

# Injektionsmethoden und Erfahrungen mit i-SAV®

Uwe Dannwolf,  
Anke Heckelsmüller

Umweltsanierung & Risiko Consulting

26. April 2018



# RiskCom - LEISTUNGSSPEKTRUM



## Risiko Consulting

- Analyse von Projektrisiken
- Risikobewertung
- Quantitative Analyse
- Zeitliche Risikoverfolgung
- Risikokommunikation



## In-situ Sanierung

- Sanierungsuntersuchung
- Entwicklung Sanierungskonzept
- Durchführung in-situ Sanierung: i-SAV, thermisch
- Sanierungsmanagement



# Injektionstechniken

⇒ Passive  
Injektion

⇒ Pneumatisches  
Verfahren

⇒ Druck-Puls  
Verfahren (PPT)

⇒ Re-Zirkulation

⇒ Hydraulisches  
Injektionsverfahren

⇒ Hochdruck-  
Verfahren





# Bewertungsmatrix

## Bewertungskriterium

1. Maßgebliche Beeinflussungsfaktoren

2. Kontaktherstellungseffizienz

3. Volumen- und Massenstrom der einbringbaren Sanierungsreagenzien

4. Nachweise

5. Risiken



# Direkte Injektion

## Parameter

Porendurchmesser, Durchlässigkeit ( $k_f$ )  $>10^{-5}$  m/s

Überwiegend durchlässige Bereiche

- Hochvolumen-geringkonzentriert
- Tonnen pro Monat

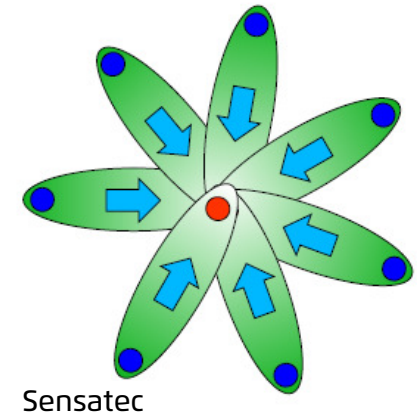
1. Indirekt über Wirkung durch Konzentrationen
2. Direkt über Konzentrationen in Messstellen

Verdünnung & Verlagerung. Überwiegend Beaufschlagung von bevorzugten Wegigkeiten





# Re-zirkulation



## Parameter

Porendurchmesser, Durchlässigkeit ( $k_f$ )  $> 10^{-5}$  m/s

Überwiegend durchlässige Bereiche

- Hochvolumen-geringkonzentriert
- Tonnen pro Monat

1. Indirekt über Wirkung durch Konzentrationen
2. Direkt über Konzentrationen in Messstellen

Verdünnung, vertikale Durchlässigkeit, ggfs. Ausfällungen



# Pneumatische Verfahren

© 2018 RiskCom GmbH

## Parameter

UZ mit Durchlässigkeit ( $K_a < 10^{-7}$  m/s), vorhandene Schichtung

Erzeugung von Rissen um die Eintragsbohrung durch ( $N_2$ -)Gasdruck.  
Verteilung von gelösten Sanierungsagenzien im 2 m – 4 m Radius.

- Hochvolumen-geringkonzentriert
- < 100 kg pro Monat

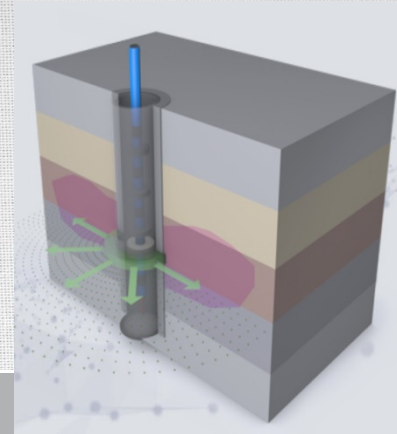
1. Indirekt über Wirkung durch Konzentrationen
2. Direkt über Konzentrationen in Messstellen

Risse werden nur durch Luftdruck offen gehalten. Ein Einbringen von Reagenzien ist daher schwer möglich. Bevorzugte Wegigkeiten.



# Hochdruck-Verfahren

## Düsenstrahl/Geoprobe/Geo-Bohrtechnik



### Parameter

Durchlässigkeitsverteilung ( $k_f$ ), bevorzugte Wegigkeiten

1 m – 7 m Radius je nach Durchlässigkeit

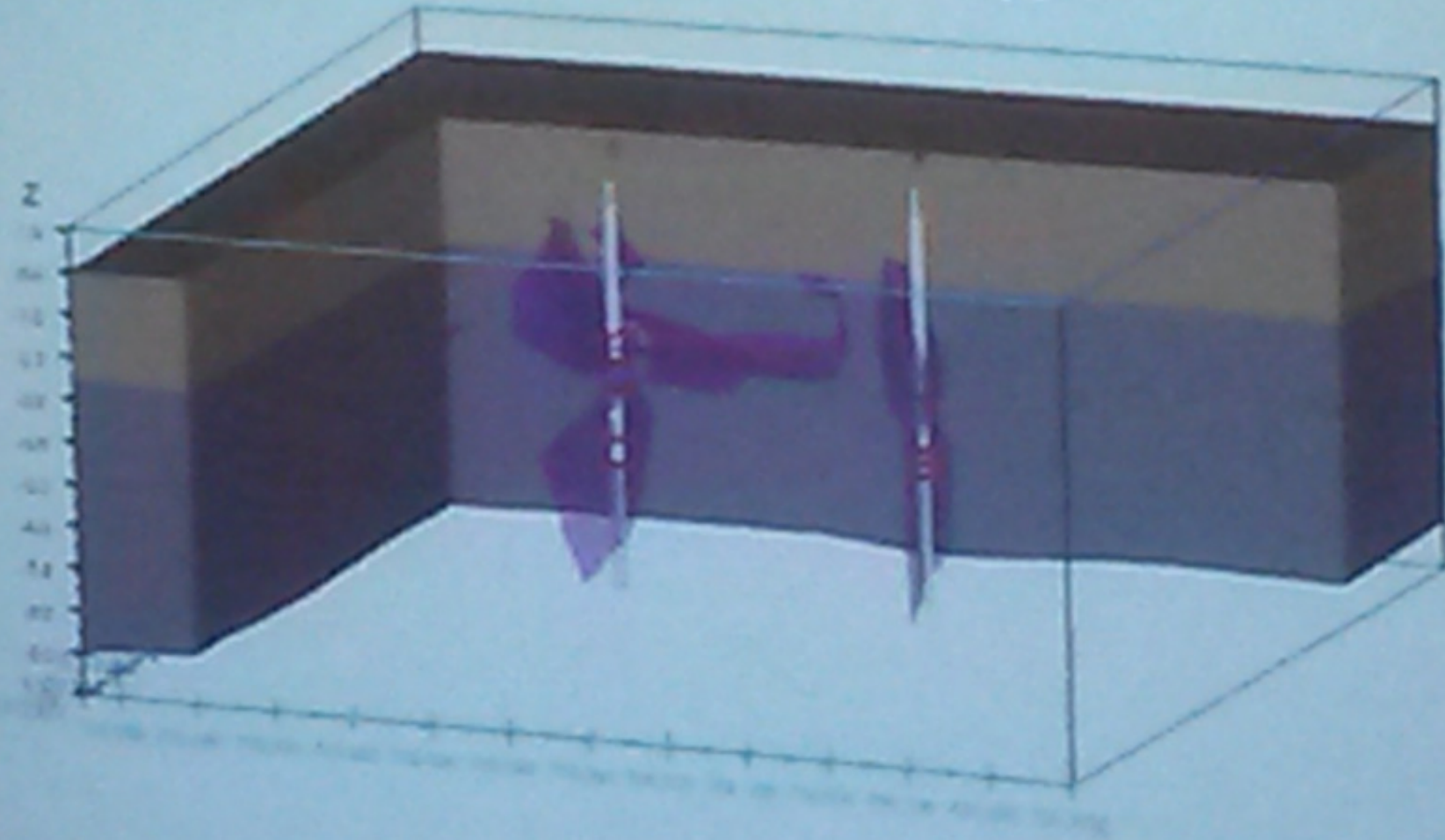
- Hochvolumen-geringkonzentriert (außer  $\text{NaMnO}_4$ )
- Tonnen pro Monat

