



Nachhaltige Sanierung: sicheres Arbeiten durch kontrollierte Risiken

CHLORONET – 27. November 2018
SUEZ Remediation – M. CHARRIER



SUEZ Remediation – Chloronet – Solothurn – November 2018

INHALT

**1. Behandlung einer Chlorbelastung:
Ausgangslage und Allgemeines**

**2. Technische Risiken und Erfahrungsaustausch (ERFA):
Behandlung des Bodens – On-Site-Sanierung: forcierte
Verflüchtigung von CKW**

**3. Technische Risiken und Erfahrungsaustausch (ERFA):
Grundwasserbehandlung – In-situ-Sanierung: anaerobe
biologische Behandlung von CKW**

4. Versuchsbeispiele

5. Schlussfolgerungen

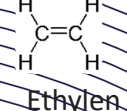
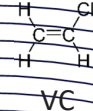
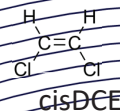
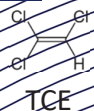
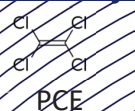
SUEZ Remediation – Chloronet – Solothurn – November 2018

Ausgangs- lage

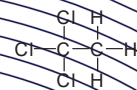
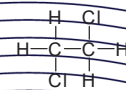
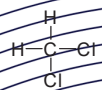
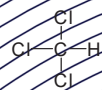
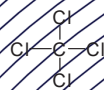
SUEZ Remediation – Chloronet – Solothurn – November 2018



Chlorethylene



Methane und Chlorethane



**DIE
AUSGANGS-
LAGE**

Wegen ihrer entfettenden Eigenschaften oder als Lösungsmittel sehr häufig eingesetzte Verbindungen. In der Regel sehr gut löslich (über 1 g/l), schwerer als Wasser und sehr giftig.

- «Häufige» Schadstoffe
- Dichte: Wiederherstellung potentiell komplex
- Toxizität + Löslichkeit: tiefe Sanierungsgrenzwerte

SUEZ Remediation – Chloronet – Solothurn – November 2018



DIE AUSGANGS- LAGE

Die Wirksamkeit einer Behandlung hängt insbesondere ab von:

- den Schadstoffen (physikalisch-chemische Eigenschaften, Lokalisierung, Konzentration, LNAPL, DNAPL ...)
- dem Umfeld des Eingriffs (Geologie, Hydrogeologie, Geochemie ...)
- der Art der Umsetzung (Dimensionierung, Überwachung)

- Jede Problematik ist ein einzelnen zu betrachtender Fall
- Eine Anpassung der eingesetzten Techniken ist für jedes Projekt nötig
- Weitere Hilfsmittel können erforderlich sein, um die richtige Behandlung korrekt umzusetzen

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



WICHTIGSTE TECHNIKEN

Folgende Methoden werden im Umgang mit einer CKW-Belastung eingesetzt:

- Charakterisierung des verschmutzten Bereichs
 - Bedeutung einer richtigen Charakterisierung (Ausdehnung, Schichtung ...)
- Behandlung: off site, on site, in situ
 - Häufig sind Versuche nötig, um die erwartete Wirksamkeit einer Massnahme im spezifischen Kontext zu überprüfen.

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



DIE PILOT- VERSUCHE

Welche Art von Versuchen?

- Labor:
 - Ermöglicht rasche Bestätigung (Go/No-Go) der Machbarkeit oder das Aufzeigen von Hindernissen
 - Ermöglicht Betrachtung der Massnahmen / Abschätzung der Massnahmengrenzen
 - Ermöglicht Aussagen zur Dimensionierung
 - Dauer: in der Regel einige Wochen bis Monate

Achtung: hohe Sensitivität der Repräsentativität der Probenahme

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



DIE PILOT- VERSUCHE

Welche Art von Versuchen?

