

Décharge Industrielle de Bonfol: Eingrenzung der belasteten Sandlinse Nord mittels MIHPT-Sondierungen

Arcadis Schweiz AG
Ifangstrasse 11
CH-8952 Schlieren/Zürich

T +41 44 732 92 44
F +41 44 730 66 22
michael.aeschbacher@arcadis.com
www.arcadis.com

1 AUSGANGSLAGE UND ZIELSETZUNG

Im Nordosten der Décharge Industrielle de Bonfol (DIB) wurde eine belastete Sandlinse festgestellt [1]. Durch Kernbohrungen, Installation von Piezometern und Analysen von Wasserproben aus der Sandlinse ist die Lage der Sandlinse Nord und deren Belastungssituation ungefähr bekannt. Im Rahmen des Sanierungsprojektes wurde für die belastete Sandlinse Nord basierend auf den damals vorhandenen Daten auch bereits eine Gefährdungsabschätzung durchgeführt [2]. Diese kam zum Schluss, dass es sich bei der Sandlinse Nord um ein abgeschlossenes System handelt, welches nicht in Verbindung mit dem Sundgauschotter steht. Zudem wurde basierend auf den vorliegenden Daten geschlossen, dass in der Sandlinse ein effizienter Bioabbau stattfindet. Im Jahr 2009 wurden auch bereits mögliche Massnahmen zur Behandlung der Sandlinse evaluiert (Unterstützung des Bioabbaus) [3]. Für eine weitergehende Beurteilung der belasteten Sandlinse und für eine Abklärung, ob weitere Behandlungsmassnahmen erforderlich sind bzw. welche Massnahmen geeignet wären, sind allerdings mehr Daten zum Ausmass und zur Belastungssituation der Sandlinse erforderlich.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war deshalb die weitergehende Charakterisierung der Sandlinse bezüglich ihrer räumlichen Ausdehnung und die Abgrenzung des belasteten Bereichs der Sandlinse. Basierend auf den Ergebnissen dieser Untersuchung wurde das in der Sandlinse vorhandene Schadstoffpotential quantitativ abgeschätzt.

2 GRUNDLAGEN

- [1] Décharge industrielle de Bonfol (DIB) - Campagne de forages 2003, CSD Ingenieurs SA, 29. Juli 2005.
- [2] Rapport complémentaire objectifs d'assainissement. BMG Engineering AG, 14. Juli 2008.
- [3] Evaluation von unterstützenden Massnahmen des natürlichen (Bio-)Abbaus bei bzw. in den Sandlinsen. BMG Engineering AG, April 2009.
- [4] Décharge Industrielle de Bonfol (DIB): Eingrenzung der belasteten Sandlinse im Bereich des Deponiesaums Süd mittels MIP-Sondierungen. BMG Engineering AG, 28. Mai 2015.
- [5] Décharge Industrielle de Bonfol (DIB): Ergänzende Abschätzung zur Auswirkung des Sorptionsszenarios auf Sanierungsmassnahmen. BMG Engineering AG, 21. Oktober 2013.

3 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN

3.1 MIHPT-Sondierungen

Bei dem MIHPT-Verfahren handelt es sich um eine Kombination von Membrane Interface Probe (MIP) und Hydraulic Profiling Tool (HPT). MIP ist eine In-Situ Technologie zur semiquantitativen Erfassung von flüchtigen organischen Schadstoffen (VOC) im Untergrund, in der Bodenluft und im Grundwasser

in einem kontinuierlichen Tiefenprofil. Für eine detaillierte Beschreibung der Methode wird auf [4] verwiesen.

Bei der HPT-Sondierung wird Wasser mit einer definierten Durchflussrate parallel zum Sondierfortschritt an den anstehenden Untergrund abgegeben. Abhängig von den hydraulischen Eigenschaften des Untergrunds variiert der Gegendruck und lässt so eine Interpretation hinsichtlich der hydraulischen Durchlässigkeit des Bodens zu. HPT-Profile bieten damit eine Ergänzung zu den Profilen der elektrischen Leitfähigkeit (LF), die durch die Anwesenheit von z.B. Salzen und anderen Stoffen, welche die elektrische Leitfähigkeit künstlich erhöhen, verfälscht werden können.