1. Indirekt über Wirkung durch Konzentrationen
2. Direkt über Konzentrationen in Messstellen

Injektat Blowout, größere Tiefen schwierig, keine Kontinuität der Schichten  
Keine Kontrolle über Verteilung, nur bedingte Nachweisführung



## Initial DK Pilot Test- 3D Visualization of Primary Vertical Fractures



**JET INJECTION PILOT TEST**  
**Primary Fracture Extent**

Geosyntec<sup>®</sup>  
CONSULTANTS



# Hydraulische Stimulation

## Parameter

Erdruchdruck (sog.  $K_0$ -Wert), Schichtung, Kohäsion

i.d.R. 3 bis 25 bar

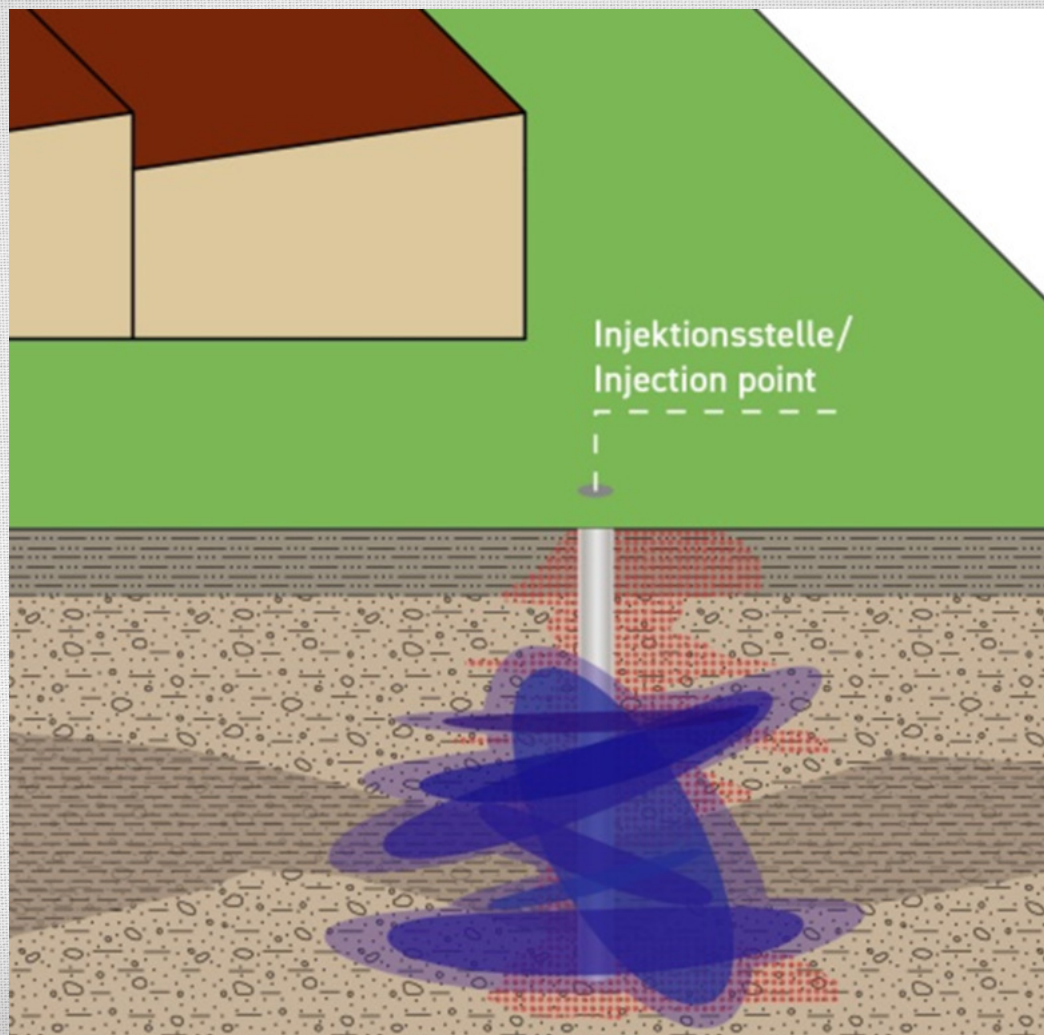
- Zielgerichtet, dezidiert berechnet
- Hochkonzentrierte Suspensionen
- Tonnen pro Tag
- Treatment Train

1. Reagenzienverteilung direkt über Bodenneigungsmetermessungen
2. Indirekt über Wirkung durch Konzentrationen
3. Direkt über Konzentrationen in Messstellen

i.d.R. > 4 m Tiefe, ggfs. vertikale Ausbildung der Schichten, GWMs



# VORSTELLUNG i-SAV<sup>®</sup> Verfahren

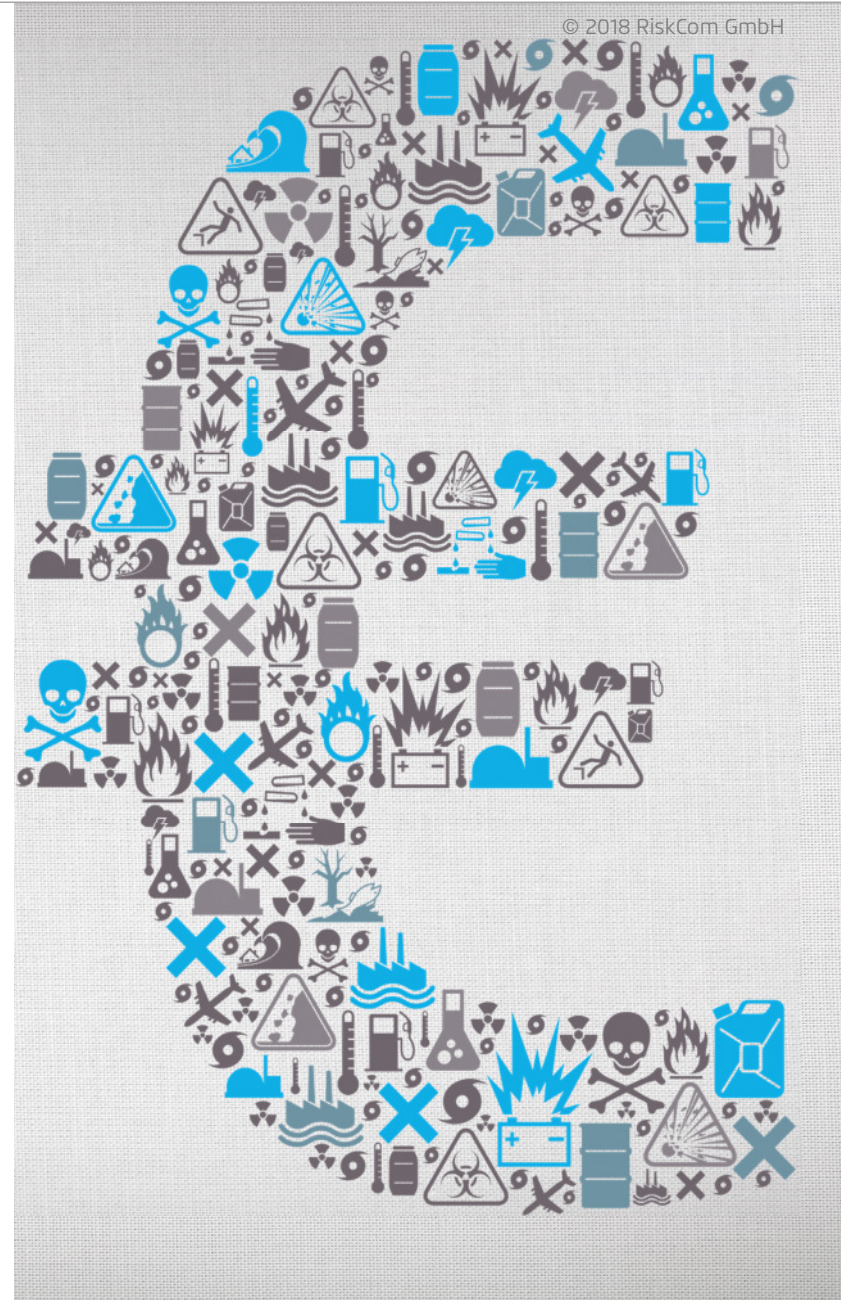


Ein Verfahren, bei dem eine Suspension mit Agenzien als dezidiert erzeugte dünne Schicht dauerhaft eingebracht wird.