- Feldversuche:
 - Charakterisierung der Bodenparameter (Durchlässigkeit ...)
 - Validierung der Methoden für die Injektionen / Kontakt
 - Beurteilung der Einflussbereiche
 - Schätzung der Wirksamkeit / der Rebound-Effekte
 - Dauer: in der Regel einige Tage bis Monate

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



DIE PILOT- VERSUCHE

- Erlauben es, Hindernisse/Probleme vor der Umsetzung im Feld vorwegzunehmen
- Nicht systematisch durchzuführen, jedoch in komplexen Fällen anzuwenden (Sanierungsgrenzwerte, Geologie ...)
- Art der Versuche: fallweise anzupassen
- Labor-/Feldversuche: **zusätzlich** und nicht redundant
- Finanzielle Auswirkung auf Projekt: wenig signifikant im Vergleich zum Projekt
- Impact Planning: gewährleistet einen guten Projektablauf und muss erfolgen, falls für das Sanierungsprojekt erforderlich!

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



On-Site- Behandlung des Bodens – Verdampfung der CKW

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018

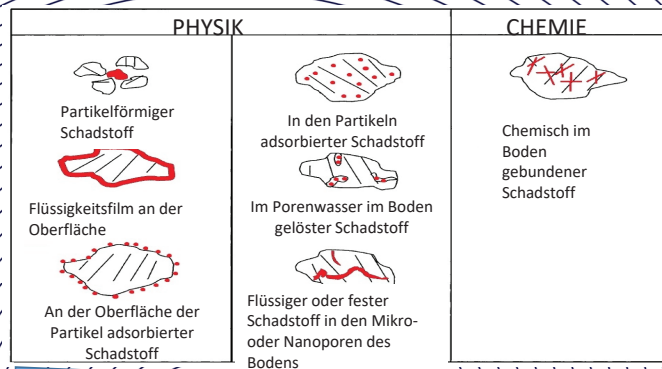


RISIKO VERDAMPFUNG

Die Extraktion einer Belastung durch Verdampfung hängt insbesondere ab von:

- A. Art des Untergrunds (organisches Material, Durchlässigkeit, Wassergehalt ...)
 - B. Art des Schadstoffs (Wasserdampfdruck, Adsorptionskonstante ...)
 - C. bereitgestellten Instrumenten (mechanische Zerstörung, Kalkung, Erhitzen...)
- A. «Form» der Schadstoffe

→ Versuche erlauben es, die Wirksamkeit einer Behandlung im voraus zu bestimmen



Extrahierbarkeit, Bioverfügbarkeit

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



ERFA VERDAMPFUNG

ERFA Baustelle

- «Niedrige» angestrebte Grenzwerte für Rückstände

Schadstoffe	Einheiten	Zone A	Zone B
TCE	mg/kg	1,8	0,05
PCE	mg/kg	0,14	0,14

- Laborpilotversuch: Verdampfung, Erhitzen auf mittlere Temperatur

Ergebnisse:

			E0 Erste Kernbohrung	E1 Zerstörung	E2 Kalkung
R10	TCE	mg/kg MS	0,20 ± 0,09	0,29 ± 0,04	0,56 ± 0,17
	PCE	mg/kg MS	0,85 ± 0,19	1,2 ± 0,1	1,6 ± 0,2
R19	TCE	mg/kg MS	0,21 ± 0,03	0,38 ± 0,04	0,62 ± 0,12
	PCE	mg/kg MS	0,15 ± 0,02	0,25 ± 0,04	0,30 ± 0,05

Tabelle 2: Wirksamkeit von Zerstörung und Kalkung

Mechanische Zerstörung und/oder Kalkung → FEHLGESCHLAGEN

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



ERFA Baustelle

→ Ergebnisse (Fortsetzung):