Bei gleichzeitiger Erfassung des hydrologischen Profils durch HPT und des lithologischen Profils basierend auf der Messung der elektrischen Leitfähigkeit erhält man somit eine zuverlässige Aussage in Bezug auf die lithologischen und hydraulischen Eigenschaften des Untergrundes.

Die MIHPT-Sonde erlaubt somit die gleichzeitige Aufnahme von Daten zur Belastung des Untergrunds mit VOC, zur hydraulischen Leitfähigkeit und elektrischen Leitfähigkeit in einem Sondiervorgang.

Nördlich der DIB wurden im Zeitraum vom 25.02. bis 09.03.2016 insgesamt 17 MIHPT-Sondierungen durchgeführt (Tab. 1). Dabei wurde in vier Transekten A-A' bis D-D' parallel zur Aushubhalle vorgegangen, um die räumliche Ausdehnung der Sandlinse zu charakterisieren (vgl. Lageplan Anhang 1 und Abb. 1).

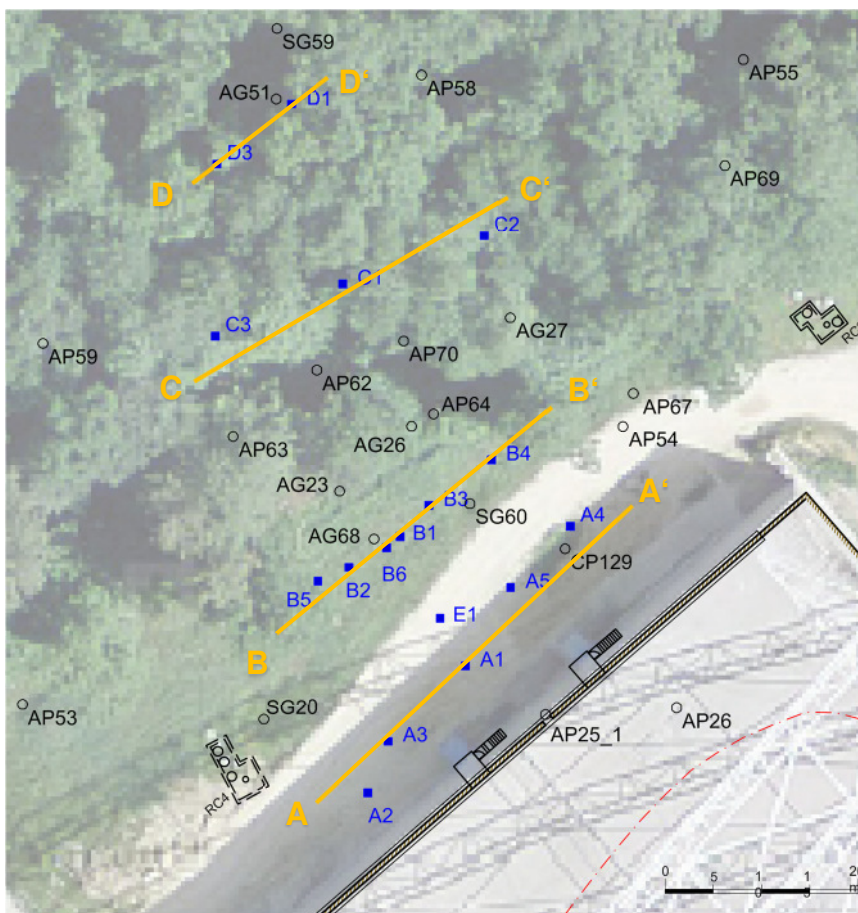


Abb. 1 Lage der Untersuchungs-Transekten und MIHPT-Sondierpunkte (blau).

