

Einsatz von Fe⁰ - basierten Mikro- und Nanopräparaten zur Stimulierung natürlicher Abbauprozesse im Untergrund mittels Grundwasser-Zirkulations-Brunnen (mGZB-R)

G. REHNER¹, E. J. ALES², J. MUELLER³, M. MUELLER³, J. MORENO³, J. VOGAN⁴

¹GfS mbH, Gruibingen, Germany

²IEG Technologie GmbH, Gruibingen, Germany

³Adventus Americas Inc., Chicago, USA

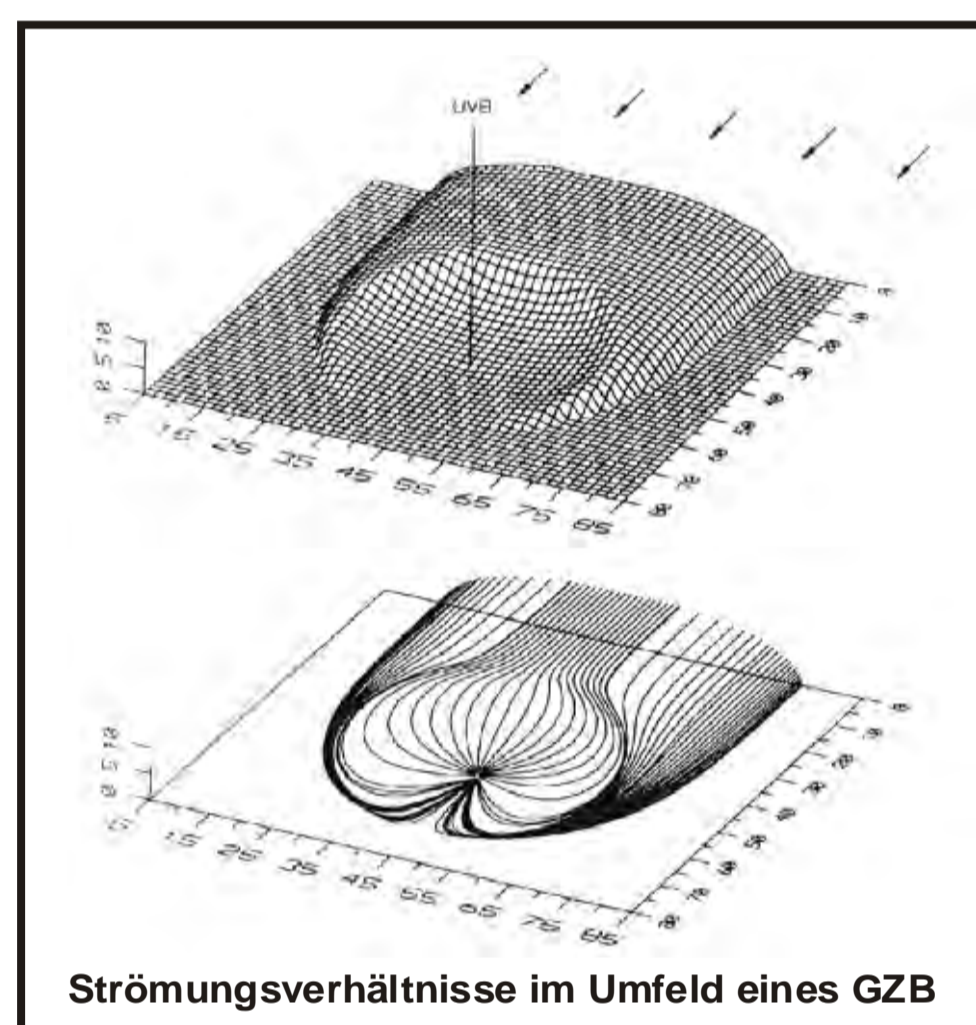
⁴EnviroMetal Technologies Inc., Waterloo, Canada