			E0 carottage initial	E1 Destruc- tion	E3 Venting 1ml/min 24h T°amb	E4 Venting 1ml/min 24h 45°C	E5 Venting 25 ml/min 24h 45°C	E6 Venting 25 ml/min 5j 45°C	E7 Venting 25 ml/min 48h 70°C	E10 Venting 25 ml/min 6j 70°C
R10	TCE	mg/kg MS	Erste Kern- bohrung	Zerstö- rung	0,47 ± 0,18	0,43 ± 0,01	0,42 ± 0,12	0,97 ± 0,20	0,15 ± 0,02	0,20 ± 0,06
	PCE	mg/kg MS			1,4 ± 0,1	1,6 ± 0,5	1,4 ± 0,1	1,4 ± 0,1	0,65 ± 0,02	0,32 ± 0,04
R19	TCE	mg/kg MS			0,32 ± 0,01	0,37 ± 0,07	0,30 ± 0,02	1,9 ± 1,00	0,14 ± 0,01	1,8 ± 1,1
	PCE	mg/kg MS			0,22 ± 0,02	0,21 ± 0,03	0,18 ± 0,01	0,53 ± 0,28	0,06 ± 0,01	0,30 ± 0,13

Tableau 4 : Efficacité du couplage chauffage/venting

Thermisches Venting → FEHLGESCHLAGEN

			E0 Erste Kern-bohrung	F1 Zerstörung	E8 105°C 24h	E9 105°C 5j
R10	TCE	mg/kg MS	0,20 ± 0,09	0,29 ± 0,04	0,50 ± 0,33	1,0 ± 0,15
	PCE	mg/kg MS	0,85 ± 0,19	1,2 ± 0,1	2,0 ± 0,3	2,1 ± 0,9
R19	TCE	mg/kg MS	0,21 ± 0,03	0,38 ± 0,04	1,6 ± 0,6	3,9 ± 1,2
	PCE	mg/kg MS	0,15 ± 0,02	0,25 ± 0,04	0,76 ± 0,10	0,67 ± 0,1

Tabelle 2: Ergebnisse der Erhitzung auf 105 °C (ohne Luftaustausch)

OS-Thermik → FEHLGESCHLAGEN

- Alternative On-Site-Lösungen (z. B. Erhitzen auf eine höhere Tempera-
tur) würden zu höheren Kosten führen als eine Off-Site-Entsorgung.
- Off-Site-Entsorgung des belasteten Erdmaterials

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



ERFA
VERDAMPFUNG

ERFA Laborpilotversuch

- Viele Behandlungsversuche durch Verdampfung

Schadstoff	C0 (mg/kg)	Ziel (mg/kg)	Fazit
BTEX	190	6	OK
Benzol	1	0,1	OK
Toluol	2	0,5	OK
Ethylbz	5	0,4	NOK
Xylol	130	0,5	NOK
Toluol	150	?	OK
Xylol	200	?	OK
PCE	10	?	OK
Ethylbz	7	?	OK
Xylol	16	?	OK
TCE	5	0,05	NOK
PCE	2	0,14	NOK
CBz	4	?	OK
TCE	0,5	0,2	OK
PCE	0,6	0,2	NOK
Chloroform	7	0,2	NOK
Xylol	870	?	OK
TCE	30	2	OK
PCE	80	2	OK

→ Bei einem Misserfolg
gibt es in der Regel ein
Hindernis im mg/kg-
Bereich

→ Vorgängige Versuche im
Labor erlauben es, diese
Probleme auf der Baustelle
vorwegzunehmen

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



ERFA
VERDAMPFUNG

ERFA VERDAMPFUNG

Erfahrungsaustausch

- Zwar sind CKW theoretisch flüchtig, aber das Erreichen von geringen Grenzwerten für Rückstände (nahe BG oder 1 ppm) kann sich in einer On-Site-Behandlung durch einfache Verdampfung als sehr heikel herausstellen
- Pilotversuche bei niedrigen Grenzwerten zwingend
- Laborpilotversuche erlauben es, Behandlungsprobleme vorwegzunehmen

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



In-situ-Behandlung des Grundwassers – biologische Behandlung der CKW

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



RISIKO BIOLOGISCHE BEHANDLUNG

Die Wirksamkeit der anaeroben biologischen In-situ-Behandlung der CKW hängt insbesondere ab von:

- A. Art des Untergrunds (organisches Material, Durchlässigkeit, Wassergehalt ...)
- B. Vorhandensein der geeigneten Bakterien
- C. Art des Schadstoffs (Konzentration, Art ...)
- D. Verteilung der Reagenzien im Untergrund

Die Hauptrisiken in diesem Zusammenhang:

- A. Abweichung von den Behandlungszeiten
- B. Akkumulation von Nebenprodukten
- C. Nicht erreichte Zielgehalte
- D. Regelmässige Rebound-Effekte

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



RISIKO BIOLOGISCHE BEHANDLUNG

Begrenzung des Risikos?