3.2 Feststoffprobenahme

Ziel der Entnahme von Feststoffproben im Anschluss an die MIHPT-Sondierungen war einerseits die Verifizierung der lithologischen Daten und andererseits die Quantifizierung der Schadstoffkonzentrationen im Feststoff mittels Laboranalysen. Die Feststoffproben wurden im Liner-Verfahren gewonnen (System Macro-Core 5, Kerndurchmesser 38 mm, vgl. Methodenbeschreibung in [4]). Aufgrund eines Defekts der Probenahmetechnik konnten bei nur 3 Sondierpunkten Feststoffproben entnommen werden (Tab. 1). Die lithologische Beschreibung des bei den Liner-Sondierungen entnommenen Materials befindet sich in Anhang 6.

Während der Durchführung der MIHPT-Sondierungen wurde in unmittelbarer Nähe von B6 eine Kernbohrung durchgeführt (AG68). Diese diente zum weiteren Abgleich der HPT- und Leitfähigkeitsdaten sowie der Schadstoffdetektion durch das MIP.

Tab. 1 Durchgeführte MIHPT- und Linersondierungen.

Sondierpunkt	Endteufe MIHPT-Sondierung [m u. OKT]	Entnahmeintervall Liner-Proben [m u. OKT]
MIP_A1	11.7	
MIP_A2	11	
MIP_A3	12	
MIP_A4	10.8	
MIP_A5	10.8	5.8 – 7.0
MIP_B1	10.2	
MIP_B2	10.4	5.8 – 9.4
MIP_B3	9.8	
MIP_B4	9.3	
MIP_B5	10.5	
MIP_B6	9.8	
MIP_C1	10.2	
MIP_C2	9.8	
MIP_C3	9.8	
MIP_D1	9.5	
MIP_D3	9.5	5.0 – 7.4
MIP_E1	4.6*	

*Abbruch der Sondierung bei 4.6 m aufgrund von Hindernis.

4 ERGEBNISSE DER UNTERSUCHUNGEN

4.1 Charakterisierung der Sandlinse

Anhand der Leitfähigkeits- und HPT-Logs (Anhang 3) wurde die Lage von sandigen Horizonten interpretiert. Uneindeutige Signale wurden als Übergangzone definiert (toniger/siltiger Sand, sandiger/siltiger Ton). So konnte beispielsweise bei der Sondierung MIP_A4 der Bereich zwischen 3.6 und 4.8 m u. OKT eindeutig als Sandhorizont identifiziert werden, da hier sowohl der Druck im HPT-Log als auch die Leitfähigkeit sehr niedrige Werte zeigten (100 kPa bzw. <50 mS/m). Bei der Sondierung MIP_B2 wurde trotz niedriger Leitfähigkeitswerte zwischen 6 und 7 m u. OKT im Liner kein reiner Sand festgestellt (Ton mit vereinzelt Sandeinschlüssen). Dahingegen zeigte das HPT

einen hydraulisch durchlässigen Bereich zwischen 7 und 8 m u. OKT an. Dieser Sandhorizont wurde durch eine Linerprobenahme in einer Tiefe von 7.0 bis 8.2 m u. OKT bestätigt. Aufgrund der speziellen lithologischen Verhältnisse (Tonmatrix um Sand) war allerdings die Interpretation der Lithologie trotz Kombination von HPT und Leitfähigkeitsmessungen in einigen Fällen nicht eindeutig. Da noch nicht in allen Fällen, die nicht eindeutig waren, Feststoffproben entnommen werden konnten, sind zusätzliche Sondierbohrungen erforderlich.

Bei der Gesamtinterpretation der Sandlinse wurden die Daten der umliegenden Bohrungen/Piezometer einbezogen [1]. So wurden die Bohrprofile AG23, AG26, AG27, AG51, AG25.1, AP54, AP58, AP59, SG59, AG68 entsprechend der vereinfachten Einteilung Tonschicht, Übergangszone und Sand interpretiert. Anhang 4.1 gibt eine Übersicht der Lithologie aller relevanten Bohrungen inklusive der interpretierten MIHPT-Sondierungen.

