

# ISCO

## In-situ chemische Oxidation

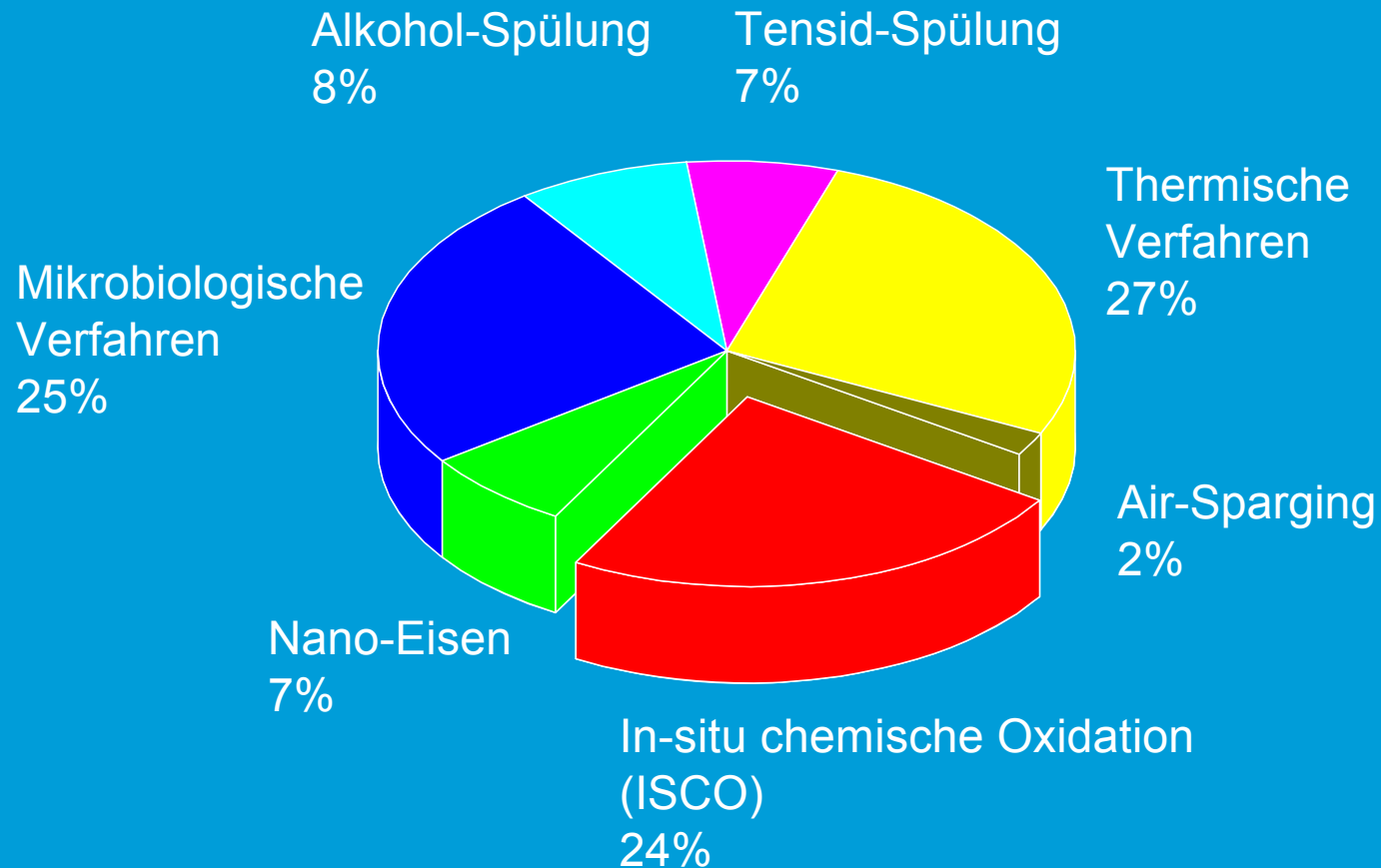
Einsatzmöglichkeiten und Grenzen



**Tauw**

Tauw GmbH, Niederlassung Berlin, Dr.-Ing. Patrick Jacobs

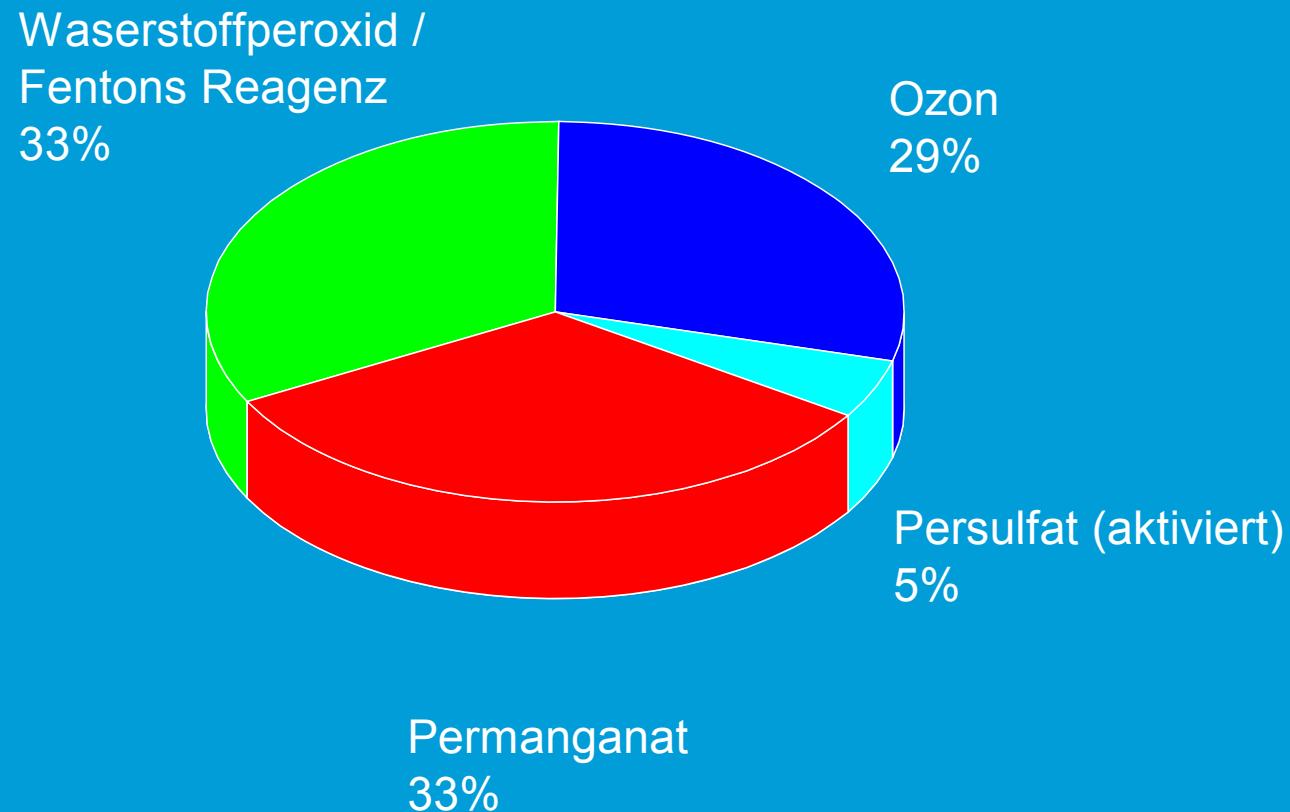
# Dokumentierte in-situ Verfahren



**Tauw**

Daten: DSC (2008): Auswertung internationaler Fachliteratur zu in-situ Anwendungen in der gesättigten Zone bei der Altlastenbearbeitung.