# Warum i-SAV®?

1. i-SAV® ist für gering durchlässige Böden und Festgestein entwickelt worden.
2. i-SAV® ist effizient durch:
  - a) Eine hohe **Injektionsrate** für Sanierungszusätze
  - b) Einen großen **Wirkradius** mit nur wenigen Brunnen - zielgerichtet
  - c) Erhöhten **Kontakt** zwischen Schadstoffen und Zusätzen
3. i-SAV® ist kosteneffizient

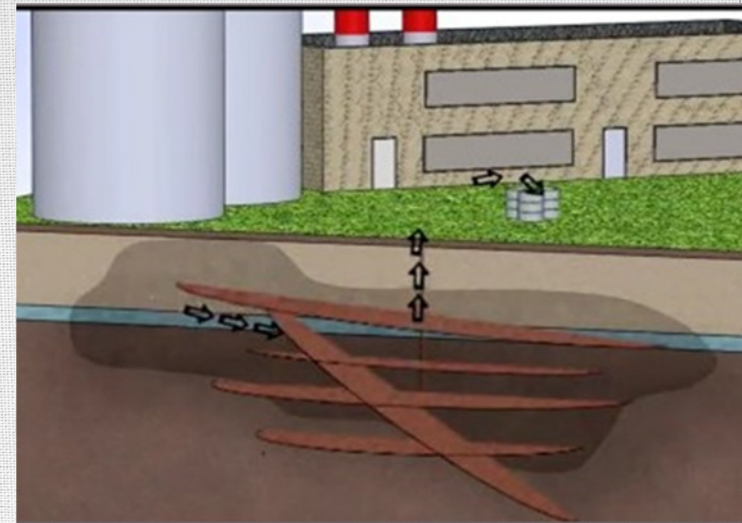






## i-SAV© Anwendungsbereiche

- bei nahezu allen Kontaminanten
- bei Schadstoffherdsanierungen
- bei Schadstofffahnenanierungen
- als alleinige Sanierungsmethode
- in Kombination mit anderen (in-situ) Sanierungsmethoden
- i-SAV steigert die Effizienz von laufenden Sanierungen oder Sicherungen wie z.B. Pump & Treat





# i-SAV<sup>®</sup> - Aufbau

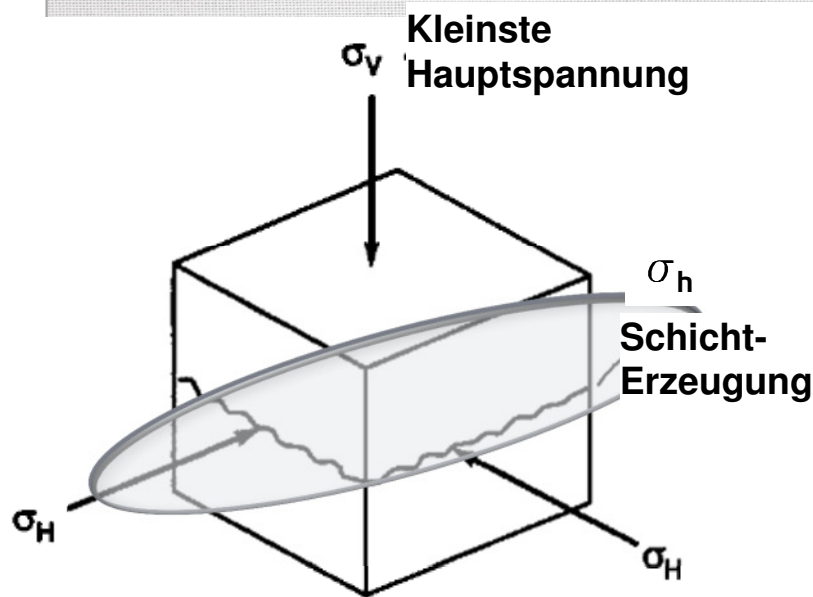
Mischeinheit für Sanierungsreagenz



Direct-Push Einheit zur Injektion



# Ausrichtung der Schichten nach Einbringung abhängig von:



1. **Erdruchedruck:** Verhältnis Horizontalspannungen  $s_h$  zu Vertikalspannungen  $s_v$   
abhängig von Wichte, Wasserstand (Porenwasserdrücke) und Tiefe
2. **Zugfestigkeit** des Bodens
3. **Überkonsolidierung**
4. Stratigraphische **Schichtung** / Schichtfugen (Makro, Mikro)

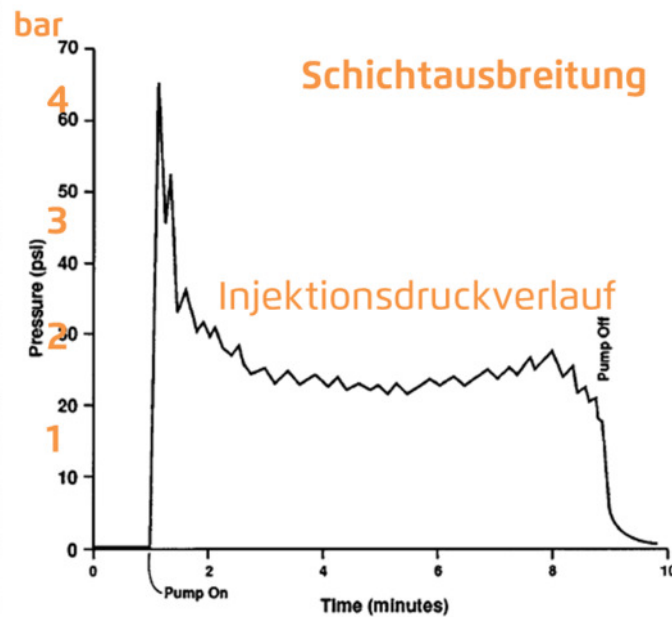






# Injektionsdruck

$$P = 3\sigma_{Hmin} - \sigma_{Hmax} + T_o - P_{Aquifer}$$



3-25

bar



# Substrat/Reagenzplatzierung

Erhöhte Viskosität ermöglicht  
den Transport der Reagenzien

Bei i-SAV© kommt  
Trinkwasser,  
lebensmittelreines  
*Dickungsmittel (Guar)*  
und  
*Sanierungsreagenz*  
zum Einsatz