Die Interpolation der Lithologie (Anhang 4.2) zeigte, dass man nicht von einer durchgehenden Linse aus reinem Sand ausgehen kann. Dennoch werden die einzelnen identifizierten Sandhorizonte über im Vergleich zu den Bonfoltonen durchlässigere Horizonte (Übergangszone) miteinander verbunden.

Die Profilschnitte (Anhang 5) zeigen für die Transekten A, B und D eine seitliche Abgrenzung (SW-NO-Achse) der Sandlinse. In der Transekte C konnte die Sandlinse nicht vollständig eingegrenzt werden, allerdings war die Interpretation des LF/HPT-Logs von MIP_C2 nicht eindeutig. So zeigt das Leitfähigkeitslog bei 4.0 - 4.5 m und 6.2 - 6.6 m Werte von < 50 mS/m, das HPT-Profil zeigt hier jedoch keine durchlässigeren Bereiche an.

4.2 Charakterisierung der Schadstoffbelastung

Die in der Sandlinse Nord relevanten Schadstoffe gemäss [3] sind in den Detektoren des MIP-Systems unterschiedlich sichtbar. So werden 1,4-Dioxan und Tetrahydrofuran nur im FID und PID detektiert, halogenierte Verbindungen wie Chlorbenzenen zusätzlich im XSD. Anilin wird aufgrund seines hohen Siedepunktes von 184°C nicht von der MIP-Sonde mobilisiert und kann deshalb nicht detektiert werden. Wenn nur der FID ein Signal zeigt, kann man von der Anwesenheit von Methan (organisches Material) ausgehen. Weitere Einzelheiten zur Detektierbarkeit unterschiedlicher Stoffe können dem Bericht [4] entnommen werden.

Nachfolgend wird die Belastungssituation entlang der vier Profile A-A' bis D-D' beschrieben und Wissenslücken aufgezeigt. Da kaum Feststoffproben entnommen werden konnten, wird die Lage von weiteren Kernbohrungen vorgeschlagen (vgl. Lageplan in Anhang 2).

Profil A-A': Die Sondierungen MIP_A1 und MIP_A2 lieferten keine Hinweise auf eine Belastung im Untergrund. In der Sondierung MIP_A3 gab es zwischen 7.3 und 8.4 m eine geringe Detektion im FID und PID. Das Leitfähigkeitslog weist in dieser Schicht auf einen höheren Sandanteil hin, das HPT lässt aber keine eindeutige Interpretation der hydraulischen Leitfähigkeit zu. Das Log der Sondierung MIP_A4 zeigt im Ton zwischen 4.8 und 7 m erhöhte Werte im PID. Diese sind jedoch eher als Baseline drift zu interpretieren, da im FID kein ähnliches Signal zu sehen ist. Der Sandhorizont im Bereich 3.6 bis 4.3 m ist gemäss MIP unbelastet. Dies sollte durch eine Kernbohrung bestätigt werden (K3). Die erhöhten Werte im PID der Sondierung MIP_A5 zwischen 5 und 7 m sind ebenfalls nicht auf eine Schadstoffbelastung zurückzuführen. Dies konnte durch die Analyse der Feststoffprobe bestätigt werden (alle Parameter <BG, Tab. 2).

Profil B-B': In der Sondierung MIP_B1 wurden in durchlässigeren Bereichen Peaks im FID und PID aufgezeichnet (minimal auch im XSD). Diese gehen einher mit einem Druckabfall/-schwankungen im HPT und einer niedrigeren elektrischen Leitfähigkeit. Es ist davon auszugehen, dass falls überhaupt ein Horizont aus reinem Sand vorliegt, dieser auf wenige Zentimeter beschränkt ist. Die Sondierung