Einleitung

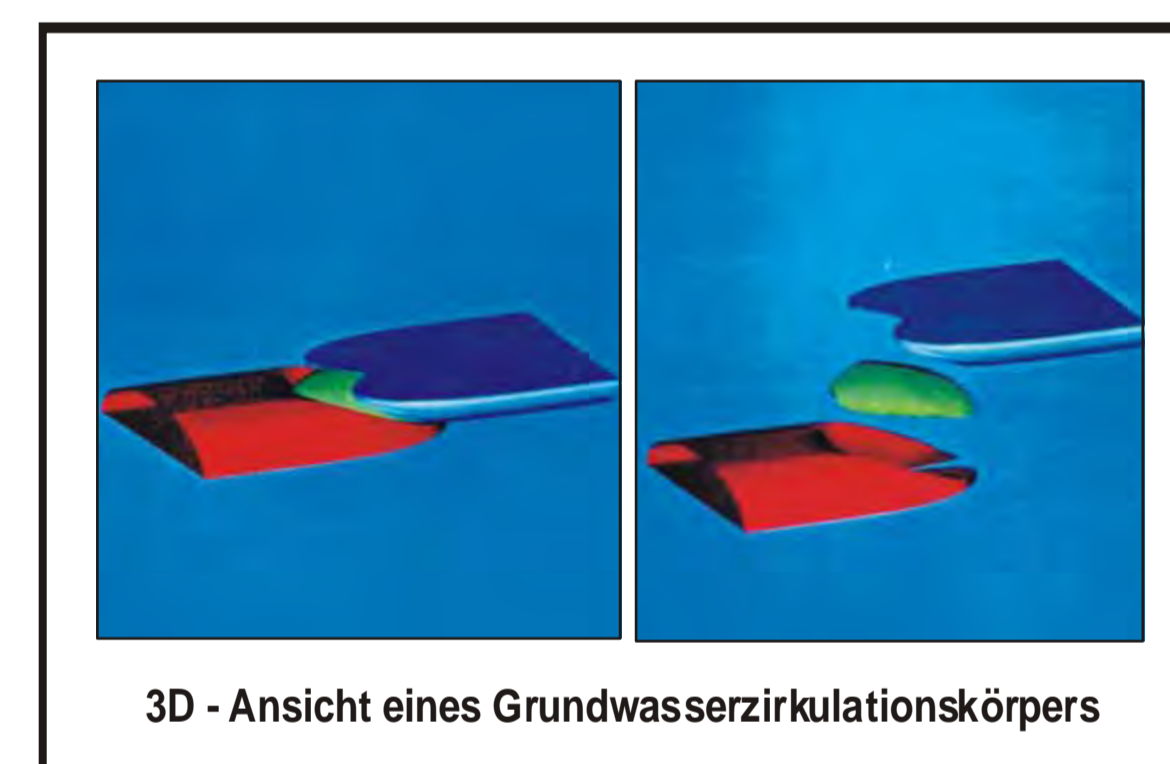
Der Einsatz von nullwertigem Eisen (Fe⁰) zur Sanierung von Grundwasserverunreinigungen mittels „reactive walls“ ist allgemein bekannt. In der Fachwelt werden folgende Nachteile diskutiert: baulich sehr aufwändig, auf relativ geringe Tiefen beschränkt, hydraulisch unflexibel, offene Fragen bei der chemischen Langzeitwirkung, hohe Investitionskosten. Die mGZB-R Technologie stellt eine Modifikation der „reactive walls“ unter Vermeidung der genannten Nachteile dar. Sie erlaubt es, auf chemische Veränderungen von eingebrachtem Material zu reagieren und kann auf hydraulische Veränderungen im Grundwasserregime dynamisch angepasst werden. Der mGZB-R ist für eine Vielzahl von Grundwasserverunreinigungen einsetzbar: Schwermetalle, LHKW, PCP, Pestizide, MKW/BTEX und andere persistente Industriechemikalien. Kontaminationsfahnen im Grundwasser können mit reaktivem Material oder Nährstoffen dotiert werden, um den natürlichen Schadstoffabbau im Untergrund zu intensivieren (ENA).

Hydraulische Wirkungsweise

GZB erzeugen eine rotationssymmetrische Grundwasserzirkulationsströmung um eine vertikale Brunnenachse. Das Wasser in der Zirkulation muss den Brunnen vertikal durchströmen. Die Reichweite eines solchen Brunnen und die Anzahl der Zirkulationen eines Wasserteilchens innerhalb des Rotationskörpers hängen von den hydraulischen Gegebenheiten und vom Brunnenbetrieb ab.