Laborversuche:

- Vorhandensein geeigneter Mikroorganismen für einen vollständigen Abbau der CKW überprüfen → keine dauerhafte Akkumulation von Nebenprodukten
- Überprüfen, ob Umgebung durch Injektion einer Kohlenstoffquelle stimuliert werden kann / Wahl der Kohlenstoffquelle

Feldversuch:

- Überprüfung der Verteilung/Remanenz der Kohlenstoffquellen
- Abschätzung der Einflussbereiche
- Schätzung der Reinjektionsfrequenzen / Wahl der Kohlenstoffquelle

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



ERFA BIOLOGISCHE BEHANDLUNG SUEZ

ERFA SUEZ-Baustellen

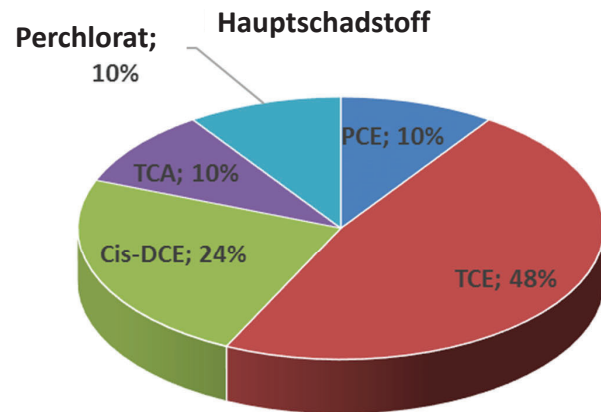
• 21 behandelte Zonen

Periode

• 2006–2017

Hauptschadstoff

• CKW

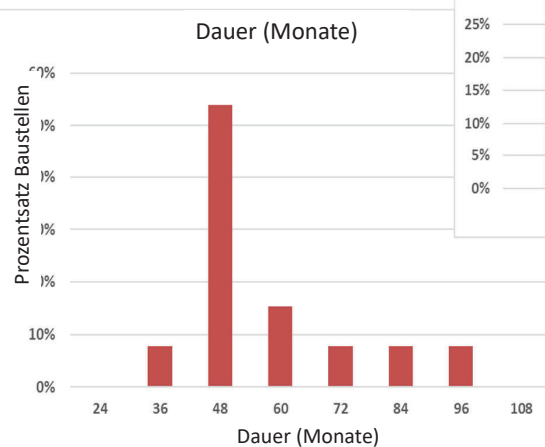


SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018

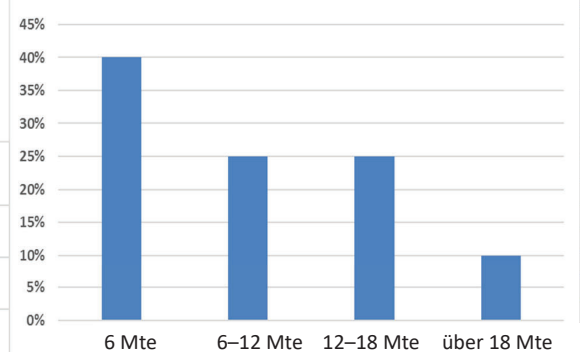


ERFA BIOLOGISCHE BEHANDLUNG SUEZ

• ERFA Baustellen Bio-ISCR



Häufigkeit der Injektionen

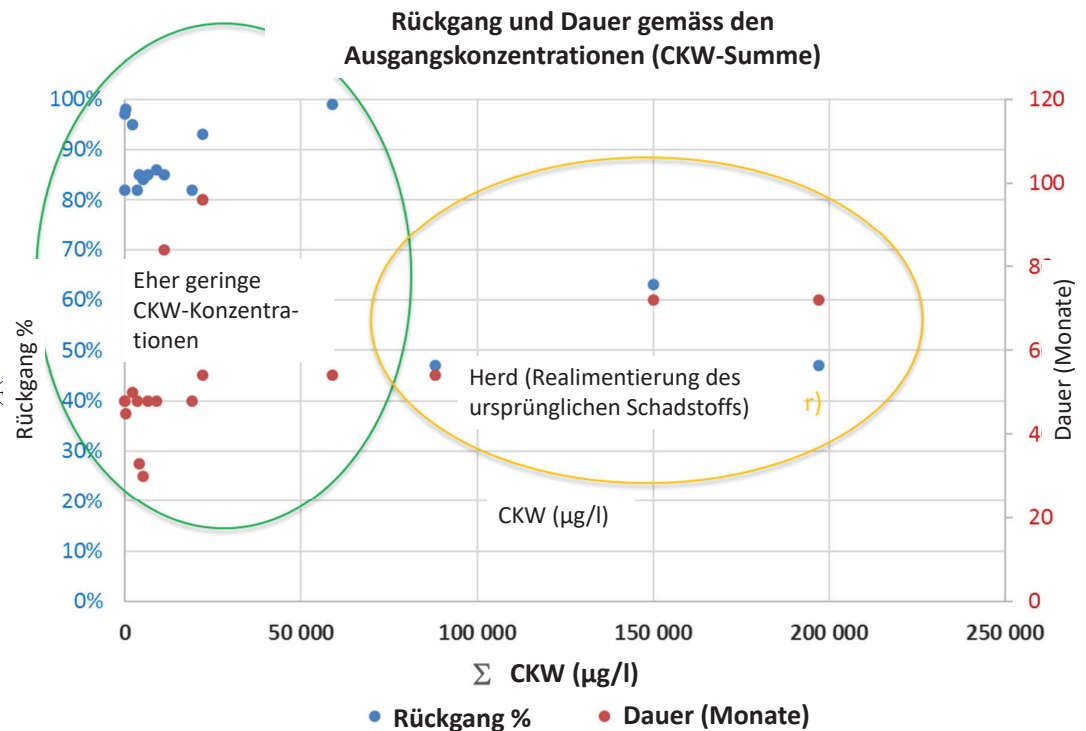


Langdauernde Baustellen
um Ziele zu erreichen

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



ERFA BIOLOGISCHE BEHANDLUNG



SUEZ Remediation - ChloroNet - Spitzthum - November 2018



ERFA BIOLOGISCHE BEHANDLUNG

○ Laborversuche:

- Häufig ist eine Bioaugmentation nicht notwendig, da die geeigneten Bakterien schon vorhanden sind. Dieser Parameter ist jedoch zu bestätigen, um zu überprüfen, ob keine Akkumulation von giftigen Nebenprodukten vorliegt.
- Einige Laborversuche funktionieren nicht: kein biologischer Abbau → die direkte Umsetzung im Feld ist nicht sinnvoll.

○ Umsetzung im Feld:

- Die Umsetzung einer biologischen Behandlung bei Vorhandensein einer freien Phase ist möglich, doch die Injektionen sind zu verlängern, solange die freie Phase vorhanden ist.
- Die Dauer einer Behandlung beträgt einige Jahre, mit regelmässigen Reinjektionen.
- Die Behandlungen weisen – bei Abwesenheit einer freien Phase – eine sehr hohe Wirksamkeit auf.