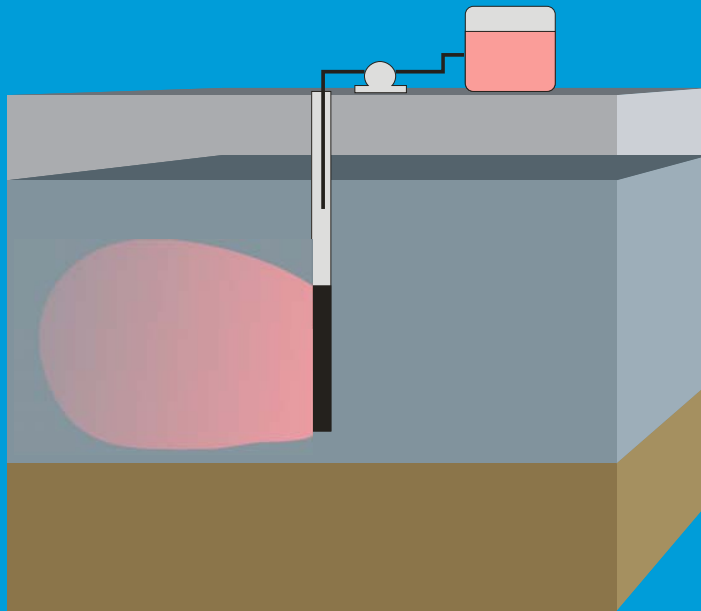
# Dokumentierte ISCO Verfahren



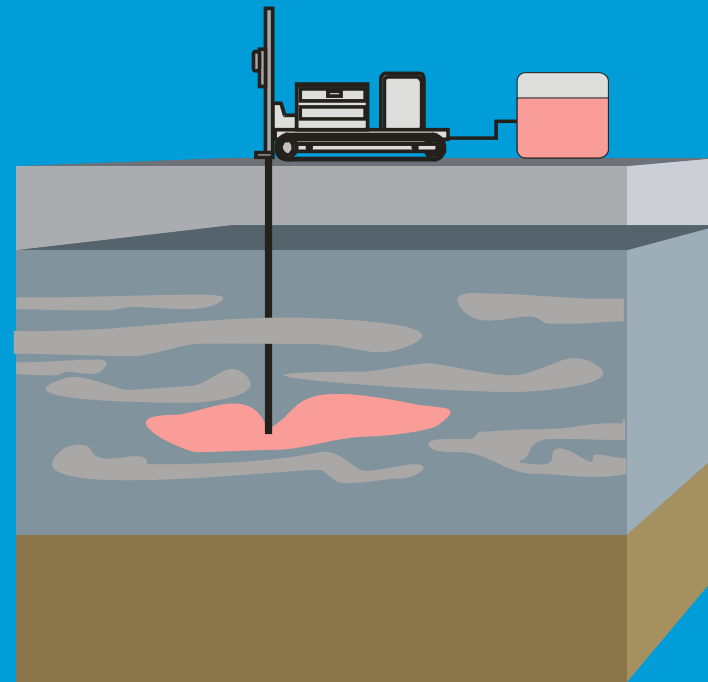
**Tauw**

Daten: DSC (2008): Auswertung internationaler Fachliteratur zu in-situ Anwendungen in der gesättigten Zone bei der Altlastenbearbeitung.

# Technische Verfahren zur in-situ chemischen Oxidation mit Permanganat



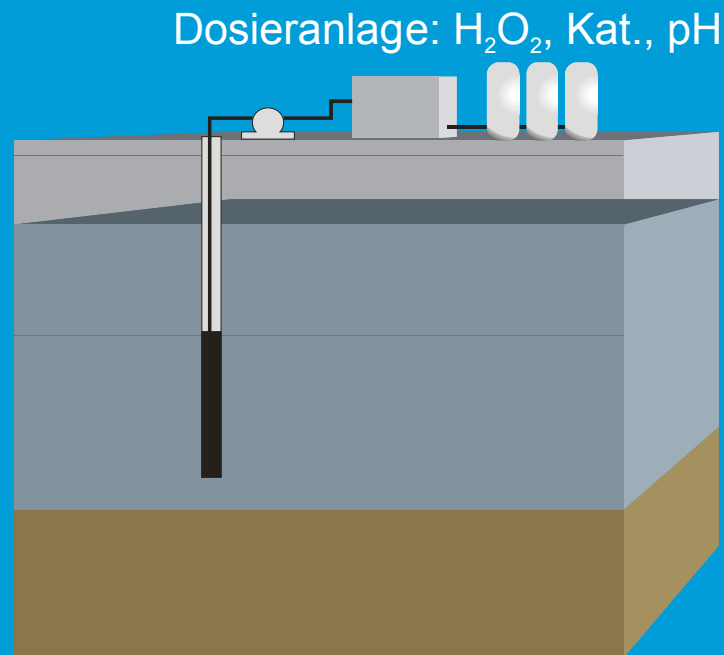
- Große Persistenz des Oxidationsmittels.
- Freier Zulauf in homogenen gut durchlässigen Matrices.



- Direct-Push Injektion in heterogenen Matrices (ggf. nach DP-Erkundung, z.B. MIP-Log oder Injection-Log).
- Langsamer diffusiver Transport in sekundäre Porenräume.



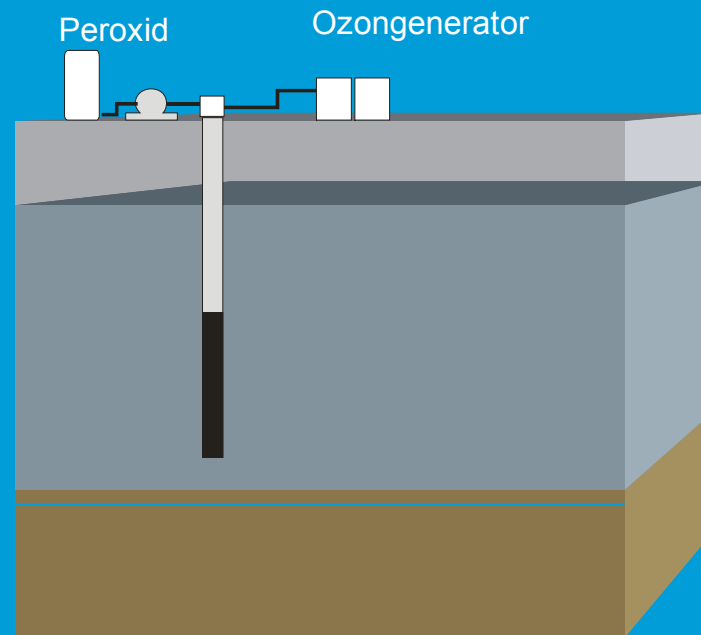
# Technische Verfahren zur in-situ chemischen Oxidation mit Fentons Reagenz



- Geringe Lebensdauer des Oxidationsmittels im Grundwasserleiter.
- Erhöhte Anforderung an Anlagentechnik und Steuerung.
- Sicherheit und Arbeitsschutz.



# Technische Verfahren zur in-situ chemischen Oxidation mit Ozon



Beispiel *Perozone*®: Sparging des gasförmigen Ozons  
zusammen mit  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Lösung über gemeinsamen *Sparge-Point*®



Tauw

# Anwendungsbereiche der Verfahren

	Fentons Reagenz	Ozon	(K,Na)- Perman- ganat	Persulfat	Persulfat aktiviert
Halogenalkane	✓				✓
Halogenalkene	✓	✓	✓	✓	✓
Benzen	✓	✓			✓
Toluen, Xylen, Ethylb.	✓	✓	✓	✓	✓
MKW (kurzkettig)	✓			✓	✓
MKW (langkettig)					
PAK (niedermolekular)	✓	✓			✓
PAK (höhermolekular)					
PCB					



# Grenzen der ISCO Verfahren

- Generell vielseitiges Anwendungspotenzial für Altlastenstandorte und zahlreiche altlastentypische Kontaminationen, aber:
  - In aller Regel nicht wirtschaftlich für Fahnensanierung, da Oxidationsmittelbedarf der Matrix sehr hoch
  - In aller Regel nicht wirtschaftlich bzw. technisch nicht sinnvoll zur Sanierung freier Produktphase
  - Geringere Wirkung in gering durchlässigen und/oder heterogenen Matrices
  - Risiko der Freisetzung von Schadstoffen als Nebenprodukte oder durch Mobilisierung





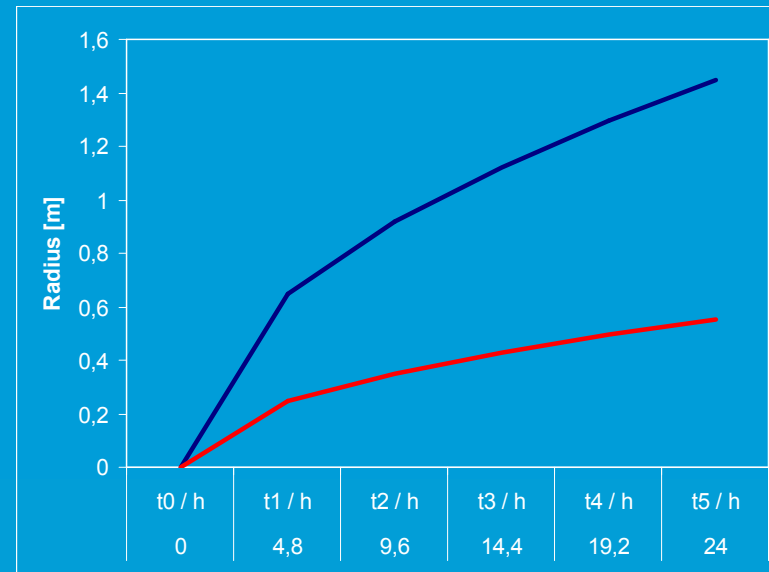
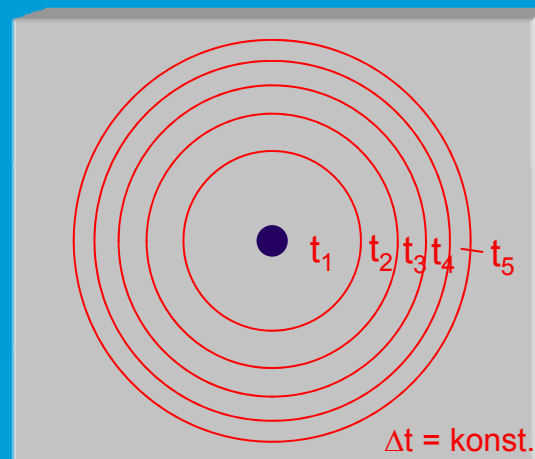
# (1) Inhomogenität der Matrix

- Auch scheinbar homogene Systeme zeigen bei der Infiltration oft ein inhomogenes Transportverhalten.
  - Detaillierte Erkundung der lithostratigraphischen Bedingungen im Vorfeld der Planung
  - Ggf. Mehrfachfilter
  - Ggf. Direct-Push-Verfahren
  - Hohe Anzahl Infiltrationszyklen zur Bekämpfung des Rebound-Effekts



## (2) Geringe Durchlässigkeit

- Geringe hydraulische Durchlässigkeit beeinträchtigt technische Durchführbarkeit.
  - Maximaler Infiltrationsdruck bzgl. geotechnischer Sicherheit und „Surfacing“ (Beispiel 100 kPa).
  - Reichweite bei gegebener Lebensdauer im Grundwasserleiter nimmt ab, Beispiel wenn  $k_f : 1E-05 \rightarrow 1E-06$ .
  - Daher Oxidationsmittel hoher Beständigkeit erforderlich (Permanganat, Persulfat).