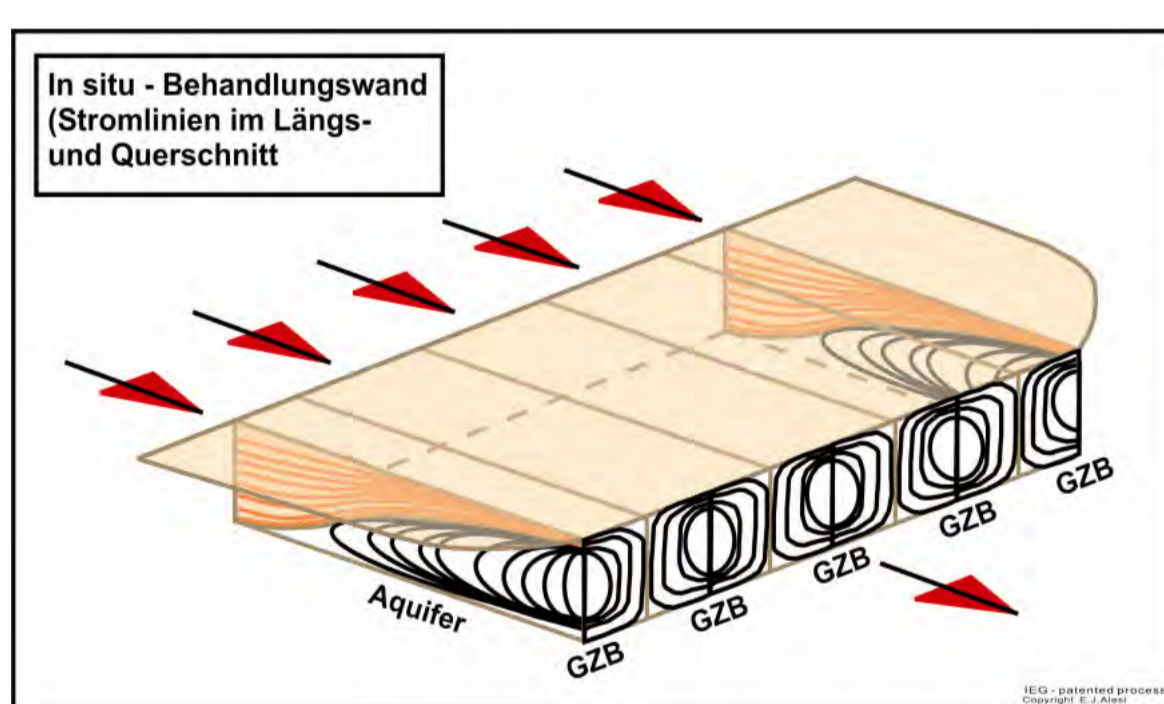


Strömungsverhältnisse im Umfeld eines GZB



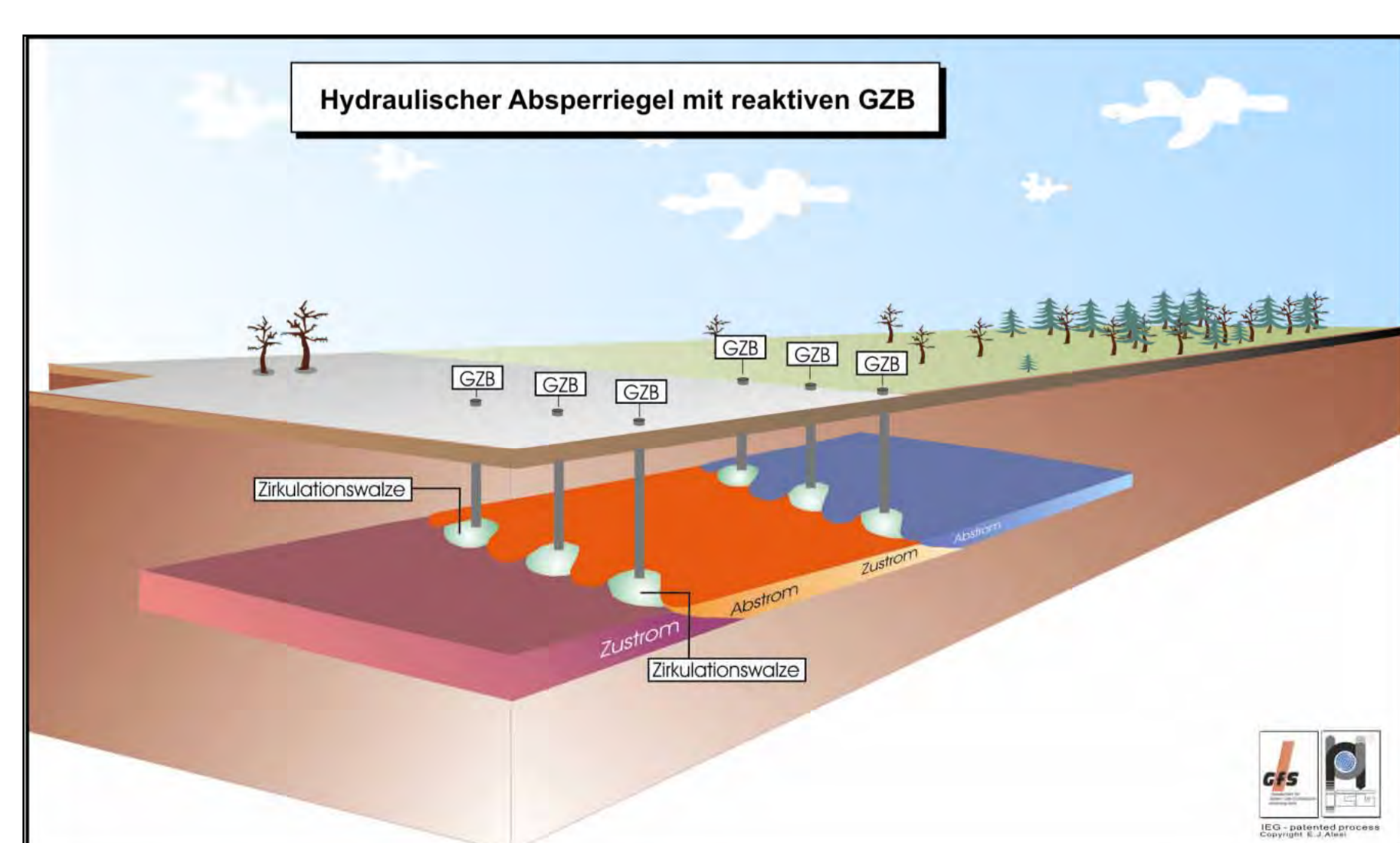
3D - Ansicht eines Grundwasserzirkulationskörpers

Das Strömungsregime um einen GZB lässt sich durch Modellrechnungen darstellen; in den letzten 15 Jahren wurden diese durch eine Vielzahl von Feldmessungen verifiziert. GZB können als Einzelsysteme installiert werden, eine entsprechende Dimensionierung erlaubt auch die Errichtung von hydraulischen Absperrriegeln quer zu einer Kontaminationsfahne. Damit kann sichergestellt werden, dass verunreinigtes Wasser in einer Fahne quantitativ behandelt werden kann, vergleichbar mit einer reaktiven Wand.