# Schichtbildung – Linerbohrungen

© 2018 RiskCom GmbH

4,6 m Entfernung  
von Injektionsstelle



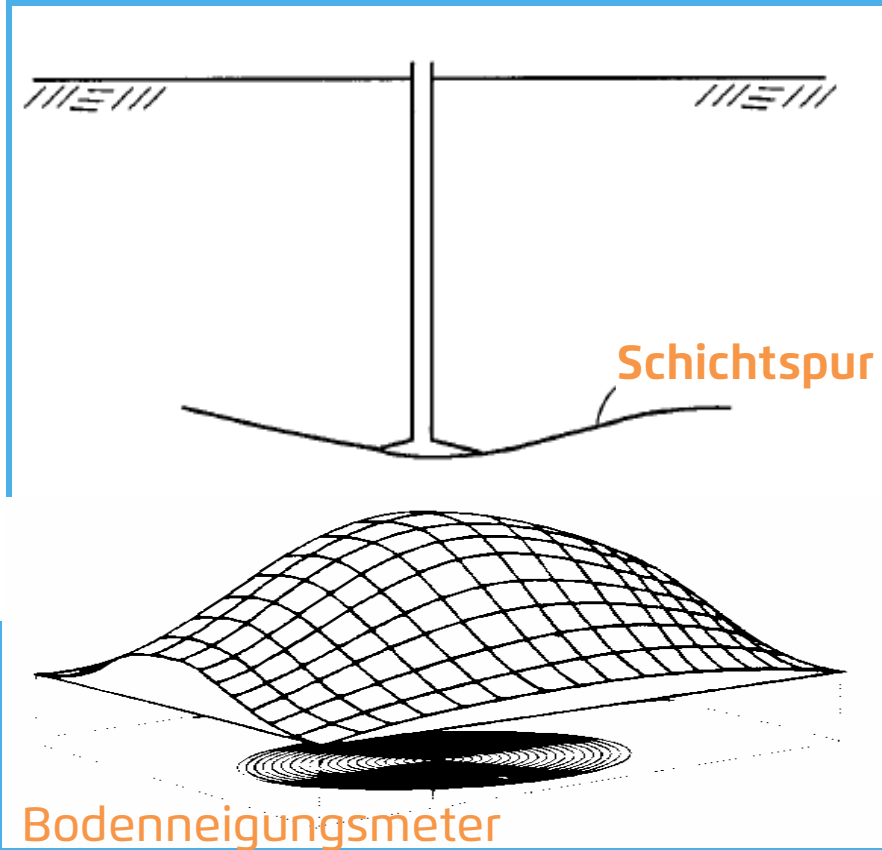
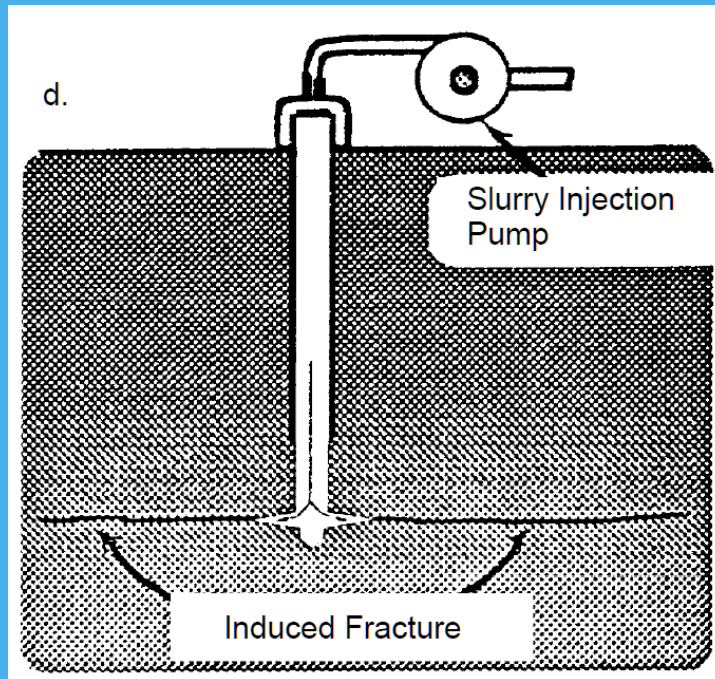


# Nachweismöglichkeit: Bodenneigungsmeter zur Überwachung der Injektatverteilung



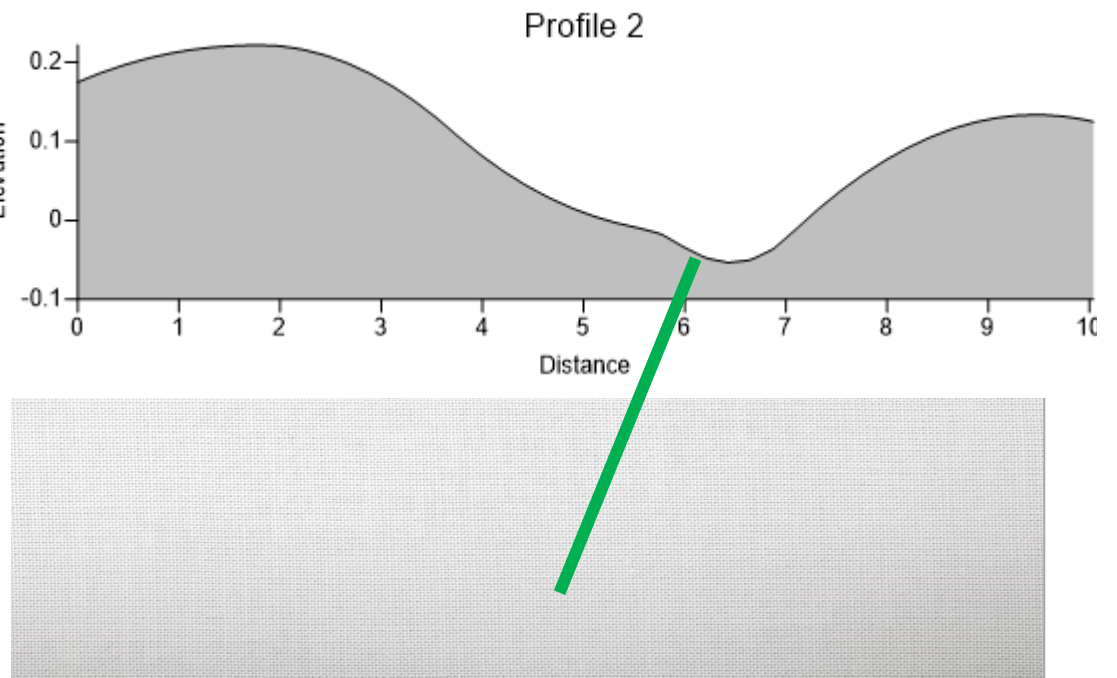
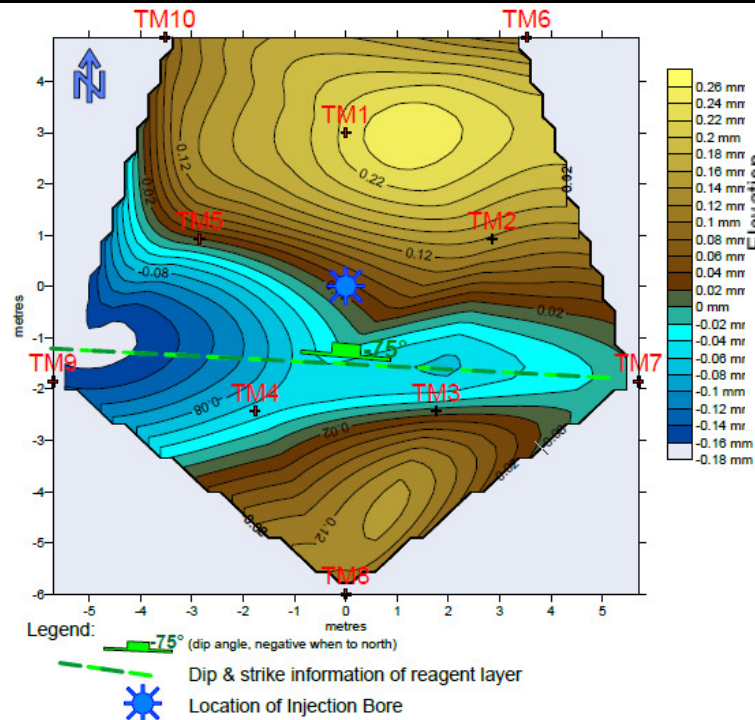
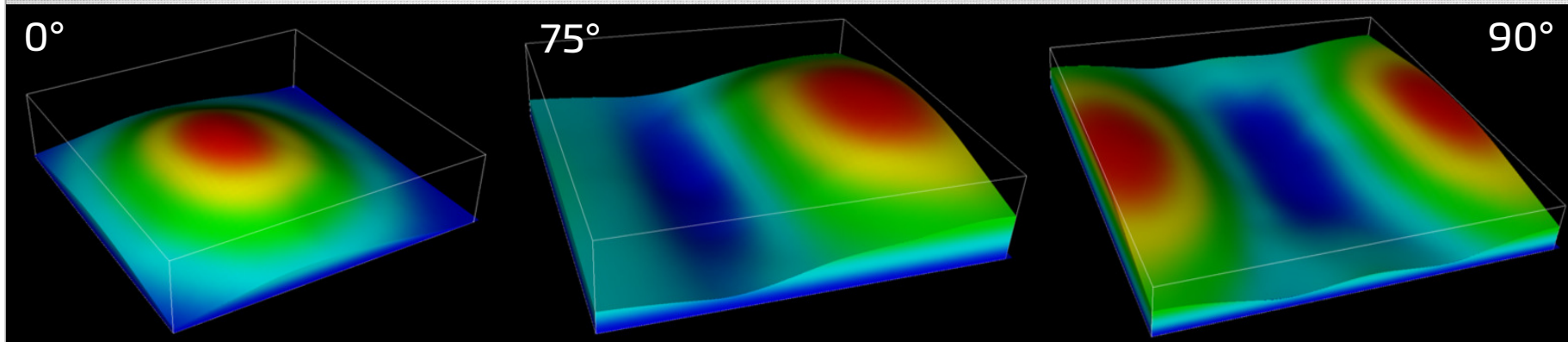


