



Versuchseinrichtung zur Grundwasser- und Altlastensanierung · VEGAS  
Institut für Wasserbau · Universität Stuttgart · Pfaffenwaldring 61 · D-70550 Stuttgart

Universität Stuttgart  
**Institut für Wasserbau**

VEGAS Leitung  
Jürgen Braun, Ph.D. Tel.: 685-67018  
Dr.-Ing. H.-P. Koschitzky Tel.: 685-64716

Pfaffenwaldring 61  
D - 70550 Stuttgart

Telefon: +49 (0) 711 685 - 64717  
Telefax: +49 (0) 711 685 - 67020  
E-Mail: [vegas@iws.uni-stuttgart.de](mailto:vegas@iws.uni-stuttgart.de)  
[www.vegasinfo.de](http://www.vegasinfo.de)

## Forschungsberichtsblatt

**Thema:** Machbarkeitsstudie zum Einsatz von chemischer Oxidation zur Sanierung von CKW- Kontaminationen (Quellensanierung)  
**Förderprogramm:** Baden-Württemberg Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung (BWPLUS)  
**Förderkennzeichen:** BWR25005

### 1. Kurzbeschreibung des Forschungsergebnisses

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie wurde der Einsatz von Permanganat zur Oxidation von Mischkontaminationen aus Trichlorethen (TCE) und Perchlorethen (PCE) in Batchversuchen, Säulenversuchen und einem Küvettenversuch vergleichend für verschiedene Bodenarten (Schluff, Feinsand und Grobsand) untersucht. Auf die Auswirkung und den Verbrauch von Permanganat zur Oxidation des im Boden anzutreffenden natürlichen organischen Material (NOM), die Veränderungen der hydraulischen Durchlässigkeit durch die reaktionsimmanente Bildung von Braunstein, sowie deren Auswirkung auf die Reaktionsgeschwindigkeit zur Oxidation der Schadstoffe wurde besonderes Gewicht gelegt.

Es konnte kein signifikanter Unterschiede im Oxidationsverhalten zwischen Natrium- und Kaliumpermanganat festgestellt werden. Je nach Bodenart werden unterschiedliche Mengen an Permanganat verbraucht. Neben einem Zusammenhang mit dem TOC-Gehalt im Boden ist für bindige Böden mit einem deutlich höheren Verbrauch an Permanganat zu rechnen. Als Faustzahl kann von einem NOD [g MnO<sub>4</sub><sup>-</sup> je g TOC] von 0,6 – 0,7 für sandige Böden, bzw. 1,8 – 2,0 für bindige Böden ausgegangen werden. Eine standortspezifische Bestimmung des NOD in Batch-Tests ist in jedem Fall erforderlich.

Die Oxidation des Bodenmaterials (Reaktion quasi-1. Ordnung) zeigt für jede Bodenart einen spezifischen Anteil gut oxidierbaren (ca. 3 % des TOC für Sande und 6% für schluffiges Material) und schlecht oxidierbaren Kohlenstoffs, der in Batch-Versuchen zur Verbrauchsabschätzung mittels Tabellenkalkulation bestimmt werden kann.

Die Reaktionsraten (Reaktion 1. Ordnung) für die Oxidation des PCE (~ 0,1 h<sup>-1</sup>) liegen um einen Faktor 10 - 100 höher als für die Oxidation der Bodenmatrix. In den Säulenversuchen wurde maximal 25% der Permanganatmasse durch den Boden verbraucht, wobei die Schadstoffkonzentrationen sehr hoch waren (ca. 12 g/kg Boden) und die CKW bevorzugt oxidiert wurden.

Die hydraulische Leitfähigkeit fällt durch die Braunsteinbildung je nach Bodenart um einen Faktor 2 bis 20. Je schlechter durchlässig, desto geringer ist der Rückgang. Durch Bildung der Braunsteinschicht verringert sich die Reaktionsrate und der Stoffumsatz zur Schadstoffoxidation um einen Faktor 10 – 100 je nach Art der Schadstoffverteilung (residual oder Pool). Die gelösten Schadstoffe werden mit konstant hoher Reaktionsrate oxidiert. Nach Beendigung der Permanganatzugabe steigen die Schadstoffkonzentrationen im Grundwasser sofort wieder an (deutlicher Rebound-Effekt). Das Sanierungsende kann nicht über den Rückgang der gelösten Schadstoffkonzentrationen festgestellt werden. Es wird eine intermittierende Permanganatzugabe zur Kontrolle der Sanierungsfortschritts und Steigerung des Stoffumsatzes empfohlen. Im Vergleich zu einer hydraulischen Sanierung konnte eine Verkürzung der Sanierungszeit zur Entfernung von PCE um einen Faktor 10 bestimmt werden.

Die Entfernung von Schadstoffpools unter naturähnlichen Bedingungen (Grobsandschicht, Kuvettenversuch) ist infolge der sich bildenden Braunsteinschicht schwierig und konnte mit nicht vollständig erzielt werden (80% TCE, 70% PCE). Bei Feldanwendungen besteht die Gefahr, dass die Schadensquelle nicht vollkommen durchströmt und oxidiert werden kann. In Folge der Dichte der infiltrierten Permanganatlösung ist mit einem Absinken des Oxidationsmittels bei Einsatz von Lösungen > 2 g/L zu rechnen. Höhere Einsatzkonzentrationen sollten auch hinsichtlich der wasserrechtlichen Genehmigungsfähigkeit nicht überschritten werden.

## **2. Welche Fortschritte ergeben sich in Wissenschaft und/oder Technik durch Ihre Forschungsergebnisse?**

Die Entwicklung eines Batch-Verfahrens zur einzelfallspezifischen Bestimmung des Oxidationsmittelbedarfs durch die Bodenmatrix und eines tabellenkalkulationsgestützten Prognose-Modells ergibt eine fundierte Möglichkeit zur Vordimensionierung des Bedarfs der Feldanwendung an Oxidationsmittel.

Die Bestimmung der Reaktionsraten in Batch-Versuchen ermöglicht die numerische Simulation der Schadstoff- und NOM-Oxidation mit „handelsüblichen“ Software-Paketen und führt insbesondere bei kleinskaligen Versuchen zu einer sehr guten Überstimmung.

## **3. Welche Empfehlung ergibt sich aus dem Forschungsergebnis für die Praxis?**

Entsprechend den Untersuchungsergebnissen wird ein intermittierendes Spülverfahren vorgeschlagen. Dies ist sowohl kostengünstig, als auch hinsichtlich der Überwachung einer Sanierung angeraten, insofern die derzeitige Methode einer einmaligen Permanganatzugabe (Stand der Technik) mit hohen Konzentrationen den Sanierungserfolg nicht garantiert und auch hydraulisch und wasserrechtlich problematisch ist. Die in der Praxis gesetzten hohen Erwartungen an die Reinigungsleistung muss relativiert werden.

Zur Planung der Sanierungsmaßnahme mittels ISCO ist einzelfallspezifisch der Bedarf an Oxidationsmittel zur Oxidation des NOM im Labor zu bestimmen, da im Bereich zwischen 20 – 50% des gesamten Oxidationsmittels für den NOM benötigt wird.