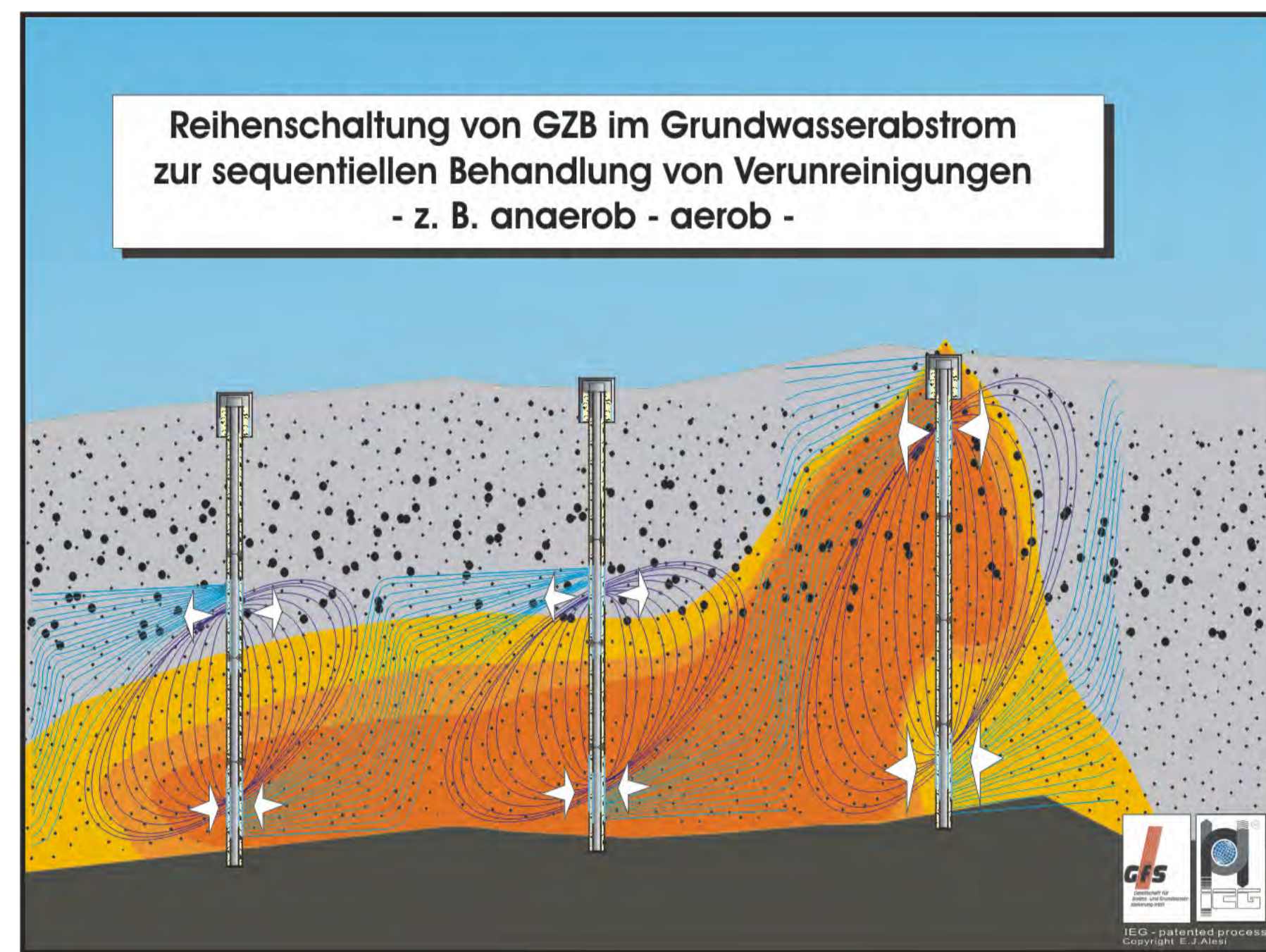


In situ - Behandlungswand (Strömlinien im Längs- und Querschnitt)

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



Hydraulischer Absperrriegel mit reaktiven GZB

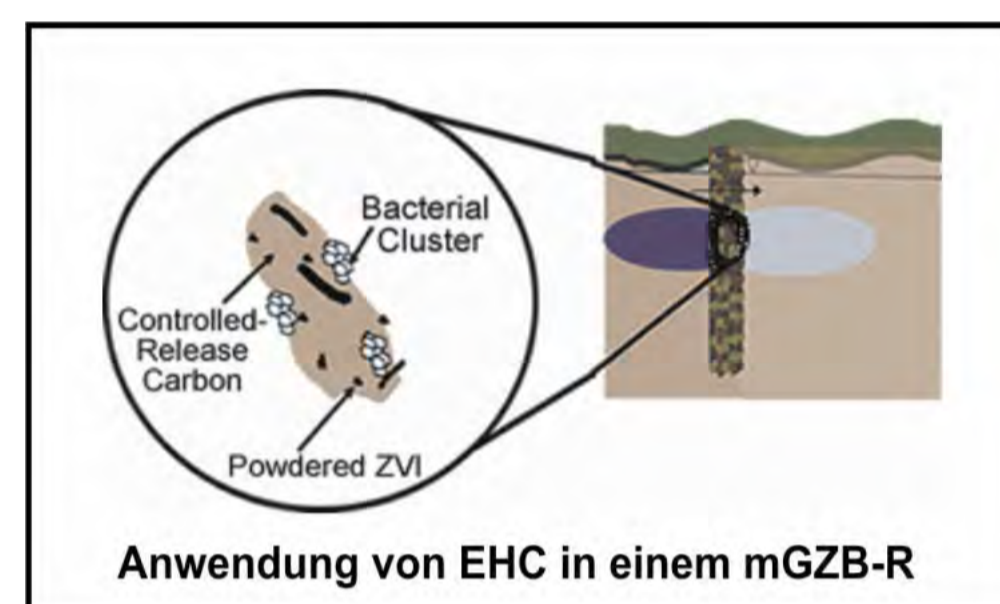


Reihenschaltung von GZB im Grundwasserabstrom zur sequentiellen Behandlung von Verunreinigungen - z. B. anaerob - aerob -

