

CKW-Kontaminationen sanieren

Auf einem ehemaligen Industriegelände im Südosten von Berlin wird seit einem Jahr eine Pilotanlage zur in-situ-Sanierung von flächenhaften CKW-Kontaminationen cis-Dichlorethene (cDCE) und Vinylchlorid (VC) im Grundwasser und in der Bodenluft mittels Grundwasserzirkulationsbrunnen betrieben. Die Zwischenergebnisse zeigen einen sehr positiven Verlauf der Entwicklung der Schadstoffkonzentrationen. Mit Hilfe dieses Verfahrens werden sehr effektiv und rasch vor allem die persistenten und toxischen Abbauprodukte der chlorierten Kohlenwasserstoffe saniert.



Abb. 1: Bodenzüstfilter DN 800 (Ausbaumaterial für unteren Filter des Grundwasserzirkulationsbrunnens).

VON IRINA PRZYBYLSKI UND
BRUNO BERNHARDT

Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurde das Gelände im Südosten von Berlin industriell genutzt. Im Zuge der langjährigen Nutzung dieses Grundstückes entstanden auf einer Gesamtfläche von etwa 90000 m² mehrere Anlagen für chemische Reinigung und PER-Tanklager, eine Wäscherei und Lackfabrik. Im Jahre 1990 wurde der Betrieb stillgelegt und die alten Industriegebäude zum grössten Teil abgerissen und zurückgebaut.

Durch die nachfolgende Erkundung in den Jahren 1999 und 2001 wurden die sanierungsbedürftigen Zonen auf diesem Standort ausgewiesen. Danach liegt auf dem Grundstück eine Verunreinigung des Grundwassers und der Bodenluft hauptsächlich durch CKW sowie untergeordnet durch BTEX, MKW und PAK vor. Die Länge der ermittelten Schadstofffahne (ausschliesslich cDCE und VC-Kontamination) beträgt etwa 600 m.

Irina Przybylski

Dipl.-Geologin, ist Projektleiterin bei der Firma CSD Ingenieure und Geologen AG in Bern.

Dr. Bruno Bernhardt

ist Geschäftsführer der Firma IEG Industrie-Engineering GmbH in Reutlingen, Deutschland. Folgende Verfahren sind Patente der Firma IEG GmbH: Grundwasserzirkulationsbrunnen, Bodenluftabsaugbrunnen, Bodenzüstfilter, Druckentlastungsbohrungen.

Im Zuge der Planungen für eine vollständige Neunutzung des in einer sehr attraktiven Stadtlage gelegenen Grundstücks wurde seitens der Firma CSD AG in Abstimmung mit dem Eigentümer und der Umweltbehörde von Berlin eine Sanierungskonzeption erarbeitet. Die Sanierung aller durch CKW kontaminierter Bereiche ist mittels des patentierten Verfahrens Grundwasserzirkulationsbrunnen (GZB) vorgesehen.

Seit Januar 2004 wird im Nordbereich des kontaminierten Geländes das Grundwasser und die Bodenluft durch die IEG GmbH saniert. Die sanierungsbegleitenden Untersuchungen werden durch die CSD AG durchgeführt.

Geologie und Hydrogeologie

Das Sanierungsgelände liegt im Bereich der Talsandebene des Warschau-Berliner Urstromtals am Ufer der Spree. Oberflächennah trifft man im Sanierungsgebiet auf fein- bis grobsandige Ablagerungen, die hier eine Mächtigkeit von 14 bis 25 m erreichen. Diese Sande bilden lokal den oberflächennahen, freien ersten Grundwasserleiter (1. GWL). Dieser wird vom zweiten GWL durch bindige, grundwasserstauende Sedimente (Geschiebemergel, Beckenschluffe und -tone) getrennt, die im Sanierungsgebiet in ungestörter Lagerung auftreten. Die grundwasserstauenden Sedimente erreichen hier Mächtigkeiten von etwa 20 m. Das Grundwasser des ersten GWL ist ungespannt. Der

Flurabstand beträgt rund 2,7 bis 3,5 m unter Terrain. Die Mächtigkeit des ersten GWL beträgt im östlichen Teil des Geländes etwa 12 m. In Richtung Westen nimmt die Mächtigkeit zu. Das Sanierungsgebiet liegt etwa in der Mitte der Einflussbereiche mehrerer Trinkwassergewinnungsanlagen. Dadurch verändert sich die Fließrichtung in Abhängigkeit vom jeweiligen Förderregime. So wird in allen älteren Untersuchungsberichten grundsätzlich ein nach Westen gerichteter GW-Abstrom beschrieben. Das Grundwassergefälle ist sehr gering und beträgt im Mittel 0,25 ‰. Für den ersten GWL wurden durch die Siebanalysen, Pumpversuche und Slug-Tests Durchlässigkeiten zwischen 1,0E-04 und 1,0E-03 m/s ermittelt.