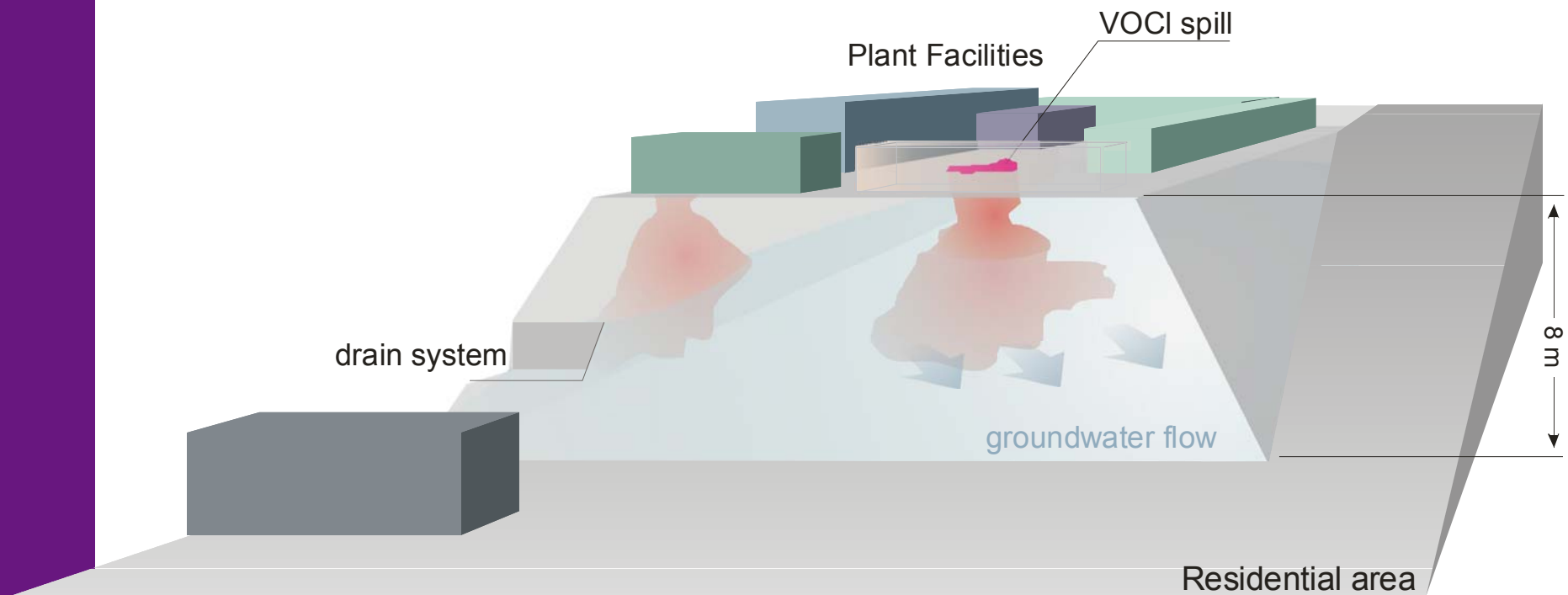


### (3) Geringe nutzbare Porosität

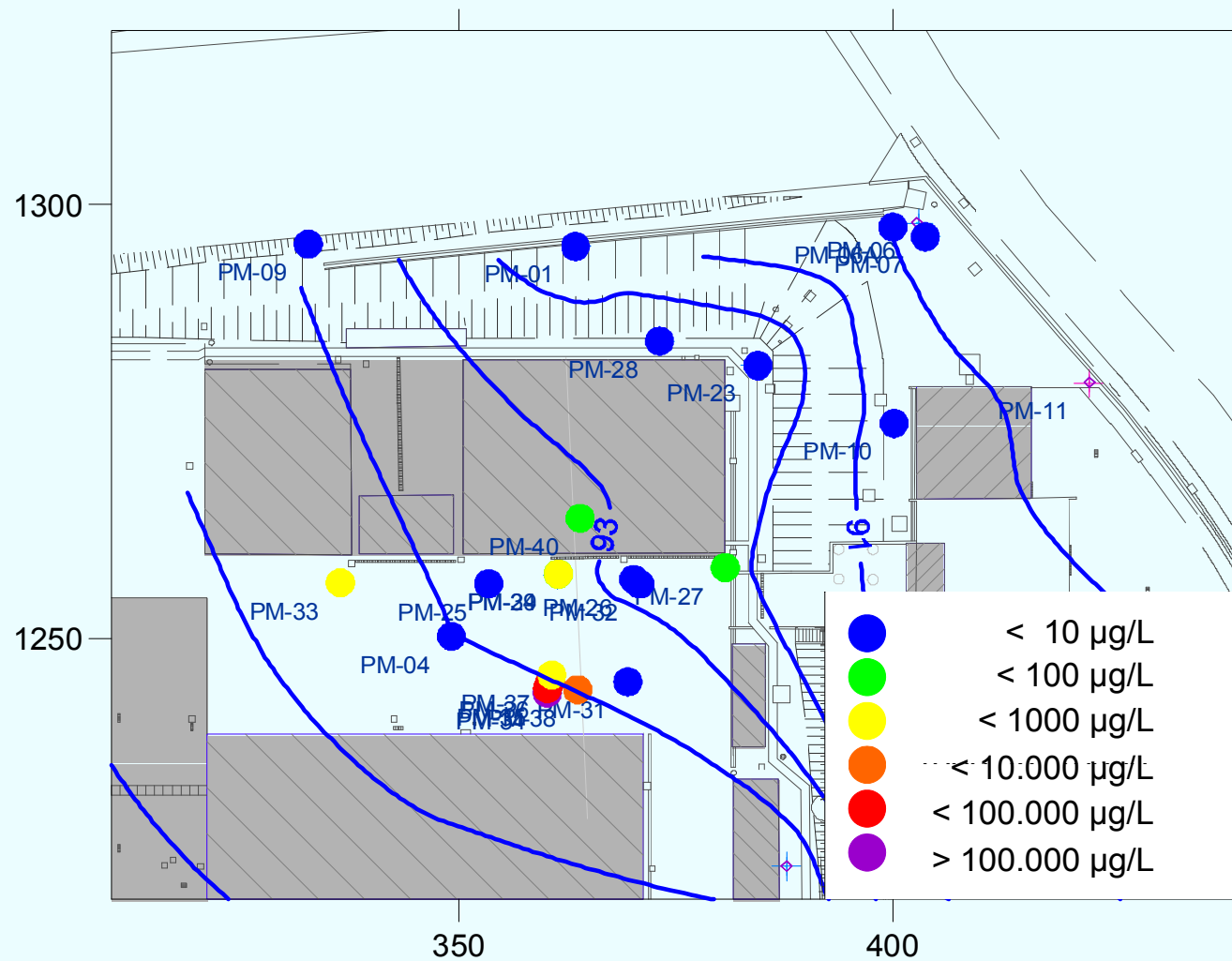
- Geringes effektives Porenvolumen beeinträchtigt die Dosierung des langzeitbeständigen Oxidationsmittels im Zielbereich.
  - Bei einem Matrix-Bedarf  $SOD = 25 \text{ g/kg MnO}_4$  und  $n_e = 0,1$  muss mit einer 4%igen Lösung rechnerisch 10-mal das Porenvolumen angefüllt werden.
  - Hohe bis sehr hohe Konzentrationen erforderlich!



