

Vibrationstorkretierte Gaslanzen zur Formierung von Gasspeichern und in-situ Sensoren zur Überwachung und Steuerung

Dr. Frank Ingolf Engelmann, Peter Hopp, Lutz Peter Schmolke, Hartmut Ehbrecht

Einleitung

Gasspeicherungsverfahren wie die BIOXWAND, OXYWALL oder das pulsed oxygen injection system belegen durch erfolgreiche Pilotversuche der letzten Jahre ihre Eignung zur effizienten in-situ-Sanierung kontaminierter Aquifere.

Die Technologie zur Speicherformierung und die Technik der Eintrags- und Monitoringelemente werden durch das Verhalten der Gase während der Injektion, dem Transport und der Speicherung in der Porenmatrix der Saturationszone bestimmt.

Eintrags-elemente müssen folgende Anforderungen erfüllen. 1) Der Bau kleinkalibriger Lanzen darf keine Auflockerungen im Lanzenumfeld erzeugen. 2) Ringräume sind gas dicht zu verschließen (Unterbindung preferential-flow-Effekte). 3) Filter müssen auch bei schwerbohrbaren Sedimenten zuverlässig und zielgenau in > 50 m Tiefe installierbar sein. 4) Das Lanzenmaterial sollte hochdruckstabil und gasdiffusionsdicht sein. 5) Der Filter muß großräumige, laterale Gasverteilungen ermöglichen.

Im sandigen Berliner Urstromtal wurden Bohr- und Sondierungsverfahren zum Lanzenbau getestet. Sowohl Bohrungsinjektionslanzen (B-IL), als auch Drucksondier-(D-IL) und Rammsondierlanzen (R-IL) weisen unterschiedliche Stärken und Schwächen auf (F. Engelmann, 2004). Durch Anwendung des sonic sample drill-Verfahrens und die Entwicklung neuer vibrationstorkretierter Gasinjektionslanzen (V-IL) kann die Einspeicherung verbessert, der vertikale Gasaufstieg entlang der Lanzen verhindert und die Reichweite erhöht werden. Das Bohr-/Sondierverfahren senkt die Kosten zur Installation und erhöht die Zuverlässigkeit beim Erreichen der Endteufe.

Für Monitoringelemente in Gasspeichern gelten folgende Anforderungen: 1) Ein Entweichen eingespeicherter Gase über bohrtechnische Störungen ist zu verhindern. 2) Sie müssen Gassättigungen zur Bewertung der Homogenität der Gasverteilung messen, damit Speicherdimensionen definierbar und speicherbare Stoffmengen ableitbar sind. 3) Sie müssen Gasausbreitungsgeschwindigkeiten ermitteln können um Injektionsparameter (Gasrate, Injektionsdruck und -dauer) mit dem Ziel der Verhinderung von Ausgasungen über die GW-Oberfläche festzulegen. 4) Sie müssen die Bodenluft und das Sickerwasser überwachen und 5) die Gaseinlösungskinetik und hydraulisch/hydrogeochemische Veränderungen innerhalb des Gasspeichers erfassen.

Zur Bewirtschaftung des Gasspeichers der BIOXWAND Berlin wird ein sensorgestütztes, zeitlich hochauflösendes in-situ Meßnetz, bestehend aus p-, Eh-, O₂-, pH-, L_r-, NH₄- und Temperatursensoren, als automatisiertes Online-System genutzt. Die Informationen gehen in ein reaktives Stofftransportmodell ein (Horner, et. al. 2009).

Sondierungsinjektionslanzen

Mit Hilfe von Direct-Push-Technologie werden Hohlgestänge mit verlorener Spitze abgeteuft und das Aquifermaterial dabei seitlich verdrängt und verdichtet. Die Endteufe ist begrenzt durch die Vortriebskraft, die Materialeigenschaften des Gestänges, den Spitzendruck und die zunehmende Mantelreibung der Sedimente. In das Hohlgestänge wird die Gaslanze eingebaut und die Sondierungsrohre anschließend unter Zugabe von Wasser zur Verhinderung von Sandeinträgen gezogen.