MIP_B2 zeigt Signale im FID und ansatzweise im PID in hydraulisch durchlässigen Bereiche zwischen 7 und 8 m u. OKT (HPT-Daten). Die Linerprobe zwischen 7.0 und 8.2 m u. OKT enthielt Wasser (Sandhorizont), das eine Konzentration von 9.7 mg/l Chlorbenzol und 10 mg/l Anilin aufwies (Grössenordnung wie in AG23, 15 m entfernt). Wenn man diese Konzentrationen über die K_d -Werte für das Standard-Sorptionsszenario (experimentelle K_d -Werte) [5] auf eine Feststoffkonzentration zurückrechnet, müssten rund 21 mg/kg Chlorbenzol und 17 mg/kg Anilin vorliegen. Tatsächlich wurden jedoch nur 0.14 mg/kg Chlorbenzol und 2.6 mg/kg Anilin nachgewiesen. Insgesamt sind die festgestellten Konzentrationen relativ gering, Hinweise auf Schadstoffe in Phase gibt es keine. Das Log der Sondierung MIP_B6 zeigt deutliche Signale in FID, PID und XSD zwischen 6 und 7 m u. OKT, allerdings liegt die Sandlinse gemäss der Kernbohrung AG68 (ein Meter daneben) etwas tiefer (6.4 – 8.3 m u. OKT). Die THF-Konzentration in der Bohrung AG68 ist vergleichbar mit der in MIP_B2. Anilin und Chlorbenzol lagen unter der Bestimmungsgrenze und 2-Chlorbenzol bei 0.25 mg/kg. Die Sondierungen MIP_B3, MIP_B4 und MIP_B5 lieferten keine Hinweise auf eine belastete Sandlinse.

Profil C-C': Die Sondierung MIP_C3 ergab keine Hinweise auf eine Schadstoffbelastung. Die Signale im PID der Sondierung MIP_C1 in Bereichen mit höheren Sandanteilen zwischen 6.8 und 8.6 m u. OKT sind sehr schwach und lassen, wenn überhaupt, nur auf eine geringe Belastung schliessen. Dahingegen zeigt MIP_C2 deutliche Signale in FID und PID in Bereichen mit geringerer Leitfähigkeit (4.0 - 4.5 m und 5.5 - 6.5 m u. OKT). Hier sollte die Belastung mittels Analyse von Feststoffproben überprüft werden. Die hier vorgeschlagenen Kernbohrungen K5 und K6 dienen sowohl der Quantifizierung als auch der weiteren Eingrenzung der möglichen Belastung.

Profil D-D': Die Sondierungen MIP_D1 und MIP_D3 zeigten schwache Signale in FID und PID in Bereichen mit geringerer Leitfähigkeit. Der bei MIP_D3 entnommene Liner wies von 5.2 - 5.5 m u. OKT einen Sandhorizont auf. Die Analyse der Feststoffprobe ergab jedoch eine nur geringe Belastung mit Chlorbenzol knapp über der Bestimmungsgrenze (0.009 mg/kg). Alle weiteren Parameter lagen unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Die Ergebnisse zeigen bisher nicht klar die Verbindung zwischen der in AP25.1 und im Bereich AG23 angetroffenen hohen Schadstoffkonzentrationen. Die vorgeschlagenen Kernbohrungen K1, K2 und K4 sollen diesbezüglich Klärungen bringen.

Tab. 2 Schadstoffkonzentrationen ausgewählter Parameter in den Feststoffproben.

Probe		A5-1	B2-4	D3-2	AG68
Tiefe	[m]	5.8 - 6.5 m	7.5 - 8.2 m	5.2 - 5.5 m	7.5 m
Lithologie		schluffig-sandiger Ton	Sand	Sand	Sand
Chlorbenzol	[mg/kg]	<0.005	0.14	0.009	<0.005
Tetrahydrofuran	[mg/kg]	<1	2.1	<1	2.5
Anilin	[mg/kg]	<0.05	2.6	<0.05	<0.05
2-Chloranilin	[mg/kg]	<0.01	0.06	<0.01	0.25
3-Chloranilin	[mg/kg]	<0.01	0.03	<0.01	<0.01
4-Chloranilin	[mg/kg]	<0.01	0.01	<0.01	<0.01