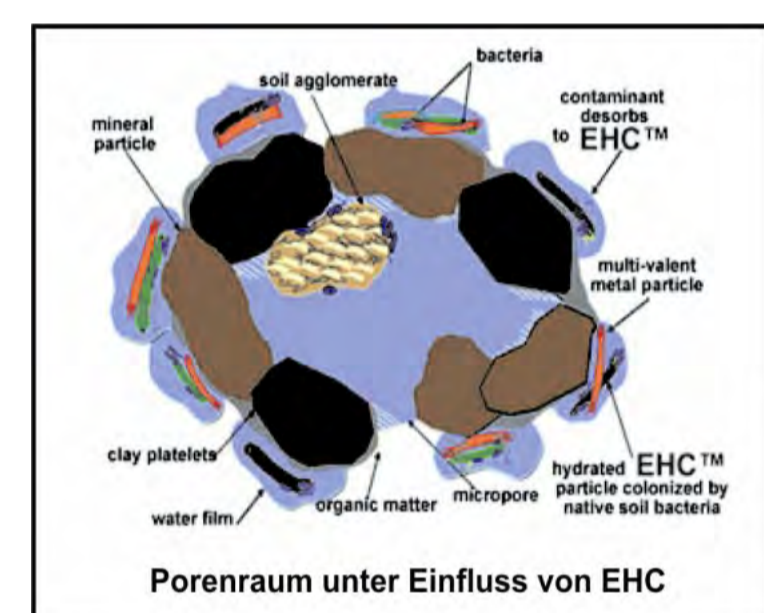
Sanierungstechnische Anwendungen

a) Befüllung von Brunnensystemen

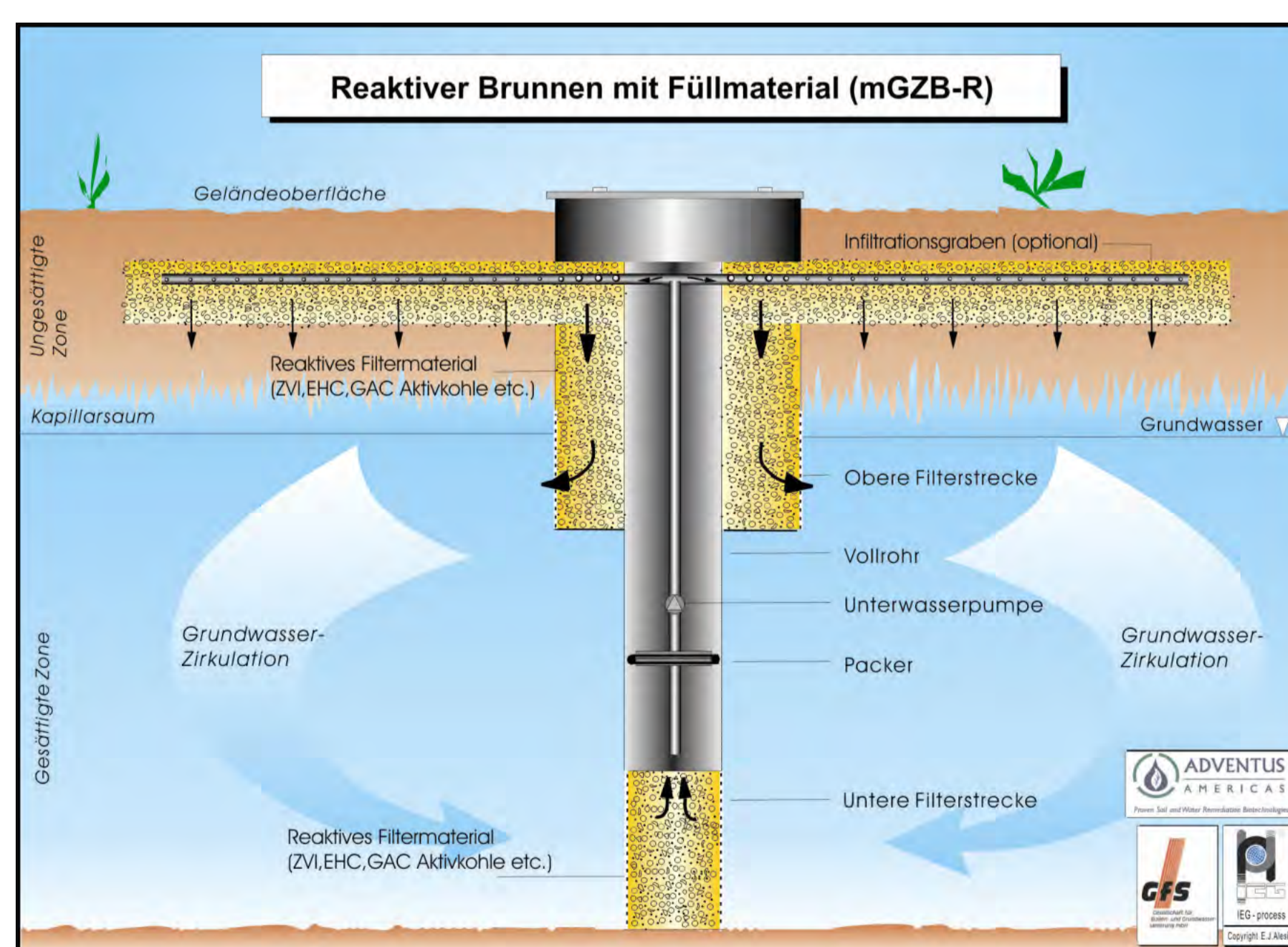
Wird reaktives Material in das Brunnensystem eingebracht, so können die Inhaltstoffe des den Brunnen durchströmenden Wassers damit interagieren. Aufgrund der definierten Passage durch die Brunnenkonstruktion sind die dort stattfindenden katalytischen und mikrobiologischen Effekte optimal nutzbar. Je nach Befüllung des Systems sind toxische Wasserinhaltsstoffe nach Durchströmen des Brunnensystems katalytisch zerlegt und/oder das wieder in den Grundwasserleiter abgegebene Wasser angereichert mit Nährstoffen. Damit kann der schon bestehende natürliche Abbau verstärkt werden