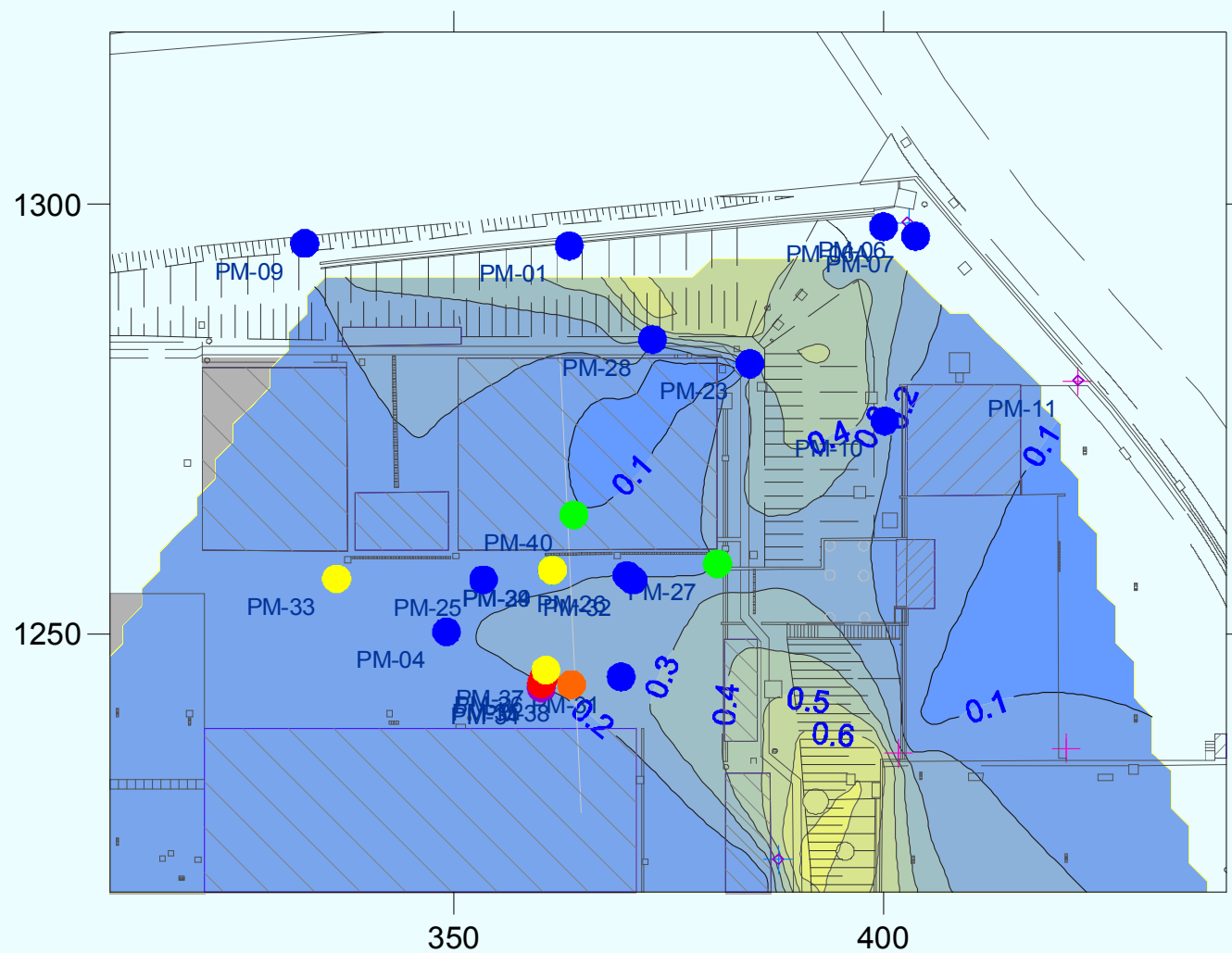
# Fallbeispiel – Industriestandort Südamerika



# Belastungssituation PCE



# Grundwasserströmung (m/a)



Tauw

# Rahmenbedingungen

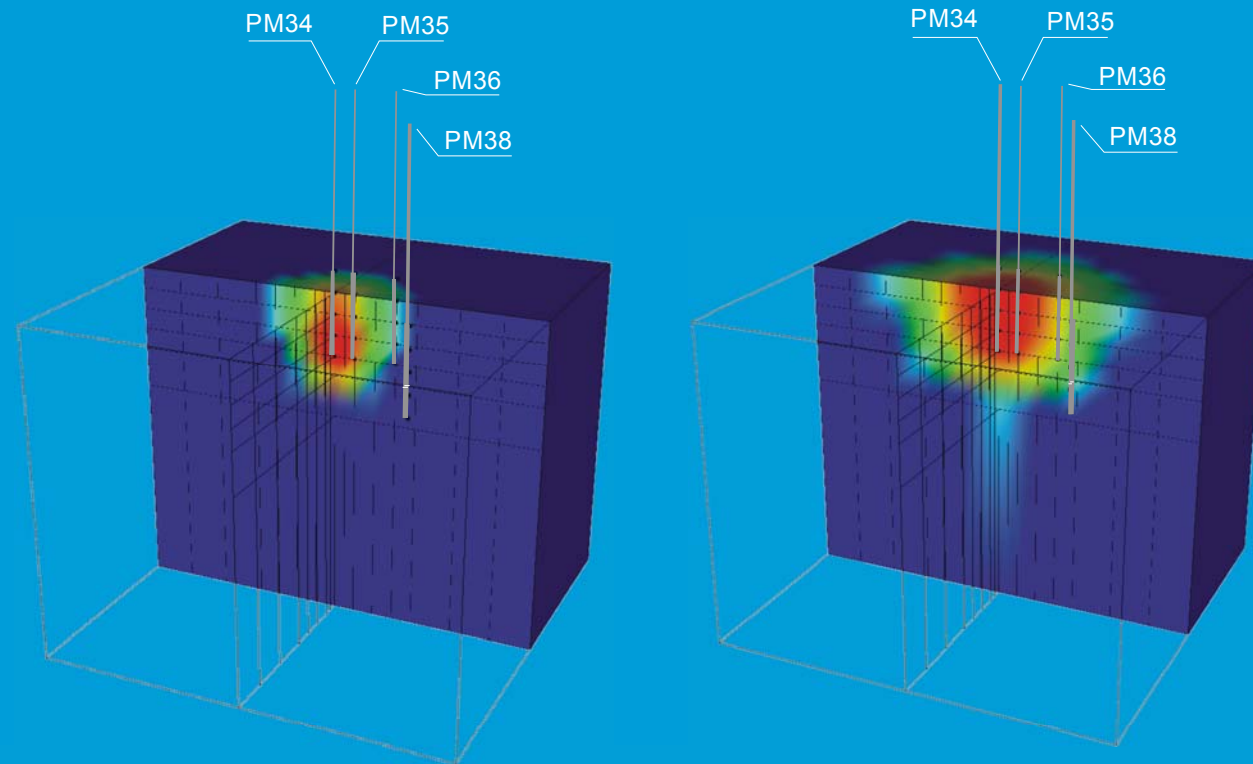
- Kleinräumiger Schadenskernbereich
  - $A = 70 \text{ m}^2$
  - $h = 3 - 8 \text{ m uGOK}$
- Untergrund = tief verwitterter Gneis mit geringer, heterogen verteilter Durchlässigkeit
  - $k_f \leq 5 \text{ E-06 m s}^{-1}$
  - $n_e \approx 0,1$
- In-situ Lösung gefordert!



# Dimensionierung Permanganat-Infiltration

Numerische Simulation (PHAST) der Permanganat-Injektion basierend auf Daten aus Labor- und Pilotversuchen.

→ Permanganat-Konzentration von  $\geq 15\%$  erforderlich.



a) oxidant demand simulated according to laboratory result (50 g / kg soil d.m.)

b) oxidant demand simulated as 20 % of laboratory result (10 g / kg soil d.m.)