# Bodenneigungsmeter



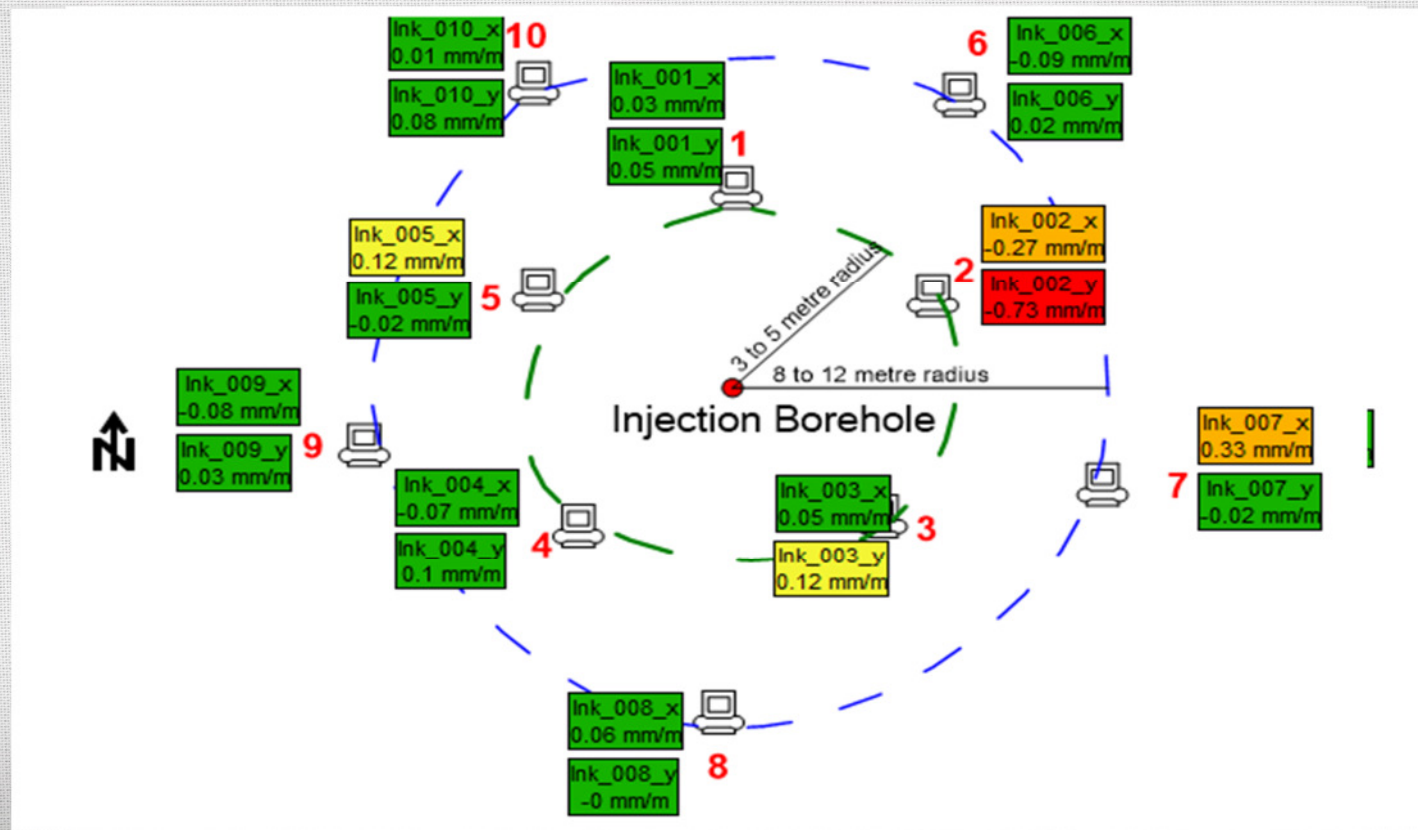


# Hinweise für die Lage der Schichten





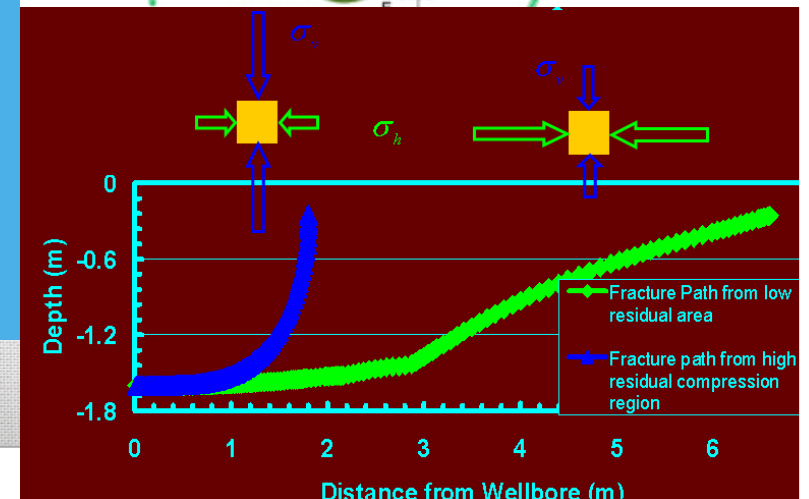
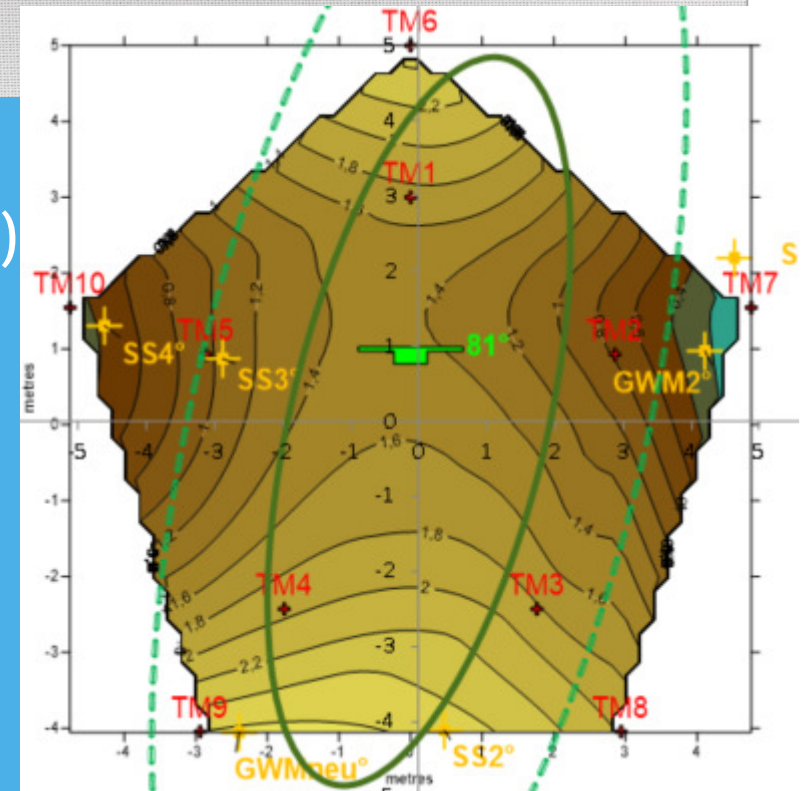
# Live-Monitoring





## Vorabbestimmung von:

- Frac-Druck (initial, Ausbreitung)
- Reichweite
- Schichtdicke
- Neigung
- Agenzienbeladung schichtweise und je nach Schadstoffgehalt
- Modellierung







**NICOLE**

Network for Industrially Co-ordinated Sustainable Land Management in Europe

3<sup>rd</sup> Winner of the NICOLE Innovation Award  
October 2017

in-Situ Injection Technology  
i-SAV © - RiskCom GmbH  
[i-SAV.de](http://i-SAV.de)