Rammsondier-Injektionslanzen (R-IL) ließen sich nur bis 27m Tiefe installieren, wobei trotz großer Wandstärken an der Grenze der Materialauslastung massive Verformungen am Sondiergestänge auftraten. Mit der leistungsstärksten Sondierungstechnik konnten Drucksondier-Injektionslanzen (D-IL) bis 30m Tiefe errichtet werden.

In beiden Anwendungsfällen wurde durch die Verdichtung und den vollständigen Verschluß des Sondierungsloches der vertikale Gasaufstieg entlang der Lanze verhindert. Der Verschluß erfolgte zu 25% durch den Einbau der Gaslanzengarnitur, der Rest durch den Einbau von Bentonitdübeln oder das Verpressen von Dichtmassen.

Bohrungs-Injektionslanzen (B-IL)

Um 50m-tiefe Bohrungs-Injektionslanzen (B-IL) zu installieren, mußte ein Bohrverfahren mit minimiertem Sandaustrag (Reduzierung von Auflockerungszonen außerhalb des Bohrdurchmessers) eingesetzt werden. Trotz der Anwendung von Spülbohrungen konnte der Enddurchmesser des Bohrlochs nur auf 168mm begrenzt werden, was einen hohen Aufwand für den Verschluß ergab. Er erfolgte zu 10% der Bohrlochfläche durch die Ausbaugarnitur eines Gaslanzenbündels, zu 25% durch den Einbau eines tiefenspezifischen Injektionsrohres zum Verpressen von Dichtmassen, zu weiteren 5% durch die Installation einer Eh-Sensorkette sowie der Rest durch den Einbau von Filtersanden und Quelltonpellets, wobei deren tiefengerechte Positionierung über Schüttrohre vorgenommen wurde. Zu berücksichtigen war dabei besonders das Quellverhalten der Tonpellets in Abhängigkeit von deren Sinkgeschwindigkeit.

Über das Injektionsrohr wurden, zur Reduzierung von Auflockerungszonen aus dem Bohrprozeß, zwischen die Gasfilter (18m, 30m, 41m, 50m), jeweils 50-250L Dichtmasse (Troptogel) bis zur Erschöpfung der Aufnahmekapazität des Untergrundes, ohne Initiierung von Texturänderungen, verpreßt. Die Kontrolle der Wirksamkeit der hochdruckinjizierten Gasaufstiegsbarrieren erfolgte durch O₂-Reingasinjektion über die tiefste Lanze und Aufzeichnungen zu Redox-Änderungen im verfüllten Bohrloch.

Trotz vollständigem Bohrlochverschluß und Verpressen von Dichtmassen in die Auflockerungszonen zeigte sich kurz nach Begasungsbeginn (Dreieck in Abb. 1) eine Erhöhung der Redoxwerte in 25 m Tiefe, ausgehend von reduzierenden Verhältnissen hin zu aeroben Bedingungen. Die quasi schlagartige Redoxänderung belegt, dass technogen verursachte vertikale Aufstiegsschote nicht zu 100 % sicher kontrolliert und vollständig verschlossen werden können.