5 SCHADSTOFFPOTENTIAL

Die Untersuchung bestätigte insgesamt die räumliche Begrenzung der belasteten Sandlinse. Die Ausdehnung in nordöstliche Richtung ist geringer als bisher angenommen. Auf der Nord-Süd-Achse gab es keine Hinweise auf eine durchgehende Verbindung der angetroffenen sandigen Horizonte. Dies spricht dafür, dass die Verteilung der Schadstoffe eher diffusiv erfolgt und weniger durch einen Wasserfluss in der Sandlinse. Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei der Sandlinse um ein abgeschlossenes System handelt, in welchem wenig advektiver Transport stattfindet. Die Schadstoffbelastung nimmt mit der Entfernung zum Grubensaum rasch ab. Die Belastungen in AG51 machen nur einen geringen Anteil der Belastungen in AP25.1 aus. Basierend auf den vorhandenen Daten wurde in [2] geschlossen, dass ein effizienter Bioabbau der Schadstoffe stattfindet.

Auf Grundlage der aktuellen Abschätzung der räumlichen Ausdehnung der belasteten Sandlinse (Anhang 2) und der vorliegenden Grundwasserdaten aus den Piezometern wurde eine grobe Berechnung des Schadstoffpotentials durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Anhang 7 und Tab. 3 zusammengestellt. Hierzu wurde die Sandlinse in 3 Sektoren eingeteilt (Anhang 2). Basierend auf den Daten weist Sektor III ein deutlich geringeres Schadstoffpotential als die beiden anderen Sektoren auf.

Tab. 3 Schadstoffpotential in der Sandlinse Nord (grobe Berechnung auf Basis der Wasserdaten).

	THF	Chlorbenzol	Anilin	1,4-Dioxan
	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
Sektor I	7	13	10	15
Sektor II	18	8	44	6
Sektor III	0.04	0.14	0.001	0.003
Summe	25	21	54	21

Die Feststoffkonzentrationen in den wenigen vorliegenden Proben sind deutlich geringer als die anhand der Wasserdaten mit den K_d -Werten für das Standard-Sorptionsszenario berechneten Werte (Faktor 10 bis 300). Bei Anwendung des Szenario mit schwacher Sorption (10x geringere K_d -Werte), welches auch bei der Kontrolle der Erreichung der Sanierungsziele für den Deponiesaum angewandt wurde, wäre die Übereinstimmung zwischen den Wasser- und Feststoffkonzentrationen besser. Allerdings ist eher davon auszugehen, dass noch Zonen mit erhöhter Feststoffkonzentration vorhanden sind, welche durch die Sondierungen nicht getroffen wurden. Für eine abschliessende Charakterisierung und Gefährdungsabschätzung sind daher noch weitere Untersuchungen erforderlich. Da es statistisch wenig wahrscheinlich ist, die Zonen mit starken Belastungen im Feststoff mittels Sondierbohrungen zu treffen, schlagen wir eine Kombination von Feststoff- und Wasserprobenahmen vor.

6 WEITERES VORGEHEN

Zur Konsolidierung der Datengrundlage und insbesondere zur Komplettierung der Feststoffdaten empfehlen wir die Durchführung von 5 - 7 Kernbohrungen zur Aufnahme der Lithologie und zur Entnahme von Feststoffproben. Die vorgeschlagene Lage dieser Bohrungen kann dem Anhang 2 entnommen werden. K1 und K2 sollen die mögliche Verbindung der in AP25.1 angetroffenen Sandlinse hin zu Transekte A und deren weiteren Verlauf zu Transekte B untersuchen. Somit soll geklärt werden wie sich die Belastung (Anilin) von der Deponie in Richtung B2/AG23 ausgebreitet hat. Die Bohrung K3 am östlichen Rand der Transekte A soll der genaueren Untersuchung der in MIP_A4 gefundenen Sandlinse im Bereich von 3.6 bis 4.6 m dienen. In der Halle wurde in der Nähe eine möglicherweise belastete Sandlinse in diesem Tiefenbereich freigelegt. K4 und K5 liefern weitere

Werte zu den Feststoffkonzentrationen. K6 dient der weiteren Abgrenzung der möglicherweise in MIP_C2 vorliegenden Belastung. Falls noch geophysikalischen Untersuchungen (Resistivity Tomography) durchgeführt werden, sollte das Sondierprogramm im Anschluss daran an die neuen Ergebnisse angepasst werden. Ausserdem werden die Anzahl und Lage der Bohrungen noch mit der Firma CSD Ingenieurs SA, die die hydrogeologische Charakterisierung der Sandlinse vornimmt, abgestimmt.