Anwendung von EHC in einem mGZB-R



(ENA). Dabei kommt es nicht darauf an, dass wie bei einer reaktiven Wand bei einer einmaligen Passage bereits eine vollständige Reinigung/Dotierung erreicht wird. Die induzierte Grundwasserzirkulation überprägt in starkem Maße die natürliche Grundwasserbewegung. Ein Wasserteilchen wird deshalb mehrfach im Kreislauf geführt, bevor es den Einflussbereich des Brunnens wieder verlässt. Als Füllmaterial 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 Sti-

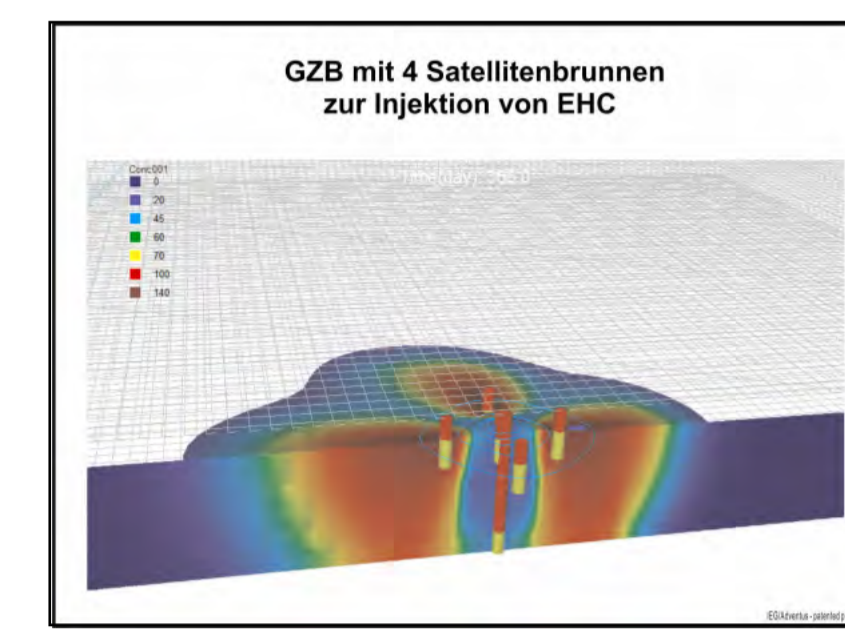


Reaktiver Brunnen mit Füllmaterial (mGZB-R)

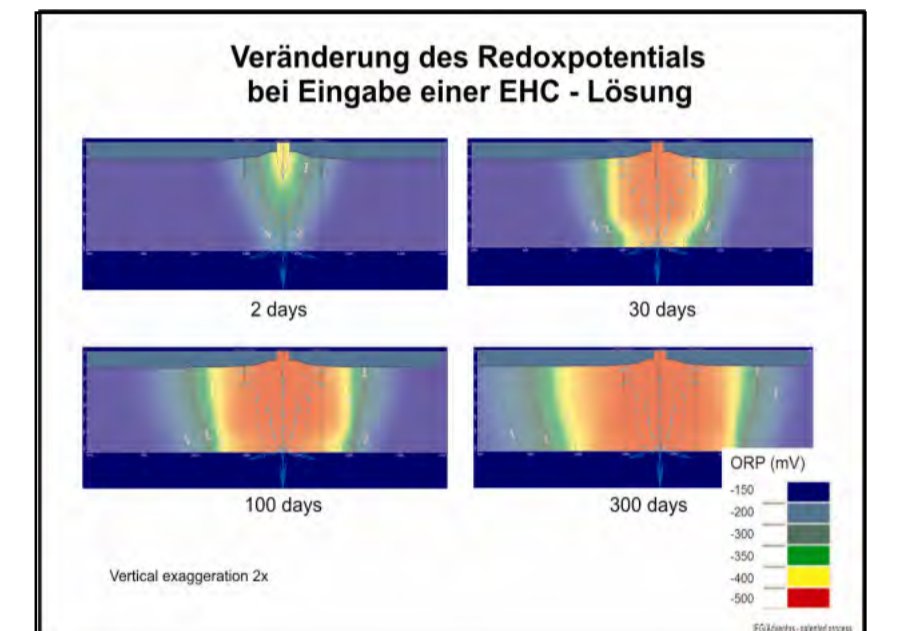
mulation reduktiver Dechlorierungsprozesse. Nach der Einbringung von EHC in die gesättigte Zone entwickeln sich durch das Zusammenwirken von physikalischen, chemischen und mikrobiologischen Vorgängen stark negative Redoxpotentiale (nach-gewiesen bis 600 mV), die eine schnelle, vollständige Dechlorierungsreaktion 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. mFe⁰ oder nFe⁰ begünstigen die direkte chemische Dechlorierung.