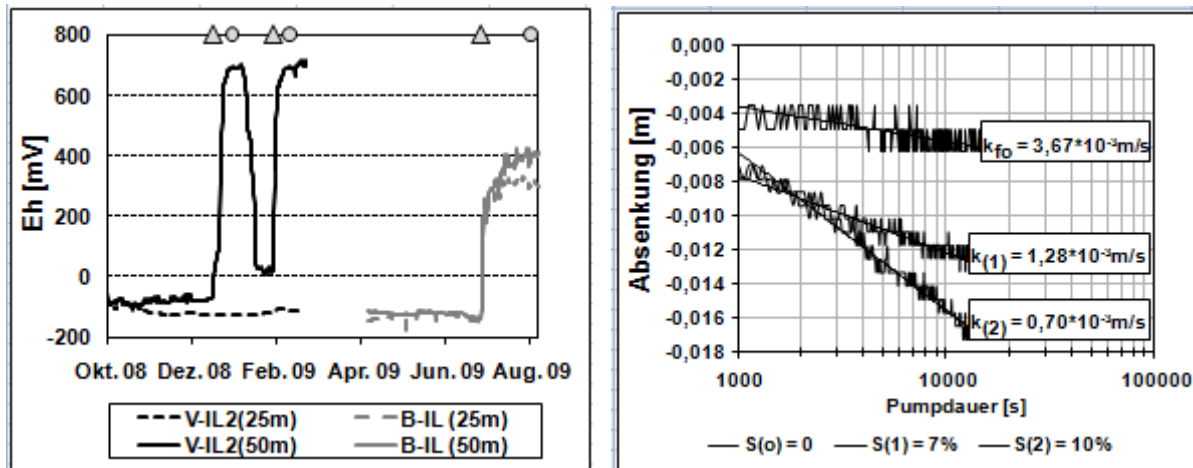


Abb. 1 Schwachstellen bei (B-IL)-Lanzen **Abb.2:** mittlere Gassättigungen

Vibrationstorkretierte-Injektionslanzen (V-IL)

Zur Erhöhung der Qualität tiefer Gaslanzen (Filter > 20-30 m u. GOK) wurde die Sonic-Bohrtechnologie der Fa. Eijckelkamp getestet und mit ihr erstmals der Ausbau Eh-Sensorbestückter Multilevelgaslanzen durch die Fa. Bohrtechnik Grisar realisiert.

Der Einsatz eines Compact-Sonic-Rotho Bohrgerätes gewährleistete das sichere Abteufen des Lanzenbündels bis in 50 m Tiefe, bei gleichzeitiger Kombination der Vorteile von Sondierungs- (Unterbindung von Auflockerungen im Lanzenumfeld) und Bohrverfahren (Erreichbarkeit großer Tiefen).

In Analogie zu einer R-IL oder D-IL wird eine verlorene Spitze mit einem GP63-Hohlgestänge in den Untergrund abgeteuft, wobei das Sediment seitlich verdrängt und das Profil entlang des Bohrgestänges verdichtet wird. Schwerbohrbare Horizonte können bei Bedarf durch entsprechende Bohrwerkzeuge durchörtert werden.

Ein weiterer Vorteil des Einsatzes der Sonic-Bohrtechnik ist, dass das Bohrloch nicht mehr mit Dichtmassen verschlossen werden muß. Die Einbaugarnitur verringerte die Bohrlochquerschnittfläche um 75%. Durch Einsatz von Vibrationen beim Gestänge-Rückbau wird der Ausbau zusätzlich durch Rüttelverdichtung im Aquifer torkretiert.

Zur Dichtheits- und Qualitätskontrolle wurden mehrfach O₂-Reingasinjektionen über die tiefste Lanze durchgeführt, wobei sich keine vertikalen Gasaufstiege im bohrtechnisch bedingten Sondierungskanal zeigten. Der Eh-Sensor der V-IL in 25 m Tiefe zeigte keine Änderung des Redox-Milieus (Abb. 1).

In-situ Sensoren zur Überwachung und Steuerung

Wegen fehlender Meßtechnik können Gassättigungen in der Sättigungszone derzeit nicht direkt bestimmt werden. Für den Standort wurden daher über Bilanzen mittlere Sättigungen von 0,1-1% prognostiziert. Mit hochauflösenden Drucksensoren überwachte Gasspeicherungspumpversuche (GS-PV), durchgeführt unter steigenden Lufteträgern (3.360Nm³), ergaben nun indirekt Mittelwerte für Kies von 7-10% (Abb. 2).

Mit Drucksensoren in GW-Meßstellen kann Gas direkt detektiert werden. Gelangen z.B. größere Mengen in nicht verschlossene GWBR steigen Gasblasen auf und „erhöhen“ somit den Wasserspiegel (Abb. 3).