Einige Versuchsbeispiele

SUEZ Remediation – Chloronet – Solothurn – November 2018



LABOR- VERSUCHE SUEZ

Beispiele für SUEZ-Laborversuche:

- Biologische Behandlung: aerob (1 bis 2 Mte), anaerob (3 bis 6 Mte)
- Chemische Behandlung: Oxidation (Bedarf des Bodens an Oxidantien, Oxidierbarkeit ...) oder Reduktion (Charakterisierung der Matrices, $T_{1/2}$...) – 1 bis 2 Mte
- Versuch einer physikalisch-chemischen Behandlung (Flockung, Koagulation, Phasentrennung ...) – 1 bis 2 Mte
- Versuch zur Stabilisierung / Alterung – 1 bis 6 Mte
- Versuch zur Wasserbehandlung (Aktivkohle, Harz, Photooxidation ...) – 1 bis 2 Mte
- Versuch zur granulometrischen Sortierung / Auswaschung – 1 bis 2 Mte
- Verdampfungsversuch – 1 bis 2 Mte
- Verfahrenstest

Zu beachten ist die Repräsentativität der Probenahme!

SUEZ Remediation – Chloronet – Solothurn – November 2018



FELD- VERSUCHE SUEZ

Beispiele für SUEZ-Feldversuche:

- Charakterisierung des Untergrunds: Wasser- und Luftdurchlässigkeit, Einsatz von Tracern ...

→ Unerlässlich für viele In-situ-Behandlungen

- Umsetzungsversuch:

- Extraktion/Lufteinblasung → Verifikation von Durchflussrate/Druck
- Einflussbereich: Migration, Unterdruck, Tracer ...
- Behandlungsversuch: Beurteilung der Restgehalte, Rebound-Effekte, Umsetzung ...

Die Feldversuche sind an jede Problematik anzupassen und müssen so realisiert werden, dass möglichst viele Daten gewonnen werden, um Blockierungen auf den Baustellen vorwegzunehmen.

SUEZ Remediation – Chloronet – Solothurn – November 2018



Schluss- folgerungen

SUEZ Remediation – Chloronet – Solothurn – November 2018



SCHLUSS- FOLGERUNGEN

Mit Unsicherheiten behaftete Behandlungen → Es sind mehrere Instrumente einzusetzen, um die Auswirkungen der Baustellen zu begrenzen:

- Vollständige vorherige Charakterisierung:
 - Gute Arbeit bedingt eine gute Vorstudie!
 - Eine gute Studie kann mehrere Kampagnen voraussetzen
- Labor- und Feldversuche:
 - Zusätzlich, um im Vorfeld die a priori aussagekräftigen Techniken zu evaluieren
 - Für gewisse Problematiken unabdingbar

SUEZ Remediation – ChloroNet – Söldthurn – November 2018



SCHLUSS- FOLGERUNGEN

- Vorsicht/Pragmatismus:
 - Es ist niemals möglich, über eine unterirdische Problematik vollständig und gesichert Bescheid zu wissen: Es sind auch während der Behandlung regelmässige Standortbestimmungen und erneute Beurteilungen vorzusehen.
- Kapitalisierung/Erfahrung:
 - Behandlungen von CKW bergen häufig Überraschungen: Die Kapitalisierung von ERFA erlaubt es, böse Überraschungen im Laufe der Zeit einzudämmen.

SUEZ Remediation – ChloroNet – Söldthurn – November 2018



SCHLUSS- FOLGERUNGEN

Vorgestellte Behandlungen:

- On-Site-Behandlung des Bodens: erzwungene Verdampfung:
 - Bemerkenswerte Wirksamkeit für viele Projekte
 - Achtung bei organischem Material und/oder niedrigen Grenzwerten
 - Laborversuch erlaubt es, die Grenzwerte vorwegzunehmen
 - Feldversuch erlaubt eine grossräumigere Überprüfung und die Bestätigung der Umsetzung mit den «Baustellen»-Instrumenten
- In-situ-Behandlung des Grundwassers: Anaerobe biologische Behandlungen:
 - Bemerkenswerte Wirksamkeit (> 80 % Rückgang)
 - Dauer: durchschnittlich 3 bis 4 Jahre
 - Laborversuch: Machbarkeit einer Behandlung validieren
 - Feldversuch: Verteilung und Remanenz der Reagenzien besser erfassen

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018



FÜR WEITERE INFORMATIONEN



mathieu.charrier@suez.com



+33 6 84 82 81 05

www.suezremediation.fr

SUEZ Remediation – ChloroNet – Solothurn – November 2018