b) Einspülung in den Grundwasserleiter

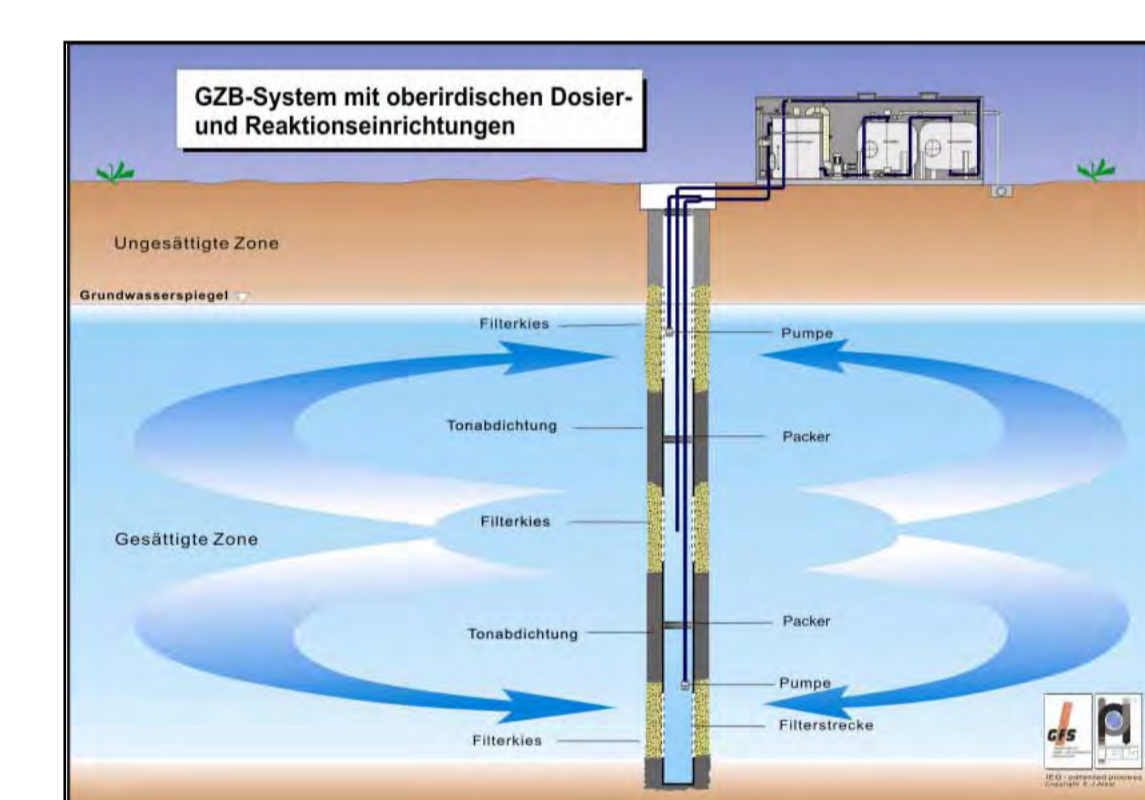
Eine weitere Anwendung besteht darin, EHC - Suspensionen mittels mGZB-R und umgebende Satellitenbrunnen in den Grundwasserleiter zur Vergrößerung von Reaktionsoberflächen einzuspülen bzw. zu injizieren. Aufgrund der Einbettung des Fe⁰ in eine schützende organische Kohlenstoffmatrix findet keine sofortige Reaktion des Grundwassers statt. Durch Modellierungen können die Verteilung des Präparats im Zirkulationsfeld visualisiert bzw. die chemischen Veränderungen im Grundwasserleiter dargestellt werden. Für das im Brunnenfeld behandelte/dotierte Wasser lässt sich im Grundwasserabstrom durch die mitgeführten Substanzen eine Verstärkung der NA prognostizieren.