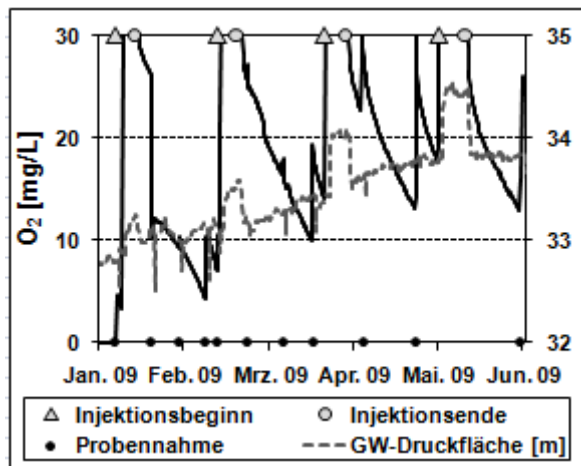


Abb. 3 Gaseinspeicherung, -einlösung

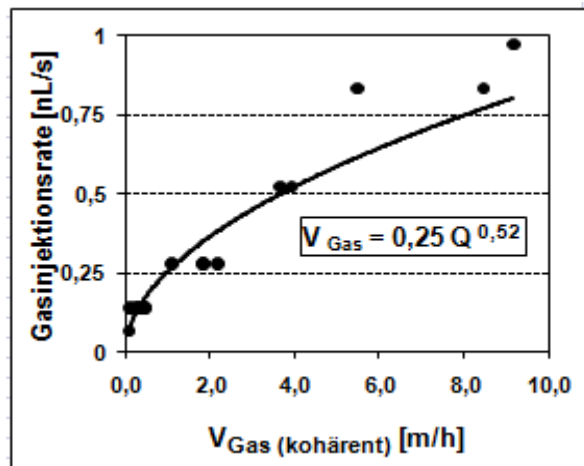


Abb.4: kohärente Gasgeschwindigkeiten

Werden Meßstellen direkt durch kohärente O₂-Gaskanäle erschlossen, wird die Löslichkeit im Grundwasser schnell überschritten. Die Gasausbreitung läßt sich gut mit Hilfe von Redox- und O₂-Sensoren nachweisen (Abb. 1, 3). Nach den Injektionen sinken die Gehalte schnell durch den Zusammenbruch der Gaskanäle. Anschließend verringert sich die Konzentration durch mikrobielle/chemische Prozesse langsamer.

Bei Mehrfachinjektionen können kombinierte Druck-O₂-Sensoren in Meßstellen Verbesserungen der O₂-Versorgung anzeigen. Sie zeigen sich in kontinuierlich steigenden Gehalten am Ende der Injektionszyklen, welche jeweils aus kurzen Injektions- und längeren Ruhephasen zur Einlösung bestehen (Abb. 3).

Über die ersten O₂-Eintreffsignale können kohärente Gasausbreitungsgeschwindigkeiten berechnet werden (Abb. 4). Fein- bis Mittelsande wiesen Werte von 1-10 m/h auf, was belegt, dass Gasspeicher sehr schnell formiert werden können.

Sensornetze liefern auch Werte zu Gasreichweiten. Bei Begasungstiefen von 50 m betragen sie 15-25m. Um Gasaustritte aus dem Grundwasser zu minimieren, wurde unter Beachtung der Eintragstiefen, die maximale Dauer je Injektionszyklus über die Gasgeschwindigkeiten festgelegt. Beachtet wurde dabei, dass die Festlegung der Eintragsraten Einfluß auf die kohärenten Ausbreitungsgeschwindigkeiten hat.

Hydrogeochemische Veränderungen innerhalb von Gasspeichern können ebenfalls mit Hilfe von in-situ Sensoren, installiert in Meßstellen, analysiert werden.

Die O₂-Injektionen im Berliner Urstromtal lösten im Gasspeicher neben dem beabsichtigten mikrobiellen Schadstoffabbau auch chemische Oxidationsprozesse aus.

Sulfidoxidationen sind sicher mit L_r- und pH-Sensoren nachweisbar (Abb. 5). Sulfatbildungen erhöhen den Salzgehalt im Wasser, freiwerdende Protonen, die nicht über Karbonatlösungsprozesse gepuffert wurden, senkten den pH-Wert um 0,5 Einheiten.