Schadstoffe im Grundwasser

Die CKW-Kontamination im Grundwasser erstreckt sich nahezu über das gesamte Betriebsgelände.



Abb. 2: Bodenzüstfilter DN 800 mit Stahlfilterrohr DN 300 (Ausbaumaterial für oberen Filter des Grundwasserzirkulationsbrunnens).

Kontaminationen durch BTEX, PAK und MKW sind hauptsächlich lokal im südlichen Bereich nachgewiesen worden. Im Vergleich zu Kontamination durch CKW wurden diese Belastungen jedoch als untergeordnet eingestuft.

Im gesamten Sanierungsgebiet inklusive Schadensherde ist ein mikrobieller Abbau von PCE-Tetrachlorethen und TCE-Trichlorethen zu beobachten. Abbauprodukte - cDCE und VC - treten in hohen Konzentrationen (max. cDCE-Konzentration 76 mg/l; max. VC-Konzentration 19 mg/l) sowohl in den «hot spots» als auch abstromig der Schadensherde auf.

Die Verteilung der CKW-Konzentrationen an der Basis des ersten GWL unterscheidet sich deutlich von der Schadstoffverteilung im GW-Schwankungsbereich. Gemäss den Eigenschaften der DNAPL (Dense Nonaqueous Phase Liquid) haben die Dichteunterschiede der CKW zu Wasser dazu geführt, dass die Schadstoffe in Phase aufgrund ihrer höheren Dichte im GWL zuerst abgesunken sind.

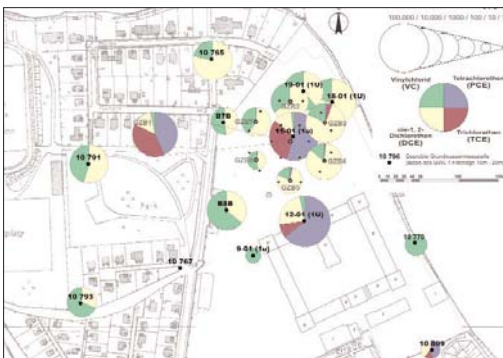


Abb. 3: Verteilung der CKW-Einzelparameter im Grundwasser auf Basis der ersten Grundwasserleiter.

Beim Überströmen dieser gesättigten Bereiche auf der Sohle des GWL wurden die CKW durch Diffusion in Lösung gebracht und mit der Abstands-geschwindigkeit der Grundwasserströmung in westliche Richtung transportiert. In den einzelnen Eintragsbereichen (vgl. Abb. 3), auf der Basis des ersten GWL, bestehen die CKW zu 60 bis 85% aus den Ausgangsstoffen PCE/TCE und entsprechend zu 15 bis 40% aus den Abbauprodukten cDCE und VC. Schon in einer Entfernung von 20 bis 30 m vom Schadensherd treten im GW ausschliesslich cDCE und VC auf. In der Schadstofffahne setzen sich CKW fast zu 100% aus cDCE bzw. VC zusammen.

Dies ist einerseits auf die anaerobe Dechlorierung der CKW zurückzuführen, die während des Transports stattfindet. Andererseits werden die niederchlorierten Abbauprodukte

schlechter sorbiert und somit schneller transportiert, was ebenfalls zu einer Anreicherung entlang der Fliesstrecke führt.

Innerhalb der flächenhaften und durch CKW hoch kontaminierten Bereiche zeigen sich jedoch Areale, die keine CKW aufweisen. Dies lässt sich auf den Einfluss des Abbaus der hier vorgefundenen relativ hohen BTEX-Konzentrationen zurückführen. Die BTEX im Grundwasser werden unter Mitwirkung aerober Mikroorganismen abgebaut, wodurch das Redoxpotenzial bis in den methanogenen Bereich reduziert wird. Dies führt unter Mitwirkung anaerober Mikroorganismen zur anaeroben Dechlorierung der CKW. Die Schadstoffkonzentrationen an CKW im Grundwasser werden beim Durchströmen der reduzierenden Bereiche abgebaut. Unter diesen Milieubedingungen kommt es ausserdem verstärkt zu einer Reduktion von Nitrat zu Nitrit bzw. Ammonium und von Sulfat zu Sulfid sowie zu einer Reduktion und somit Lösung von Eisen (Reduktion von Fe^{3+} zu Fe^{2+}). Sämtliche Prozesse wurden in den entsprechenden Bereichen nachgewiesen und unterstützen somit die genannten Zusammenhänge.