GZB mit 4 Satellitenbrunnen zur Injektion von EHC

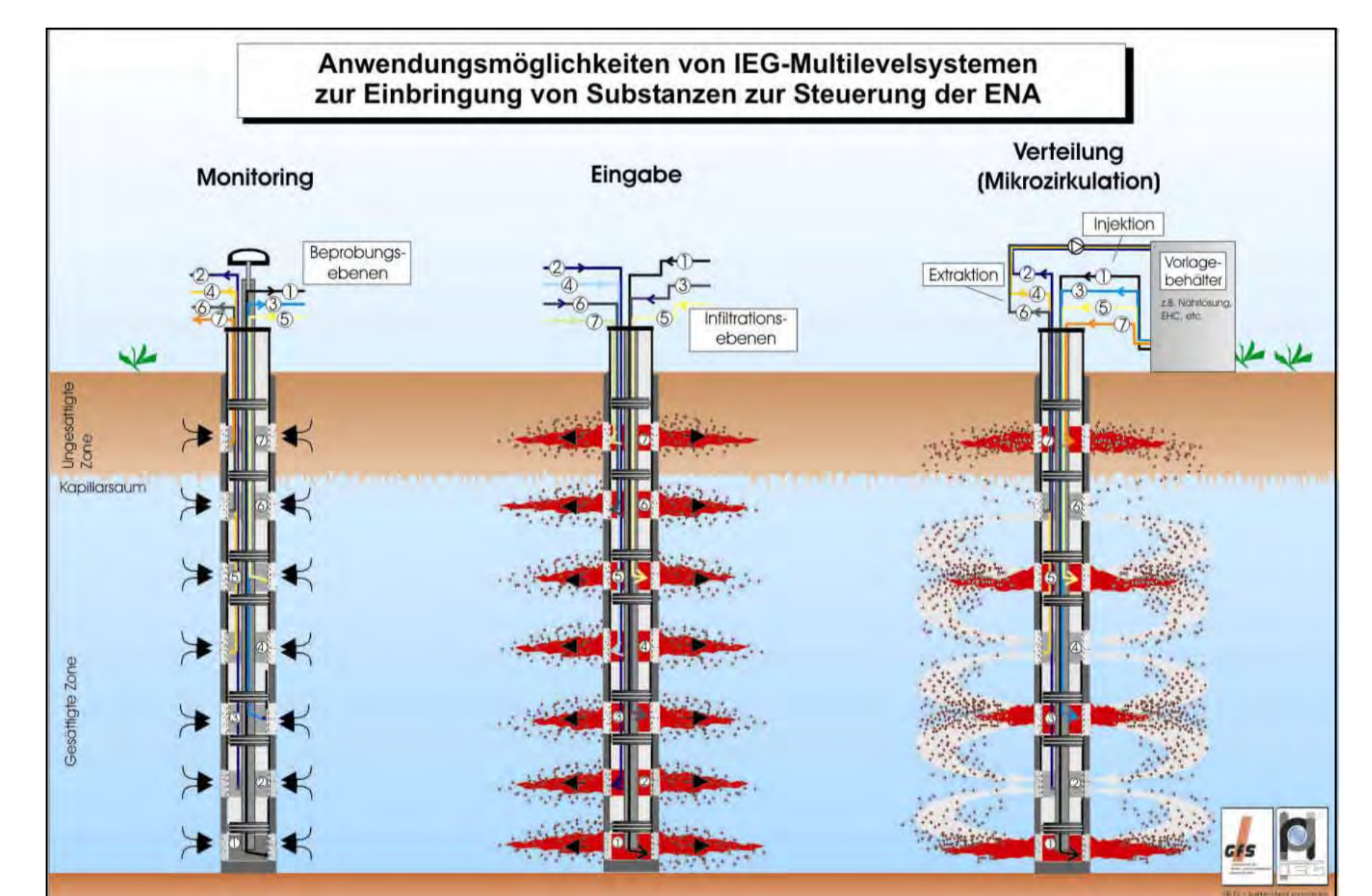


Veränderung des Redoxpotentials bei EHC - Lösung



GZB-System mit oberirdischen Dosier- und Reaktionseinrichtungen

Ist der Untergrund sehr gering durchlässig oder weist starke Inhomogenitäten auf, versagen in der Regel Infiltrationstechniken über herkömmliche Brunnen. Hier bietet sich das Einbringen von sanierungsverstärkenden Präparaten durch stationäre Multilevel-Systeme an, die eine weitgehend homogene und horizontgenaue Dosierung ermöglichen. Diese Multilevel-Systeme eignen sich auch zur Erzeugung von Mikrozirkulationen im Grundwasserleiter oder zum Monitoring von Sanierungsprozessen.



Verfahrensvorteile

Anstelle von reaktiven Wänden können sog. „reaktive Brunnen“ eingesetzt werden, deren Installation und Betriebskosten im Vergleich dazu ökonomische Vorteile bringen. Durch spezielle Konstruktionen ist ein relativ problemloses Auswechseln des reaktiven Brunnenfüllmaterials möglich. Auf Wechsel der hydraulischen Bedingungen kann durch die Veränderung der Brunnendurchsatzmengen reagiert werden, desgleichen ist die Verweildauer des zu behandelnden Wassers im System steuerbar. Die unmittelbare Zugabe von reaktiven Stoffen in den Grundwasserleiter durch mGZB-R eröffnet neue Perspektiven für die in situ - Sanierung persistenter Stoffe. Direkte katalytische Reaktionen im Porengerüst und eine Verstärkung der NA sind miteinander kombinierbar. Anhand von im Labor durchgeführter Applikationstests und darauf basierenden Modellierungen kann das Sanierungsgeschehen variabel gestaltet und auf die Dynamik der Umwandlungsprozesse angepasst werden.