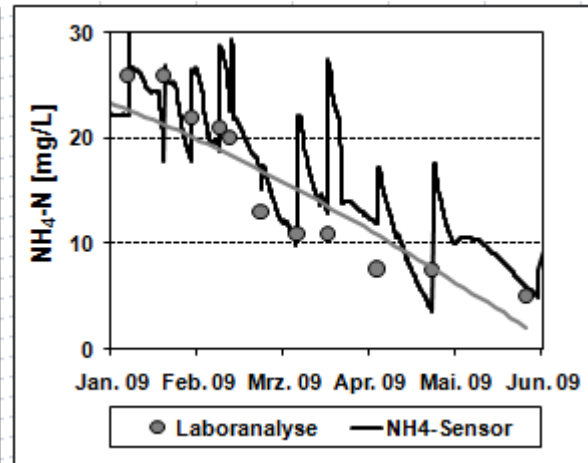
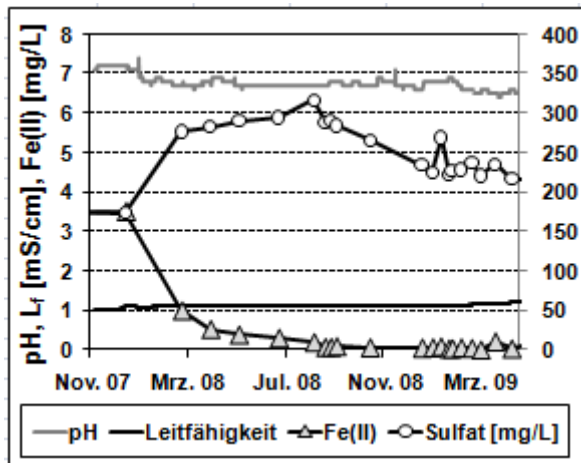


Abb. 5 Pyritoxidation und Eisenfällung

Abb.6: Nitrifikationsnachweis

Auch Ammonium kann langfristig stabil mit in-situ Sensoren (Fa. WTW, Hach Lange) bei 2,5 bar ohne aufwendige Wartungen nachgewiesen werden (Abb. 6). Sinkende Gehalte belegen Nitrifikationen im Gasspeicher, wobei deutlich wird, dass bei Probenahmen kurzzeitig NH_4 -Anstiege auftreten. Sie belegen dafür, dass die Nitrifikationsbedingungen in der Meßstelle incl. Filter besser sind als im Aquifer.

Fazit

Das Sonic Bohrverfahren zur Errichtung vibrationstorkretierter Gaslanzen kombiniert die Vorteile von Direct Push Technologie und Bohrverfahren, wobei der Ausbau durch Rüttelverdichtungen vereinfacht und Gasverluste minimiert werden.

In-situ Sensornetze liefern hydrodynamisch-hydrogeochemische Überwachungs- und Steuerungsparameter zur Gasspeicherbewirtschaftung. Ihr Einsatz in Meßstellen bedarf einer besonderen Beachtung des Einflusses der Filter- und Kiesschüttung. Um Gasverteilungen kleinscalig sicher bewerten zu können, müssen zeitlich und räumlich hochauflösende Gassensorarrays entwickelt werden.

Literatur

F.I. Engelmann, H. Ehbrecht, Dr. R. Giese und C. Roscher (2004): Formierung durchlässiger Reinigungswände in Grundwasserleitern durch Injektion reaktiver Gase am Beispiel der BIOXWAND Berlin. Proceedings des Dresdner Grundwasserforschungszentrums e.V. Fachtagung Innovative Verfahren und Techniken zur In-situ-Grundwassersanierung. 9. Dresdner Grundwasserforschungstage.

C. Horner, F.I. Engelmann, G. Nützmann (2009): Model based verification and prognosis of acidification and sulphate releasing processes downstream of a former sewage field in Berlin (Germany). Journal of Contaminant Hydrology.

Anschrift: Dr. Frank Ingolf Engelmann
Sensatec GmbH – Niederlassung Berlin-Brandenburg
16833 Fehrbellin, Ebereschenstraße 29