Verfahrensprinzip und seine Besonderheiten

Zur Sanierung des kontaminierten Grundwassers sowie der Bodenluft wurden insgesamt sieben Sanierungsbrunnen (GZB – Grundwasserzirkulationsbrunnen) und 18 Bodenluftabsaugbrunnen im Dezember 2003 errichtet. Die GZB sind derart angeordnet, dass sich um einen Zentralbrunnen GZB 1 im «hot spots» des Nordbereiches, weitere GZB als Sechseck formieren. Die GZB liegen 50 m voneinander entfernt.

Die Sanierungsbrunnen wurden mit einem Endbohrdurchmesser von jeweils DN 850 mm und mit einer Tiefe von 14 bis 20 m unter Terrain durchgeführt. Die exakte Tiefe richtete sich nach der Lage des Geschiebemergels in den einzelnen Brunnen. Der Ausbau des Sanierungsbrunnens besteht aus zwei Bodenstützfiltern DN 800 (vgl. Abb. 1), mit einer Filterlänge von jeweils 3 m und einem Vollwandrohr des Durchmessers DN 800. Im oberen Bereich des Brunnens wurde in den Bodenstützfilter ein Stahlfilterrohr DN 300 mit Schlitzbrückenlochung eingesetzt (vgl. Abb. 2). Anschliessend wurde im unteren und im oberen Filterbereich Filterkies mittels Schüttrohren eingebracht.

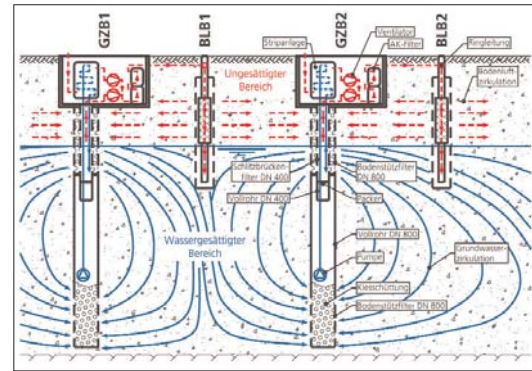


Abb. 4: Aufbau und Wirkungsweise von Grundwasserzirkulationsbrunnen und Bodenluftabsaugbrunnen mit Trennphasenfilter bei einer abwärtsgerichteten Zirkulation.

Diese besondere Brunnenkonstruktion ermöglicht einen relativ einfachen Austausch der Filterkiesschüttung. Durch die Bioaktivität im Untergrund des Sanierungsbereiches sind hohe Konzentrationen von Eisen, Mangan und Kalk zu beobachten. Durch diese «Störstoffe» bilden sich Ausfällungen im Bereich der Filterkiesschüttung, die zur Verringerung der Brunnenleistung führen.

Durch den Einsatz der Grundwasserzirkulationsbrunnen wird der gesamte kontaminierte Bereich intensiv vertikal und horizontal durchströmt. Ein GZB besteht aus einem Brunnenrohr mit zwei Filterstrecken, die hydraulisch voneinander getrennt sind. Mit einer Pumpe wird das hoch kontaminierte Grundwasser aus der unteren Filterstrecke entnommen und nach der Abreinigung über die obere Filterstrecke wieder infiltriert. Dadurch wird im Wirkungsradius des GZB eine vertikale Zirkulationsströmung erzeugt (vgl. Abb. 4). Das kontaminierte Grundwasser wird vor der Infiltration in einer Kompakt-Strippanlage dekontaminiert. Diese Anlage sowie dazugehörige Module (Ventilator, Steuerung und Aktivkohle) sind direkt in der Brunnenstube installiert.