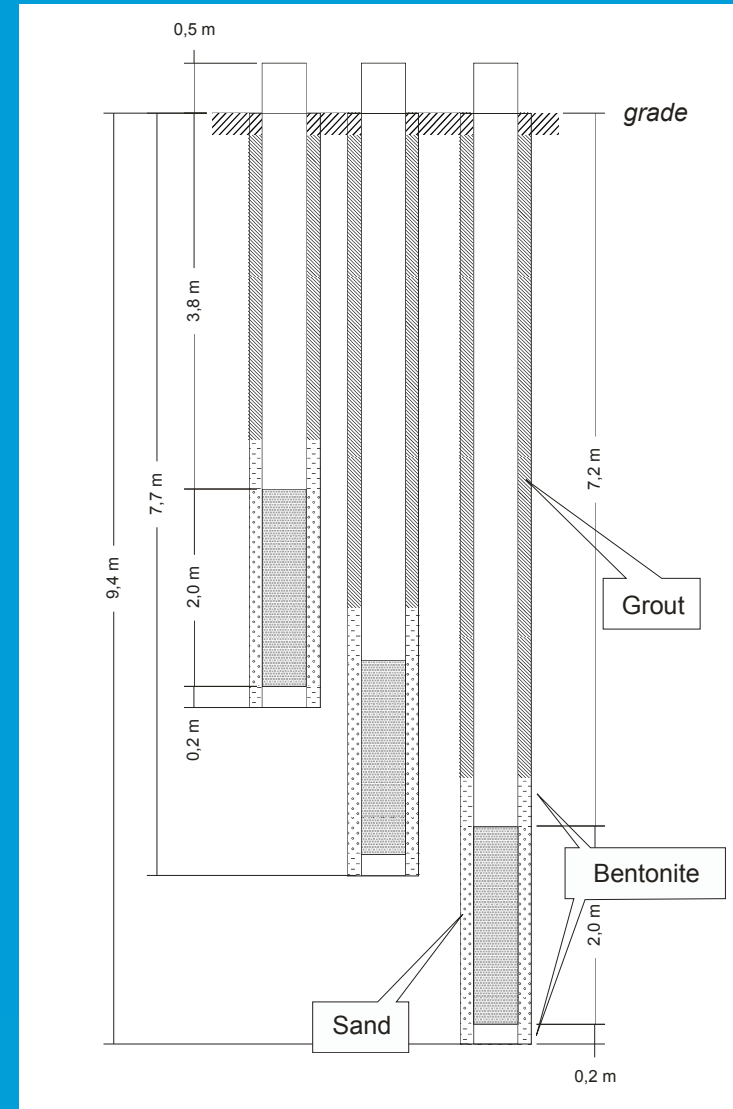
**Tauw**



# ISCO mit Natrium-Permanganat

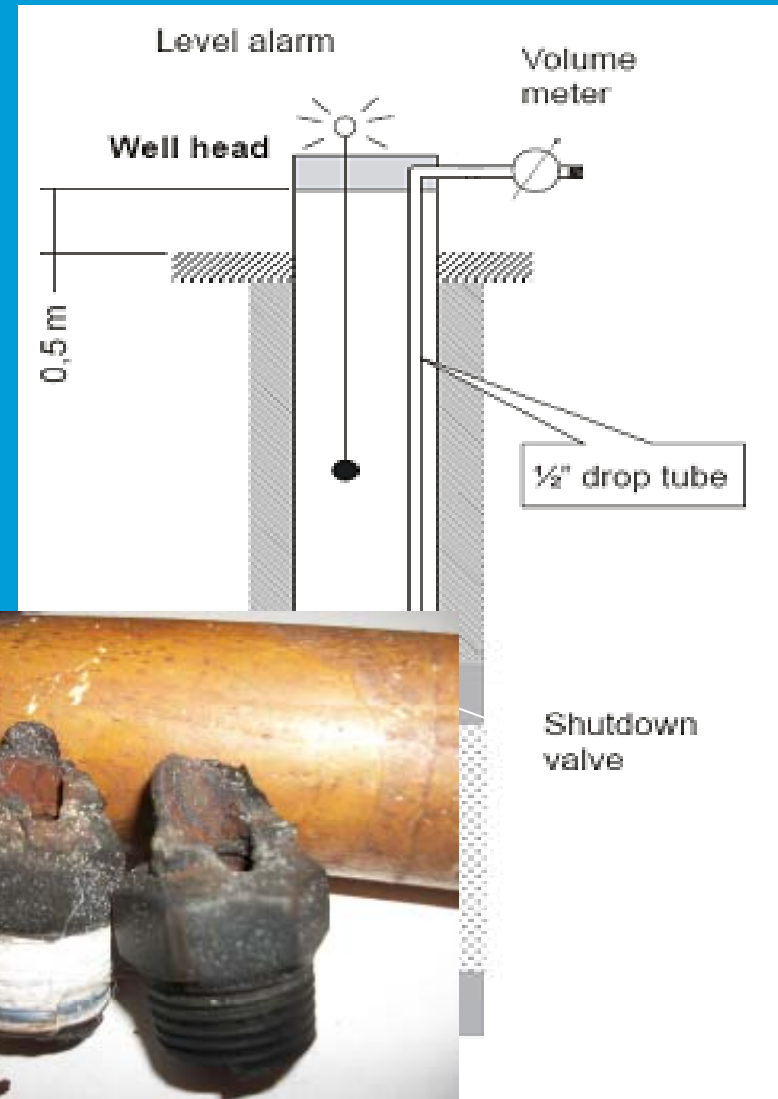


- 12 Pegelnester mit je 3 Filtern
- Infiltrationsdruck 3 m Wassersäule
- Infiltrationsrate 50 L/h je Filter
- 10 Infiltrationskampagnen je 1 Woche über ca. 1 Jahr



Tauw

# ISCO mit Natrium-Permanganat



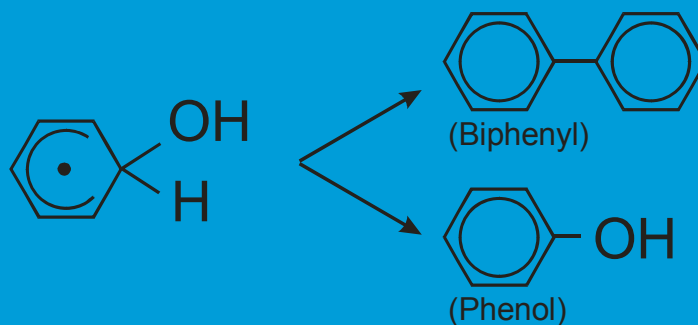
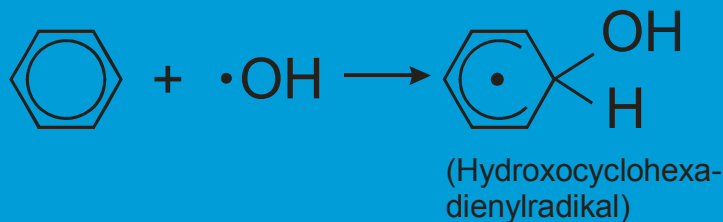
Tauw

# Freisetzung / Mobilisierung unerwünschter Stoffe

- Entstehung unerwünschter organischer Nebenprodukte
- DOC-Konzentrationsanstieg durch unvollständige Zerstörung organischer Verbindungen in Grundwasser und Matrix
  - Lösungsvermittlung?
  - Toxizität?
- Freisetzung von Metallen aus der GWL-Matrix



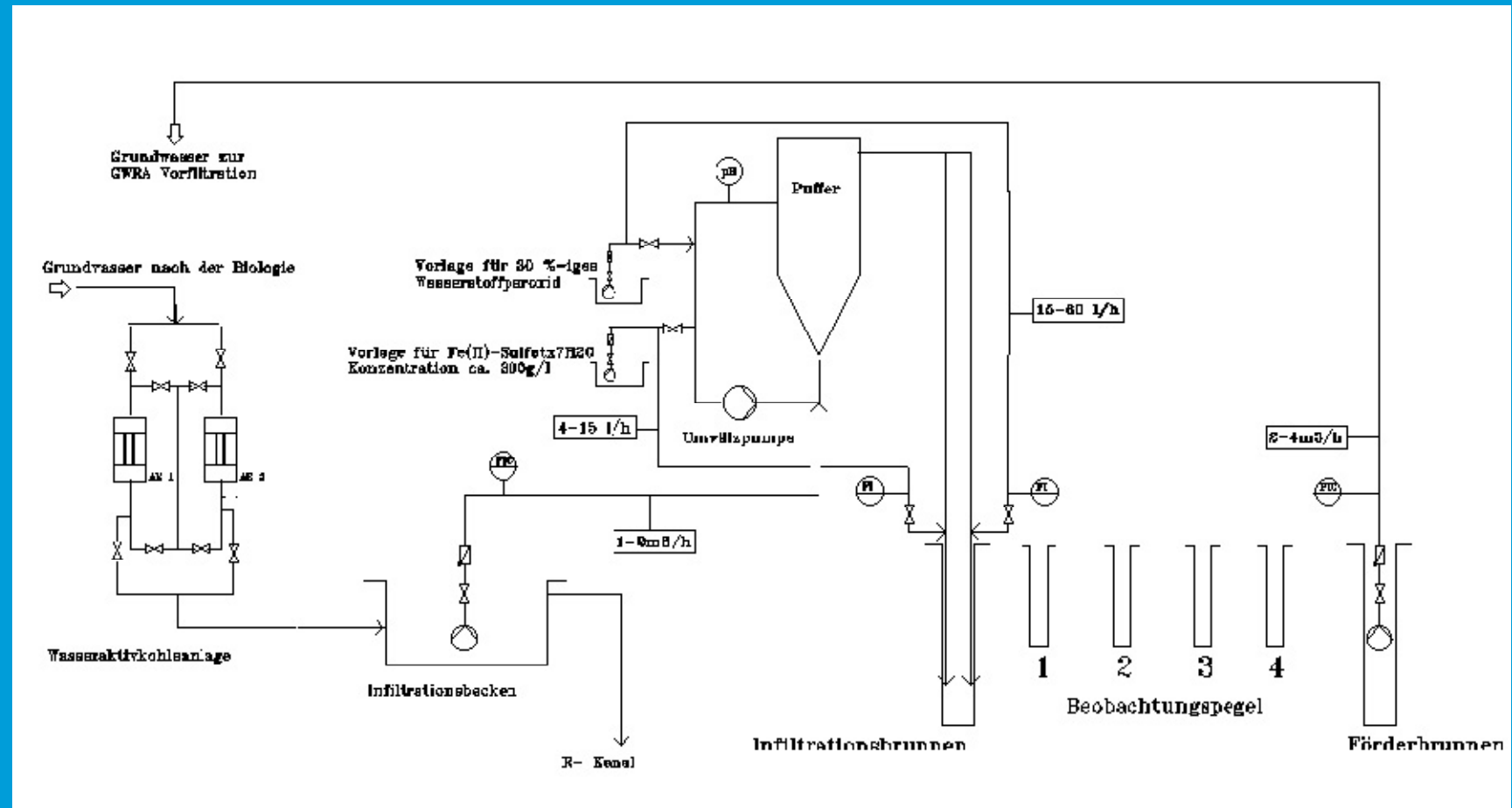
# Hydroxylierung von aromatischen Verbindungen durch Hydroxylradikale