# Projektbeispiel

## Hydraulische Stimulation





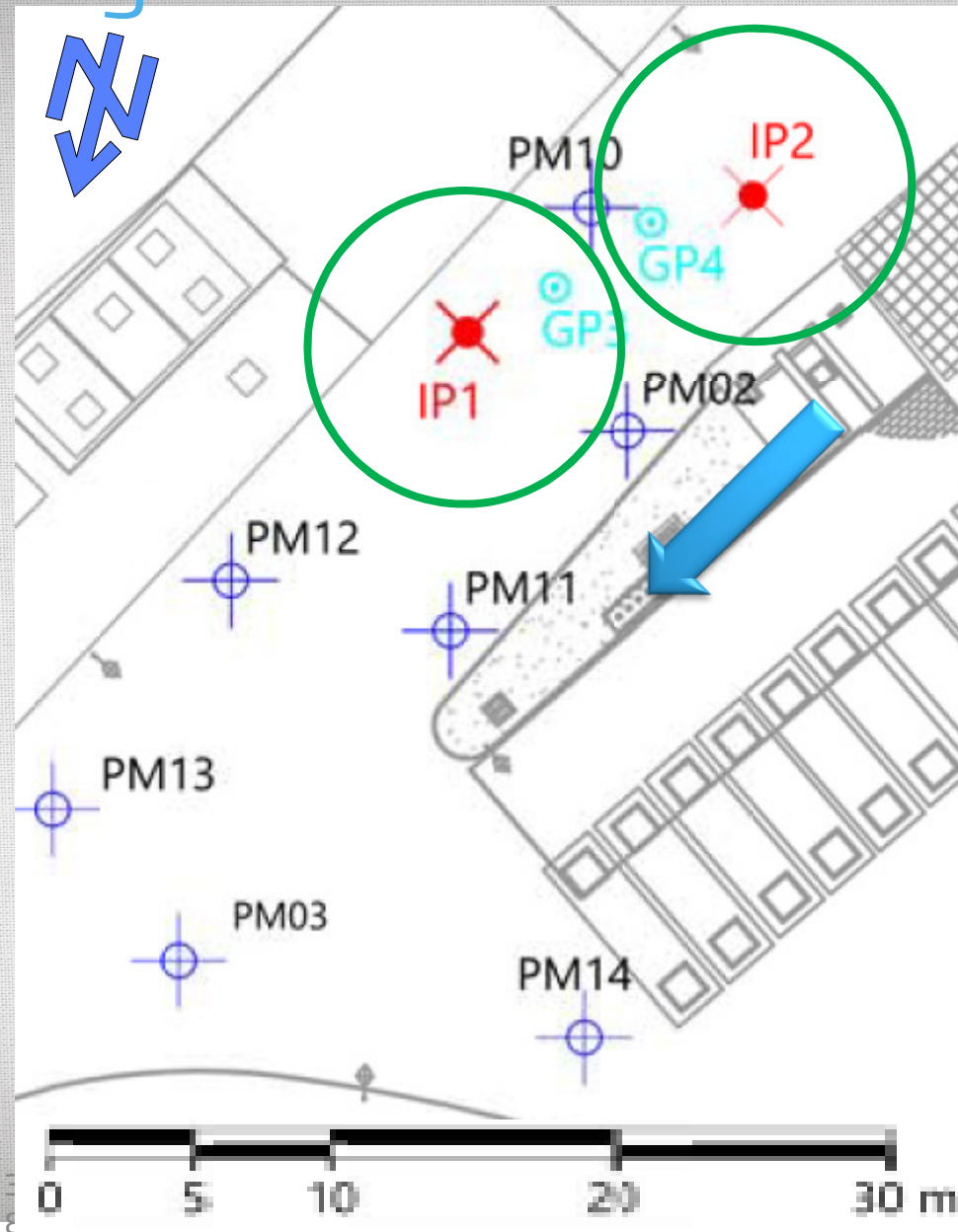
- Natriumpersulfat +  $\text{CaO}_2$   
30 - 40%ig
- Vertikaler Abstand 0,3 m
- > 5 m Radius
- 3 Injektionsbohrungen,  
1 Woche
- 2 Linerbohrungen zur  
Verifikation  
insg. 37 Bodenproben

7100  
kg



# Ergebnisse

© 2018 RiskCom GmbH



## Boden (GP3 und GP4):

- Signifikanter Anstieg von  $\text{SO}_4$  Konzentrationen um Ø 450% in allen 37 Bodenproben

## Grundwasser:

- Signifikanter Anstieg der Ca und  $\text{SO}_4$  Konzentrationen (PM2 und PM10)
- Mobilisierung von MTBE und BTEX in PM2, PM11, PM12





# i-SAV<sup>®</sup> – Rödermark

Kontamination: TCE, PCE und cDCE

Geologie: Tone und Sande (Rotliegend)

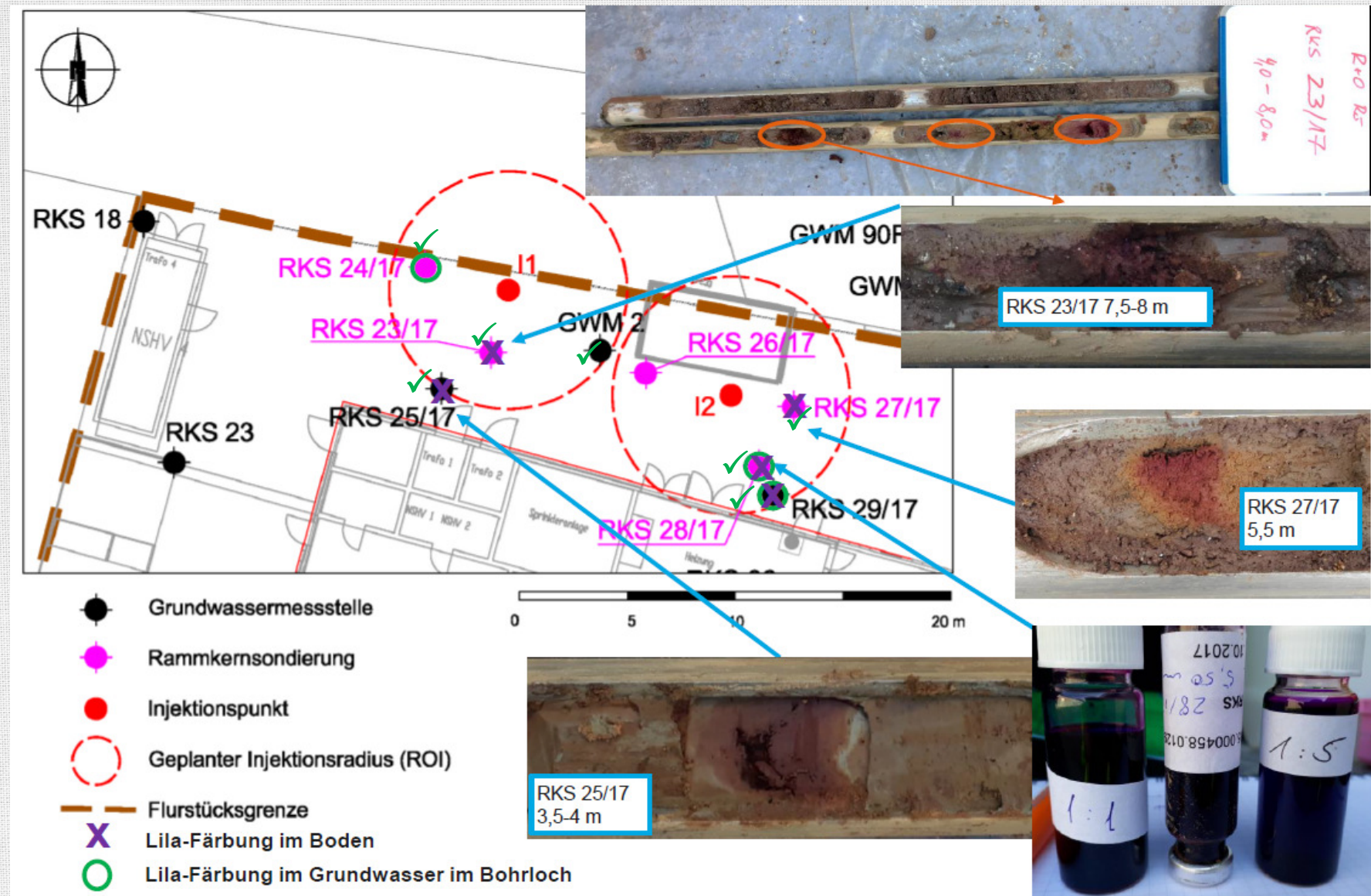
Injektion von 2 t  $\text{KMnO}_4$  zwischen 4 m und 7 m