In einem Abstand von 25 m bzw. 50 m zum GZB 1 wurden insgesamt 18 Bodenluftabsaugbrunnen mit Phasentrennfiltern und Druckentlastungsbohrungen positioniert. Zu diesem Zweck wurden 18 Bohrungen im Trockenbohrverfahren bis in einer Tiefe von 3,5 m und GOK mit einem Bohrdurchmesser von jeweils DN 300 durchgeführt. Die Brunnen bestehen aus 2,5 m Aufsatzrohr und 1,0 m Phasentrennfilter mit einem Ausburchmesser von DN 160. Sie dienen zur Bodenluftabsaugung und der Reinigung des Grundwassers im GW-Schwankungsbereich bzw. zur Reinfiltration der gereinigten Bodenluft je nach Sanierungsbedarf. Zur Aufnahme von Leitungen für die Bodenluft

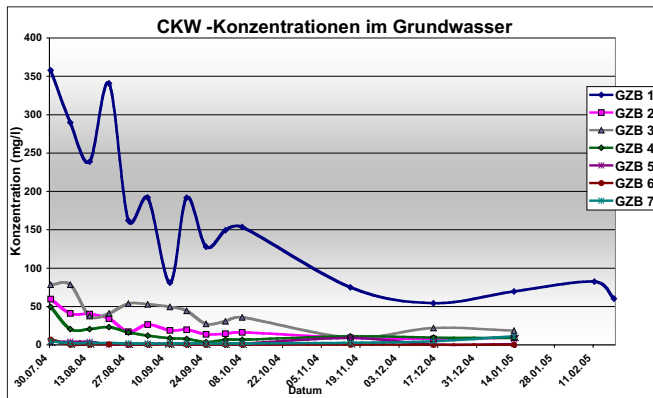


Abb. 5: Entwicklung der CKW-Konzentration im Zulauf des Grundwasserzirkulationsbrunnens (Basis der ersten Grundwasserleiter).

und Stromkabeln wurden zwei Ringkanäle erstellt.

Zur Erweiterung der Absaugleistung der Sanierungsbrunnen sowie zur Verhinderung des Ansaugens von atmosphärischer Luft beim Anlegen des Unterdruckes an den Sanierungsbrunnen wurde die Geländeoberfläche im Sanierungsbereich mittels Abdeckfolie (Fläche von etwa 9500 m²) versiegelt.

Zwischenergebnisse

Im Januar 2004 wurde die Pilotanlage zur Sanierung des Grundwassers und der Bodenluft in Betrieb genommen. In der ersten Pilotphase der Sanierung wurde die kontaminierte Bodenluft über sämtliche obere GZB-Filterstrecken, die zu diesem Zweck zum Teil oberhalb des Grundwasserspiegels liegen, durch das Anlegen eines Unterdrucks abgesaugt. Die mit Schadstoffen beladene Prozessluft wurde in-situ über Aktivkohle gereinigt und anschliessend über die Bodenluftbrunnen (BLB1-BLB18) in die ungesättigte Zone zurückgeführt. Die BLB wurden zum Teil im wassergesättigten Bereich verfiltriert und dienen damit der Bodenluftabsaugung bzw. der Behandlung des kontaminierten Kapillarbereiches des Grundwasserleiters sowie dem Grundwasserpotenzialausgleich. Die Entwicklung der CKW-Konzentrationen sowie deren

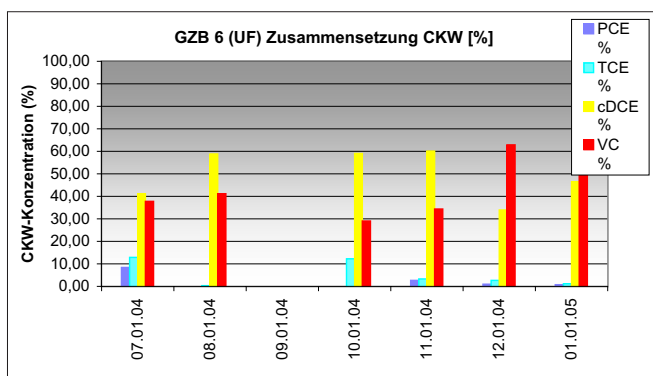


Abb. 6: CKW-Zusammensetzung (%) im Zulauf ausgewählter Grundwasserzirkulationsbrunnen.

Zusammensetzung in der ersten Phase der Sanierung gab eindeutige Hinweise auf die Abbauprozesse organischer Substanzen in der ungesättigten Bodenzone und im Grundwasser-schwankungsreich.

Das Hauptziel der ersten Phase der Pilotsanierung, nämlich die Auflösung der insularen und partikularen CKW-Phasen im Kapillarbereich, die zum Anfang der Absaugung zu einer Aufkonzentrierung der Schadstoffe führte, wurde erreicht. Diese Kontaminationsspitzen wurden durch den Bodenluftkreislauf erfolgreich erfasst und zu einem Grossteil absaniert.