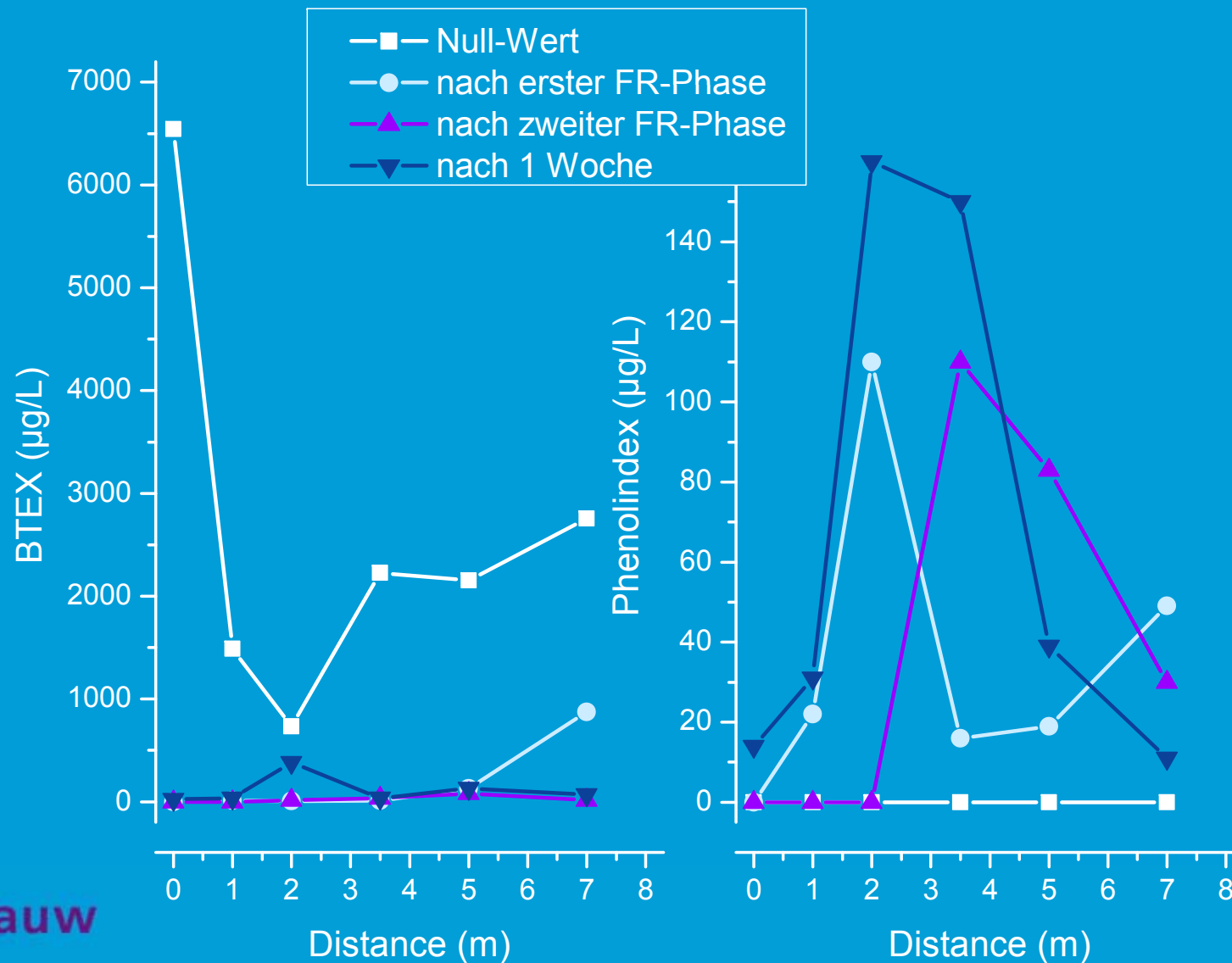
- Hydroxylierung von Aromaten und Chloraromaten ggf. relevant bei Verwendung von Fentons Reagenz oder aktiviertem Persulfat.
- Erhöhte Mobilität der Nebenprodukte.
- Relativ komplexe Prozesse unter Beteiligung von Hydroxyl-Radikalen.
- Kaum kontrollierbares System im Grundwasserleiter.
- Anteil entstehender Nebenprodukte in der Regel schwer vorhersagbar.
- Anreicherung möglich, wenn Oxidation unvollständig.



# Beispiel Hydroxylierung von Benzen durch Fentons Reagenz



# Beispiel Hydroxylierung von Benzen durch Fentons Reagenz



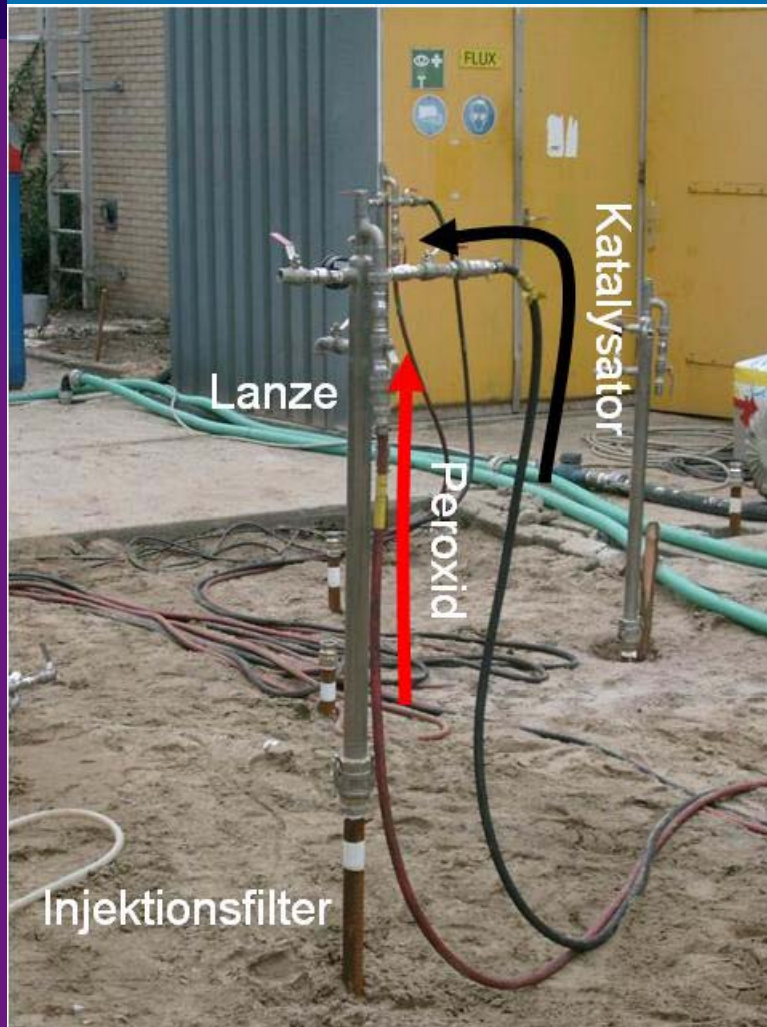
# Anstieg DOC-Konzentration und Lösungsvermittlung

- Injektion Fentons Reagenz / Permanganat
  - Anstieg DOC-Konzentrationen um 1 bis 2 Größenordnungen im unmittelbaren Umfeld der Injektionspunkte
  - Teilweise Konzentrationsanstieg (a) Schwermetalle bzw. (2) organischen Schadstoffen (z.B. DCE im Umfeld eines PCE-Schadens).
- Zumindest die Freisetzung organischer Schadstoffe ist mit großer Wahrscheinlichkeit auf lösungsvermittelnde Eigenschaften der DOC-Parameter zurückzuführen





# Fallbeispiel Niederlande

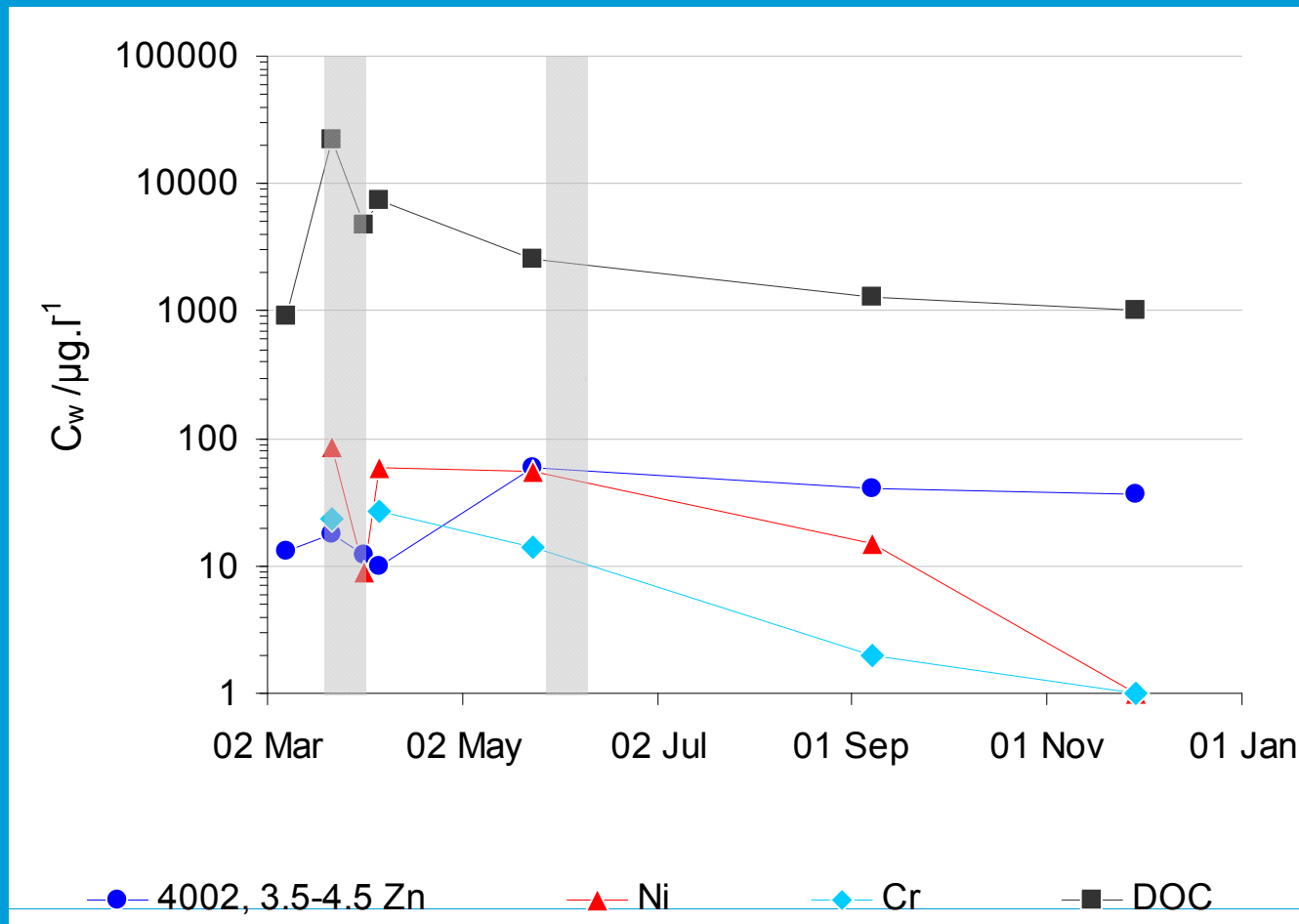


- ISCO Pilot-Projekt, Niederlande
- 2 Injektionen Fentons Reagenz
- Vorübergehender starker DOC-Anstieg und Mobilisierung von Schwermetallen
- Überlagerung mit pH-Effekt