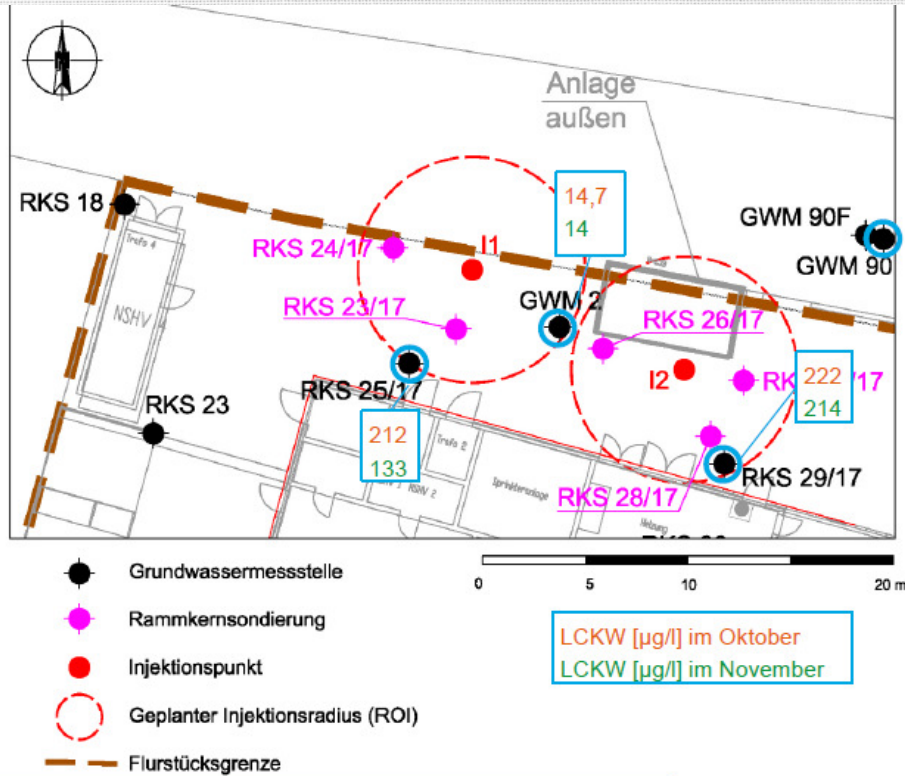
## Ergebnis:

Reichweite des Injektats bis  
über 5 m







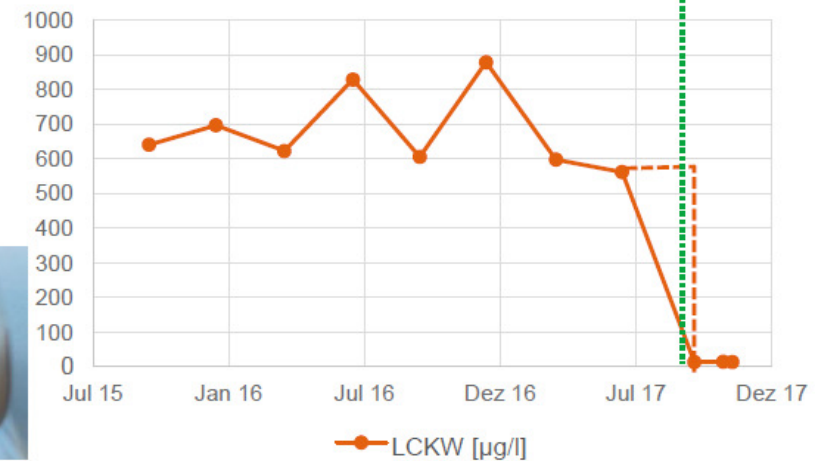
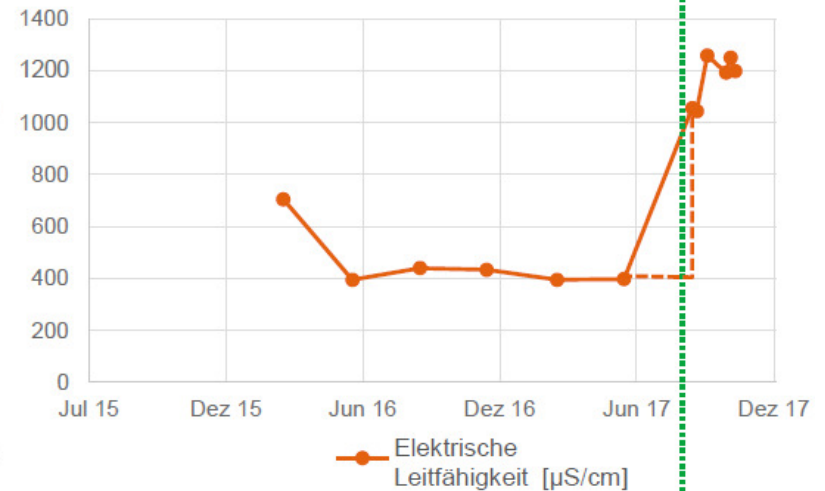


- Kein Permanganatdurchbruch
- LCKW-Abnahme und Leitfähigkeitszunahme an GWM 2
- Fester Absatz: Trübstoff mit bis 4% Braunstein in GW-Proben nach Injektion