Während der zweiten Phase der Pilotsanierung des kontaminierten Bereiches erfolgte parallel zur Bodenluftabsaugung die hydraulische in-situ-Sanierung des Grundwassers. Die Führung und der Gleichlauf der GW-Zirkulations-Potenziallinien, in Sechseck-Gruppen, führen zu einer gesicherten Durchspülung und Sanierung des auf 50 m eingeschränkten Sanierungsfeldes der einzelnen GZB.

Die aktuelle Schadstoffverteilung zeigt einen Trend zur Abnahme der CKW-Konzentrationen (vgl. Abb. 5) in allen GZB sowie in den nächstgelegenen Grundwassermessstellen (GWM). Im gesamten GWL ist eine Veränderung der Zusammensetzung der CKW zu beobachten. Die Prozentanteile von cDCE und VC an der Gesamtkonzentration steigen kontinuierlich an und die Prozentanteile der Muttersubstanzen sinken ab. Eine starke Veränderung der Zusammensetzung ist vor allem seit Juni 2004 festzustellen (vgl. Abb. 6). Dies ist eine Folge der Inbetriebnahme der Grundwasserzirkulationsbrunnen.

Die Gesamtkonzentration an CKW im Prozesswasser aller Sanierungsbrunnen GZB 1 bis GZB 7 nimmt ab. Eine besonders spektakuläre Veränderung der Gesamtkonzentration ist im zentralen Sanierungsbrunnen GZB 1 zu beobachten. Im Juli 2004 wurde hier eine CKW-Konzentration von 358 mg/l beobachtet,

im Januar 2005 liegt sie bei „lediglich“ 69 mg/l. In der näheren Umgebung des GZB 1, in einer Entfernung von 6 m, ist die Gesamtkonzentration in der Sanierungszeit von 179 mg/l auf 3 mg/l zurückgegangen (GWM 15-01-OP). Dabei hat sich die Zusammensetzung der CKW ebenfalls in Richtung der Abbauprodukte verändert. Das ist ein sicheres Zeichen für einen stufenweisen mikrobiologischen und katalytischen Abbau über den Weg PCE-TCE-cDCE-VC. Durch die Reinfiltration des gereinigten sauerstoffreichen Wassers (4 bis 8 mg/l gelöster Sauerstoff) im Schadenszentrum wird ein positiver Effekt erzeugt, nämlich die Unterstützung der aeroben Abbauprozesse von chlorierten Kohlenwasserstoffen (cDCE und VC). Die Reinfiltration des gereinigten Grundwassers über die oberen Filterstrecken dient ausserdem der «Auflösung» der residualen Phase aus dem Kapillarbereich. Im Grundwasserkörper kommen die Schadstoffe mit zahlreichen potenziellen Elektronenakzeptoren (O₂, NO₃, MnIV, FeIII, SO₄, CO₂) in Berührung, die eine Metabolisierung der CKW hervorrufen.

Schlussfolgerungen

Während der ersten Phase der Pilotsanierung wurde durch die Bodenluftabsaugung die Auflösung der insularen und partikularen CKW-Phasen im Kapillarbereich erreicht. Durch den Bodenluftkreislauf wurden die Schadstoffe erfolgreich erfasst und zum Grossteil dekontaminiert.

Während der zweiten Phase der Pilotsanierung (Grundwassersanierung und Bodenluftabsaugung) wurde eine deutliche Abnahme der CKW-Schadstoffkonzentrationen in allen Sanierungsbrunnen beobachtet. Einen kontinuierlichen Trend zur Abnahme der Schadstoffbelastung zeigen auch die im näheren Umfeld gelegenen GWM. Das Verhältnis zwischen den Abbauprodukten (cDCE und VC) und den Muttersubstanzen (PCE/TCE) der Gesamtbelastung hat sich innerhalb eines Jahres zu Gunsten der ersten verschoben. Die Reinfiltration des gereinigten sauerstoffangereicherten Grundwassers im Schadenszentrum dient der Auflösung der residualen CKW-Phase im Kapillarbereich und unterstützt den biologischen Abbau von TCE, cDCE und VC. Auf die Zersetzung von CKW (katalytischer Abbau) wirken ausserdem die zahlreichen Oxide und Hydroxide des Al, Fe und Mn im Boden des Sanierungsgebietes.

Seit Februar 2005 laufen im Südbereich des Sanierungsgebietes die Bohrarbeiten zur Errichtung des zweiten Sanierungsfeldes.