# Fallbeispiel Niederlande



# Schlussfolgerungen

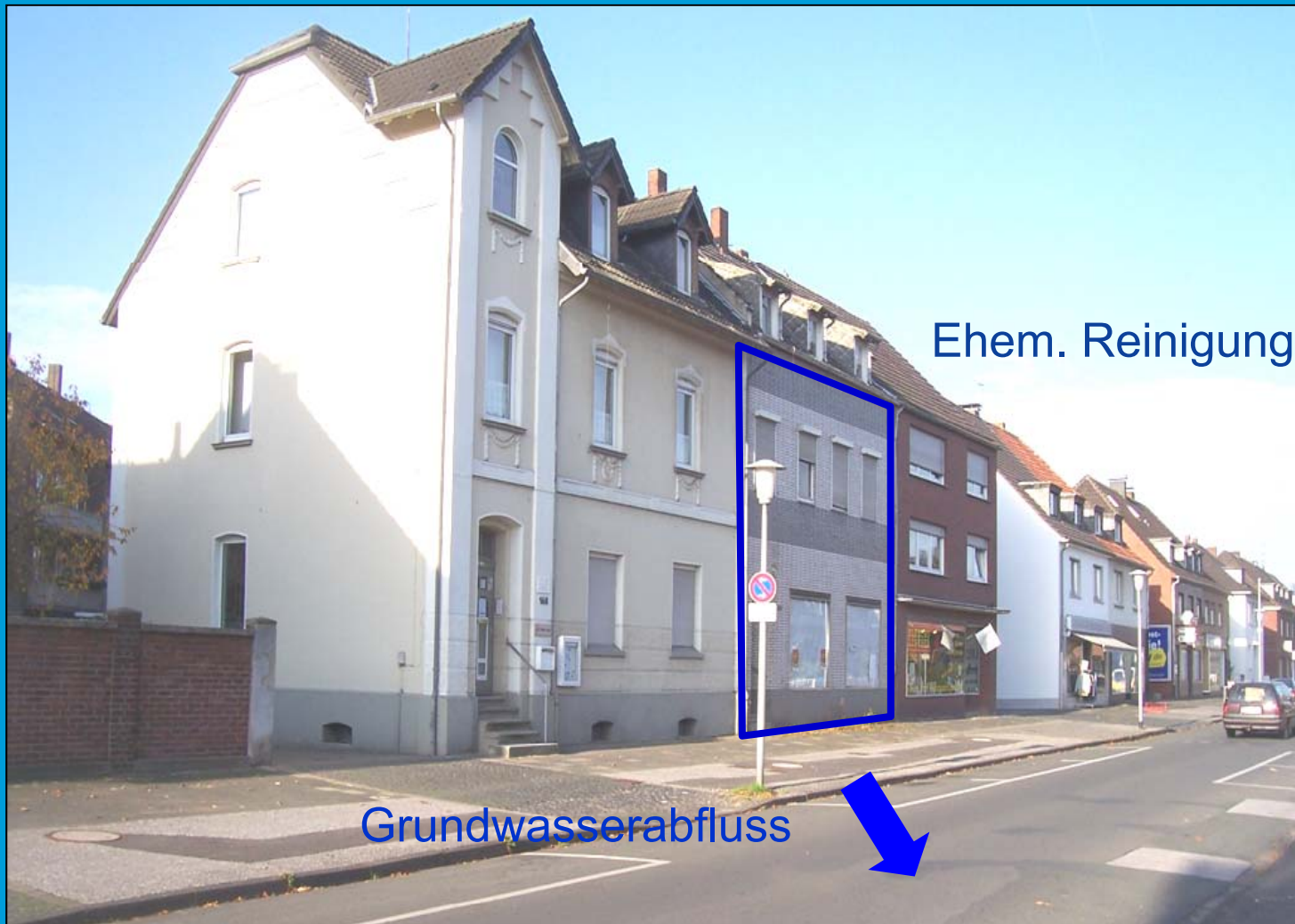
- ISCO = anerkannte in-situ Sanierungsoption mit relativ weitem Anwendungsbereich und –potenzial.

## **Hohe Ansprüche an Voruntersuchungen, Planung und Begleitung:**

- Exakte Untersuchung der geo-hydraulischen Rahmen-bedingungen unerlässlich.  
→ Anpassung an ungünstige geohydraulische Bedingungen ggf. über Art und Konzentration des Oxidationsmittels möglich.
- Chemische Prozesse infolge der Injektion komplex und kaum kontrollierbar.  
→ Detaillierte Bewertung von unerwünschten Prozessen und entsprechende Labor- / Pilotversuche unerlässlich.



# Fallbeispiel Kamp-Lintford, Deutschland



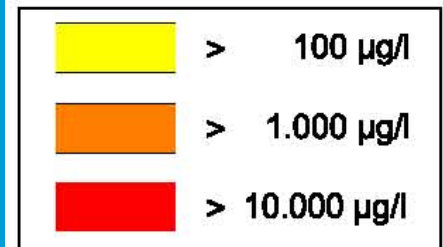
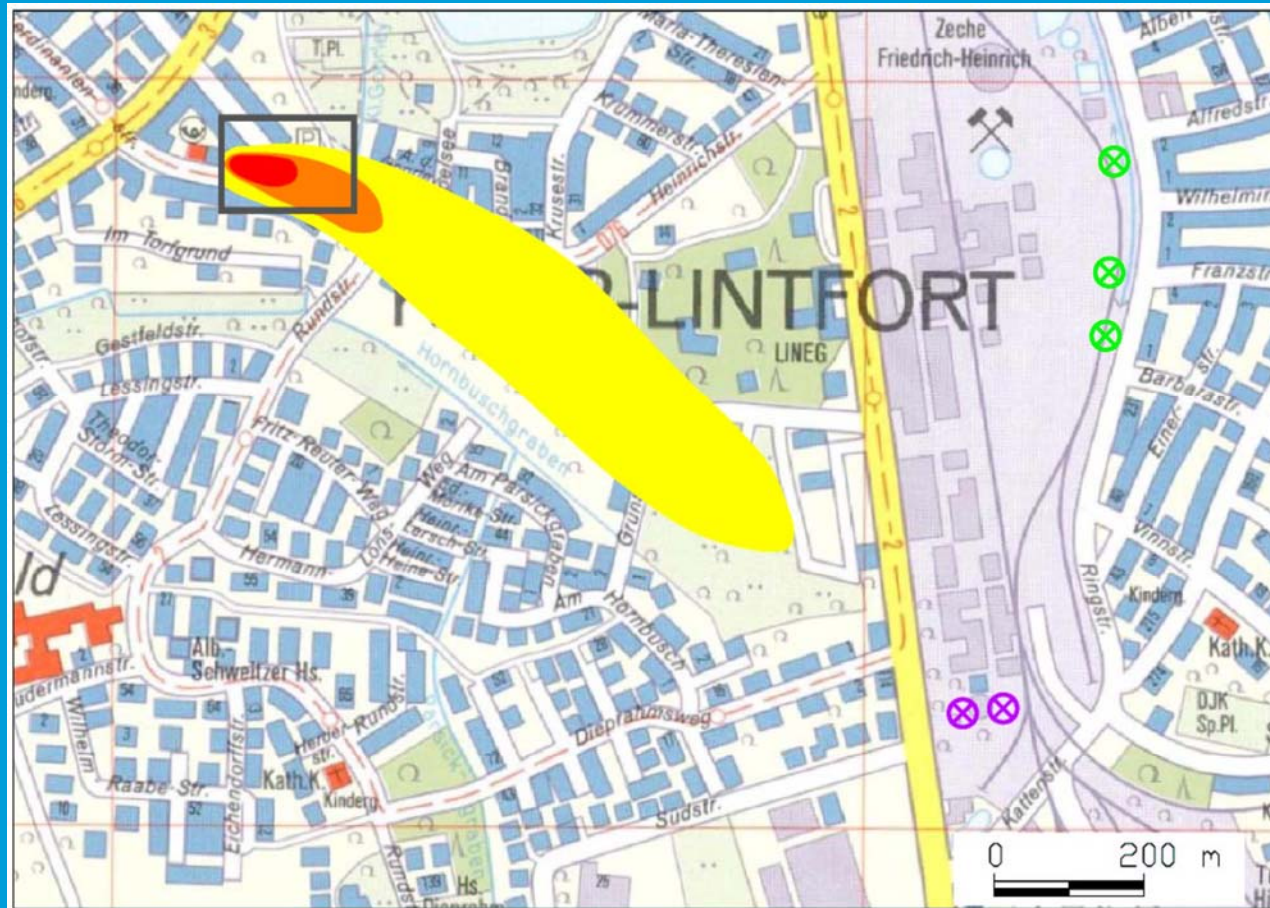
Tauw

