanganate, Persulfate, Fentonsche Reagenz u. a.) werden on-site vorbereitet und in den durch den GZB erzeugten Grundwasserkreislauf eingespeist. Die Bedarfsmengen an Oxidant sollten zur Ermittlung von realistischen Sanierungskosten im Vorfeld durch Laborversuche ermittelt werden. Durch begleitende Modellierungen lassen sich die erwartete



Verteilung des Präparats im Zirkulationsfeld visualisieren bzw. die chemischen Veränderungen im Grundwasserleiter darstellen. Je nach Sanierungsverlauf ist es möglich, die Zirkulationsrichtung zu verändern. Auch für die Einbringung von Substanzen zur reduktiven Zerstörung von Kontaminanten (GZB-ISCR) bietet das System eine Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten.



ten. So können sowohl einfache Melasselösungen als auch Spezialpräparate wie EHC oder konditioniertes kolloidales Fe<sup>0</sup> in den Grundwasserleiter eingespült bzw. injiziert werden. Ist der Untergrund sehr gering durchlässig, bietet sich das Einbringen von sanierungsverstärkenden Präparaten durch stationär instal-

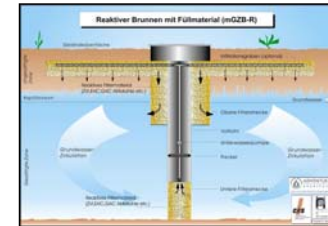


lierte Multilevel-Systeme an. Diese zeichnen sich durch eine größere Anzahl von vertikal angeordneten Filterstrecken aus, die eine weitgehend homogene

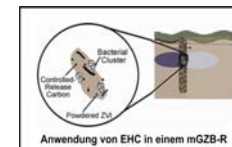
und horizontgenauere Dosierung ermöglichen. Die Multi-level-Systeme eignen sich auch zur Erzeugung von Mikrozirkulationen im Grundwasserleiter oder zum Monitoring von Sanierungsprozessen.

### b) Befüllung von Brunnenystemen

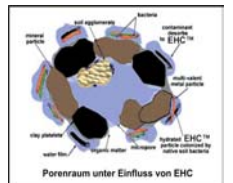
Wird reaktives Material in das Brunnenystem eingebracht, so können die Inhaltstoffe des den Brunnen durchströmenden Wassers damit interagieren. Aufgrund der definierten Passage durch die Brunnenkonstruktion sind die dort stattfindenden katalytischen und mikrobiologischen Effekte optimal



nutzbar. Je nach Befüllung des Systems werden toxische Wasserinhaltsstoffe nach Durchströmen des Brunnenystems katalytisch zerlegt und/oder Nährstoffe in das Wasser abgegeben. Letzteres verstärkt den schon bestehenden natürlichen Schadstoffabbau (ENA). Dabei ist es nicht zwingend notwendig, dass wie bei einer reaktiven Wand nach einer einmaligen Passage bereits eine vollständige Reinigung/



Dotierung erreicht wird. Ein Wasserteilchen wird mehrfach im Kreislauf geführt, bevor es den Einflussbereich des Brunnens wieder verlässt, seine Kontaktzeit also verlängert. Die Anzahl der Zirkulationen hängt von den hydraulischen Verhältnissen des Untergrundes ab. Als Füllmaterial für das Brunnenystem eignen sich z. B. Präparate wie EHC. Dies ist eine spezielle Kombination von kontrolliert freisetzbarem Kohlenstoff und reduzierten Metallen (z. B. Fe, Zn, Al) und dient zur Stimulierung reduktiver Dechlorierungsprozesse. Nach der Einbringung von EHC in die gesättigte Zone entwickeln sich durch das Zusammenwirken von physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Vorgängen stark negative Redoxpotentiale (nachgewiesen bis zu - 600 mV), die eine schnelle, vollständige Dechlorierungsreaktion herbeiführen. Die organische Komponente von EHC (kohlenstoffhaltiges Festmaterial) ist nährstoffreich, hydrophil und besitzt eine große Oberfläche als Grundlage für Bakterienwachstum. Die im EHC enthaltenen Metallpartikel wie z. B. mFe<sup>0</sup> oder nFe<sup>0</sup> begünstigen die direkte chemische Dechlorierung.



Verfahrensvorteile

Anstelle einer Vielzahl von einzelnen Injektionsstellen ("direct push") oder Feldern mit Entnahme- und Infiltrationsbrunnen können GZB in Kombination mit Multilevelsystemen eingesetzt werden. Die radialsymmetrischen Zirkulationsfelder erlauben eine homogenere Verteilung von Chemikalien im Untergrund als andere hydraulische Verfahrenstechniken. Die Anordnung von mehreren Filterstrecken in einer Achse ermöglicht im laufenden Betrieb eine variable Ansteuerung einzelner Tiefenhorizonte. Durch die Umkehrung von Zirkulationsströmungsrichtungen und variierende Wasserdurchsatzmengen lassen sich nicht durchströmte Aquiferbereiche minimieren. Mit reaktiven Materialien ausgestattete Brunnenysteme sind durch das relativ problemlose Auswechseln des Füllgutes besser handhabbar als vergleichbare Systeme wie z. B. „reactive walls“. Die direkte Zerstörung von Schadstoffen im Porengerüst und ENA sind miteinander kombinierbar.

### Verfahrensvorteile

Korrespondenzadresse: g.rehner@gfs-san.de