Wir schlagen vor, die Bohrungen so auszulegen, dass in den sandigen Schichten (auch bei solchen mit geringerer Durchlässigkeit) 4.5" Piezometer installiert werden können. Diese Piezometer können anschliessend dazu genutzt werden, Pumpversuche zur Untersuchung der hydrogeologischen Verhältnisse in der Sandlinse durchzuführen und Wasserproben für chemische Analysen zu entnehmen.

In Absprache mit Arcadis Holland sollten die Piezometer zudem so ausgebaut werden, dass sie gegebenenfalls für eine Einbringung von chemischen Oxidationsmitteln in die Sandlinse genutzt werden können.

Die Bohrkerns werden geologisch aufgenommen und organoleptisch charakterisiert. Pro geologische Schicht oder mindestens pro Tiefenmeter werden Feststoffproben entnommen. Bei der Probenahme ist wichtig, dass sowohl die sandigen Schichten als auch die darunter und darüber liegenden Tonschichten separat beprobt werden (Diffusion von Schadstoffen in den Ton). In einem ersten Schritt empfehlen wir, die Proben aus den sandigen Schichten gemäss dem Bonfol-Analysenprogramm für Feststoffproben zu analysieren (VOC, Amine, Ammonium und teilweise Zn). Werden in den sandigen Schichten erhöhte Schadstoffgehalte festgestellt, schlagen wir vor, in einem zweiten Schritt zusätzlich die Tonschichten unter und über der sandigen Schicht zu analysieren. Zudem schlagen wir vor, aus den sandigen Schichten zusätzliche Proben zu entnehmen, welche gegebenenfalls verwendet werden können um In-Situ Chemical Oxidation (ISCO) als Massnahme im Rahmen von Laborstudien weiter zu evaluieren (falls möglich jeweils ca. 5 - 10 kg Material). Die Ergebnisse helfen, zusammen mit dem ISCO-Pilotversuch bei der Sandlinse Süd, die Methode weiter zu evaluieren.

Um ein besseres Gesamtbild der Belastungssituation in der Sandlinse zu erhalten, schlagen wir vor, dass aus den neu installierten Piezometern Wasserproben entnommen und auf die relevanten Parameter analysiert werden (insbesondere Feldparameter, DOC; Amine, VOC und Ammonium).

Basierend auf den Ergebnissen dieser ergänzenden Untersuchungen kann die Risikobewertung für die Sandlinse Nord verfeinert werden und es kann evaluiert werden, ob weitere Behandlungsmassnahmen erforderlich sind und gegebenenfalls welche Massnahmen dazu geeignet sind.

Der Projektleiter



Dr. Michael Aeschbacher

Arcadis Schweiz AG



Dr. Christoph Munz

Sachbearbeiterin: Dr. Nicole Merkl

Schlieren, 26. Mai 2016

Projekt: DIB: Risikobewertung - Sandlinse Nord, 61.200.51

Arcadis Schweiz AG hat diese Untersuchung unter Einsatz ihres besten professionellen Könnens und in Übereinstimmung mit allgemein anerkannten Grundsätzen ausgeführt. Die Erkenntnisse und Schlussfolgerungen im Untersuchungsbericht stützen sich auf die der Arcadis Schweiz AG zum Zeitpunkt der Berichtverfassung vorliegenden Informationen. Diese Erkenntnisse und Schlussfolgerungen können nicht unüberprüft auf zukünftige Verhältnisse übertragen werden.