# Eintragstelle, Hinterhof

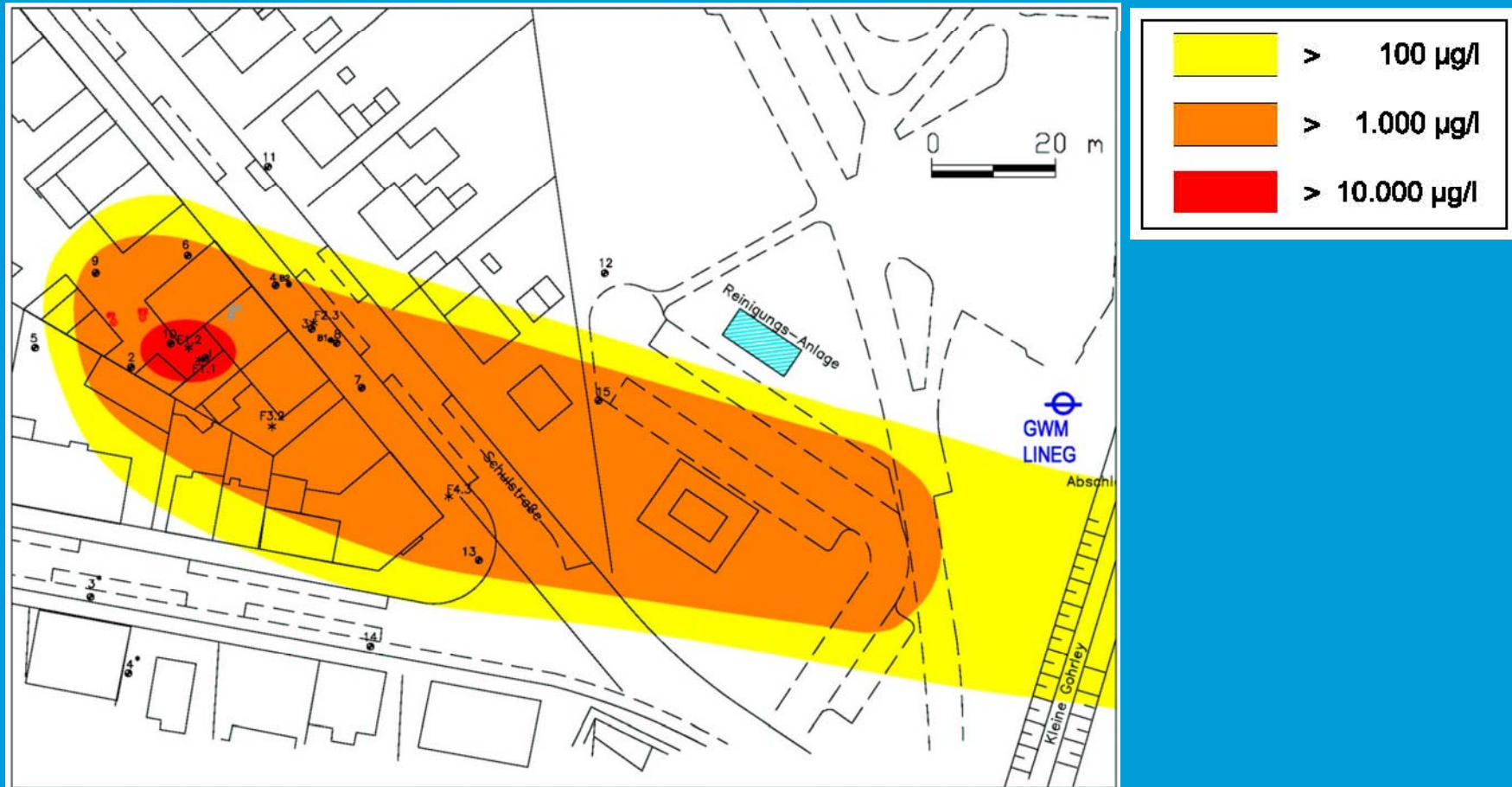




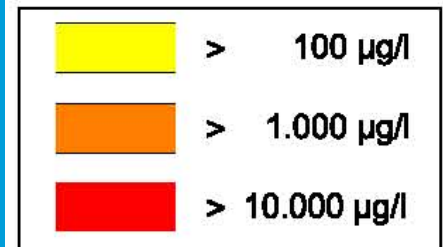
# Darstellung LCKW-Fahne 1990 (1. Untersuchungen)



# Darstellung LCKW-Fahne 1997 (Start p & t)

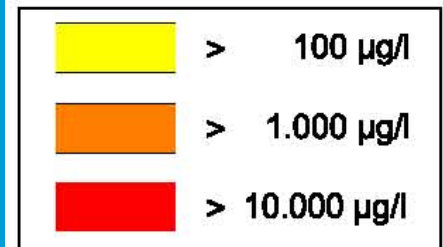
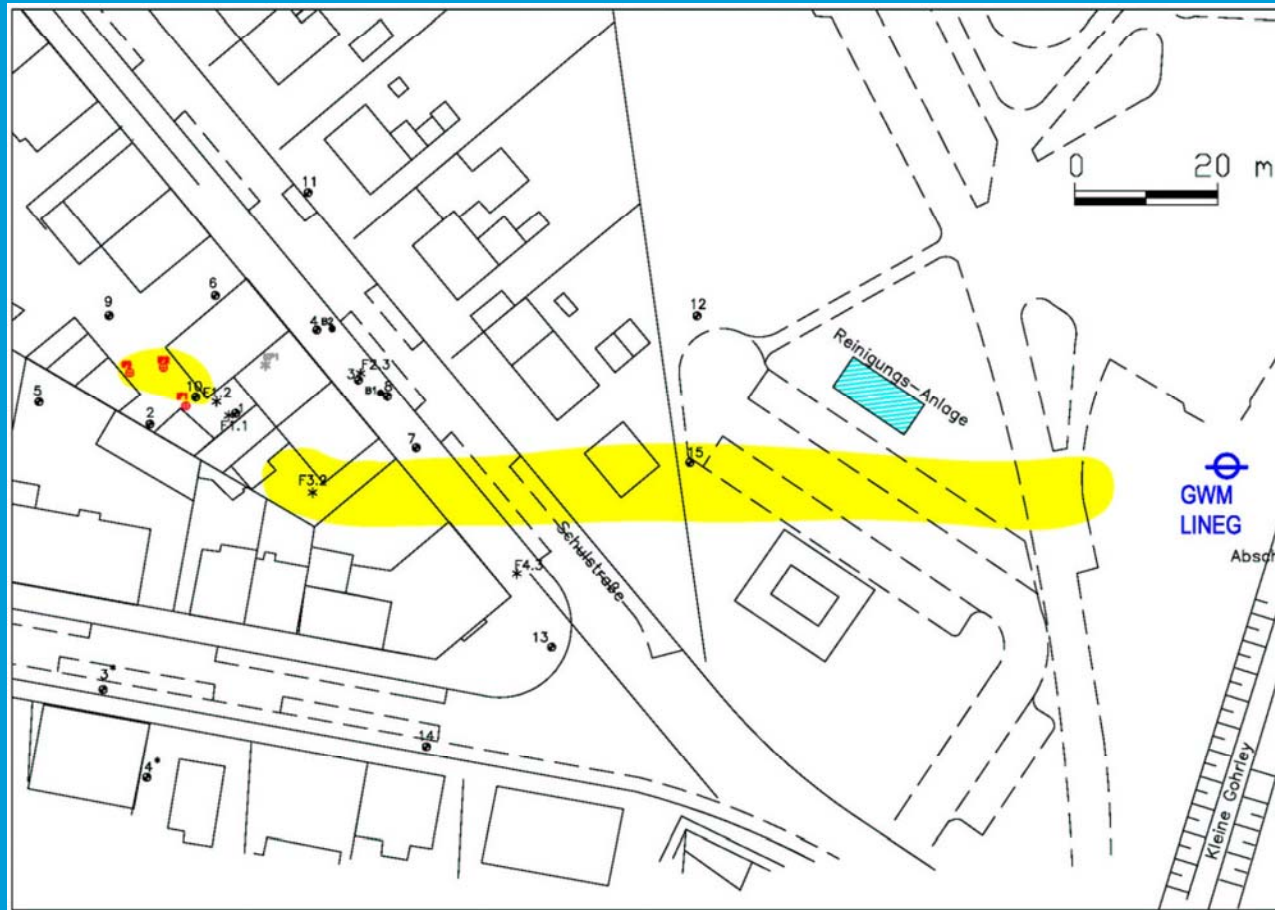


# Darstellung LCKW-Fahne 2004 (Ende p & t)





# Darstellung LCKW-Fahne 2007 (1 Jahr nach ISCO)





# Darstellung LCKW-Fahne 2010 (3,5 Jahre nach ISCO)