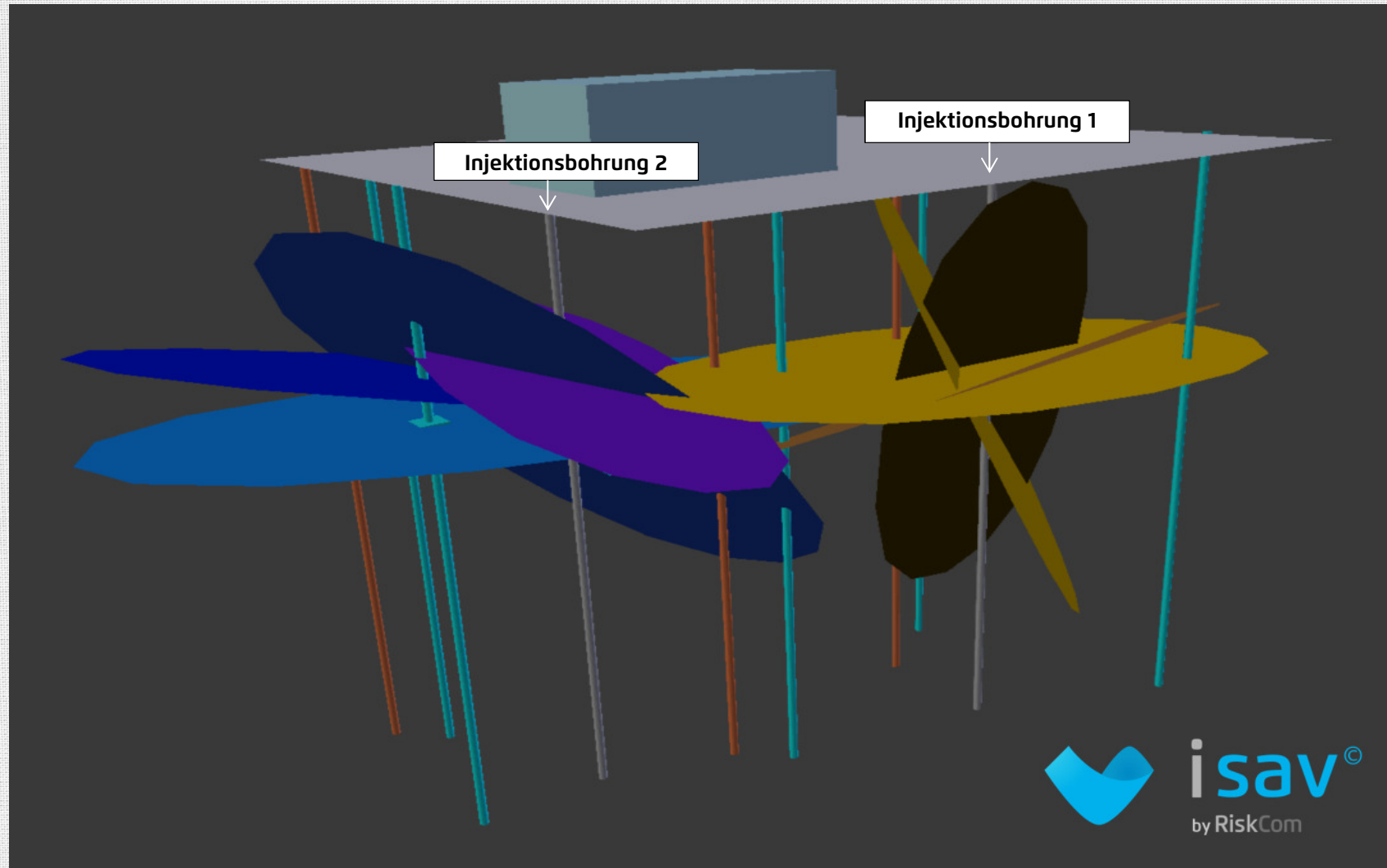
GWM 2

1. Injektion



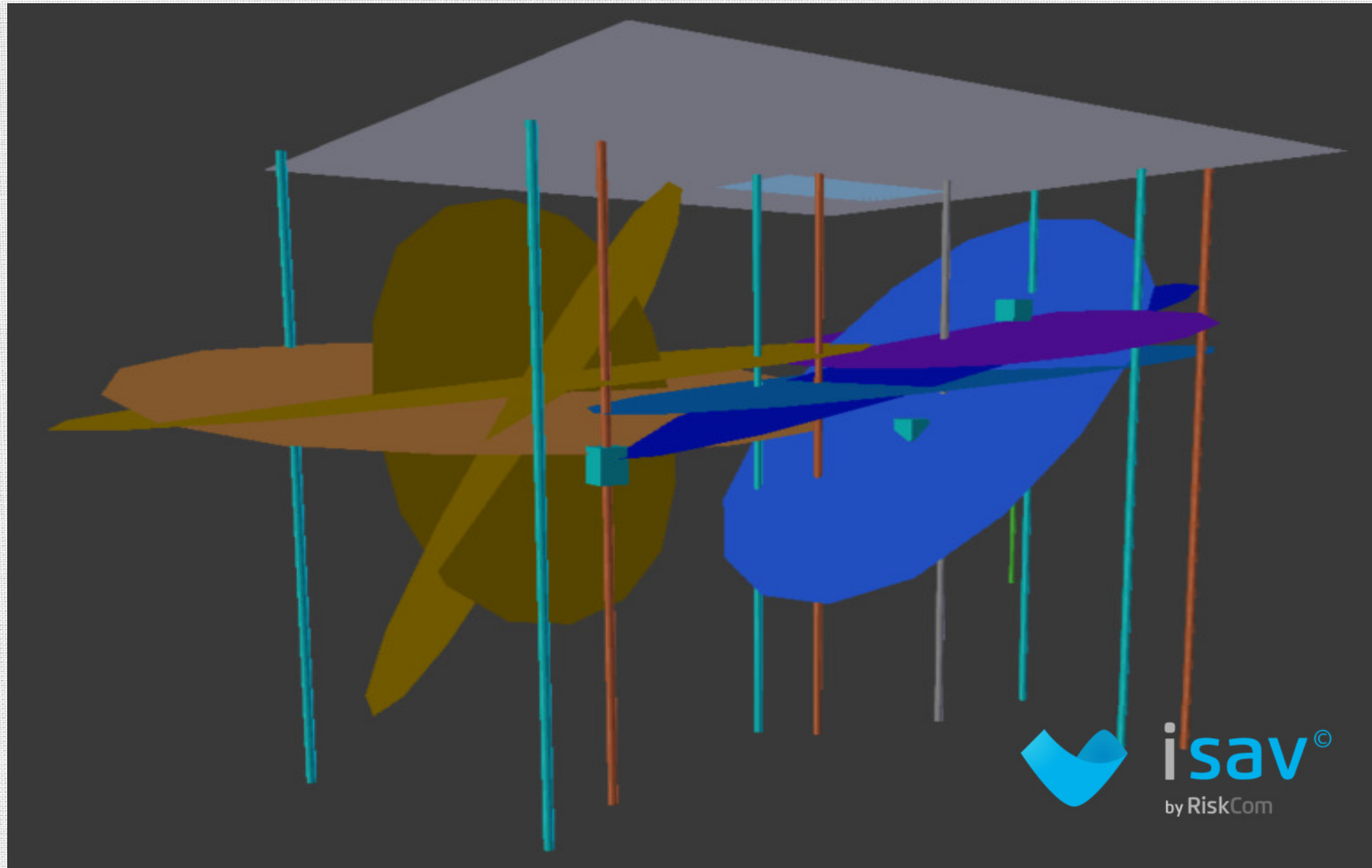


# i-SAV<sup>©</sup> – Rödermark



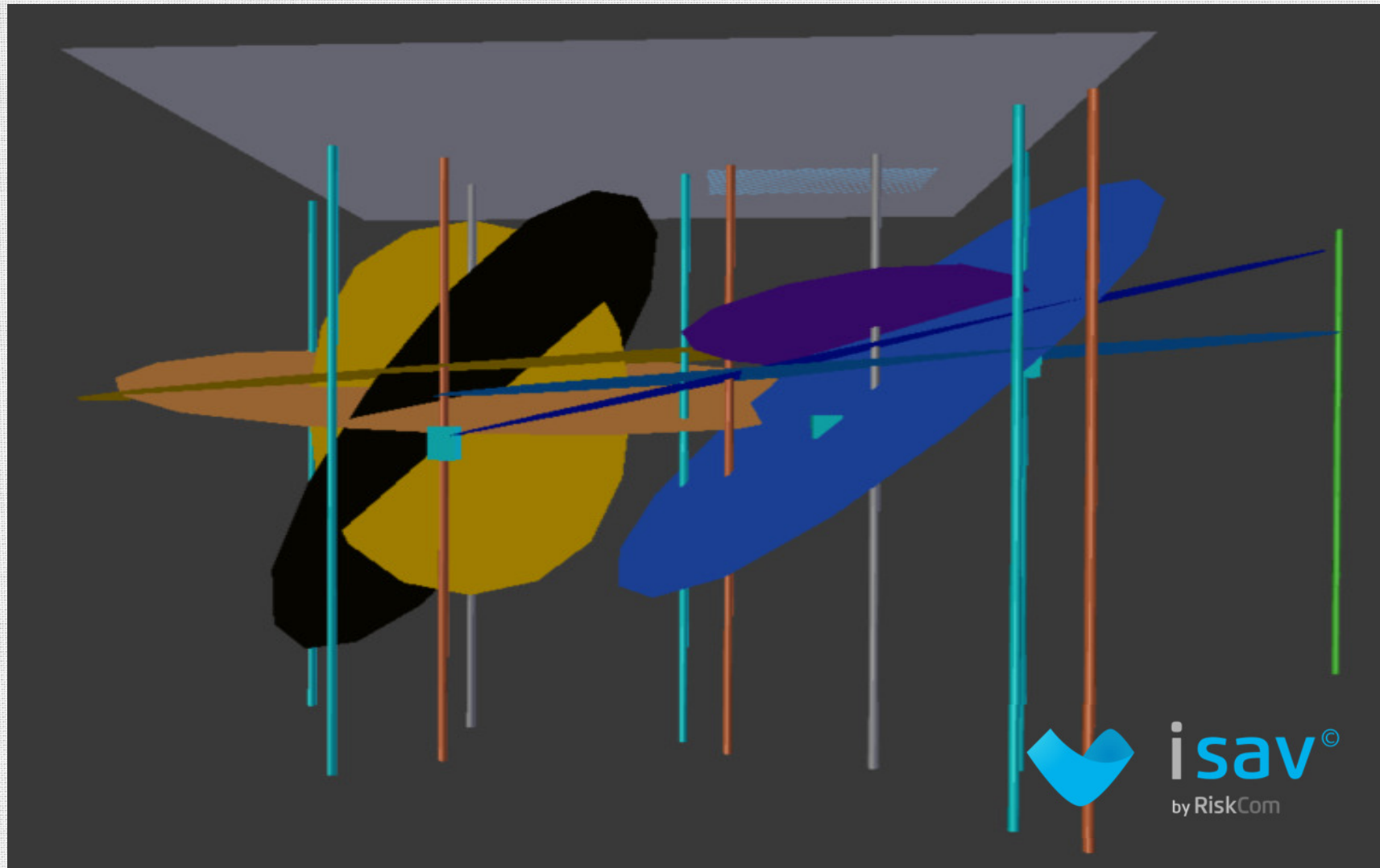


# i-SAV<sup>©</sup> – Rödermark



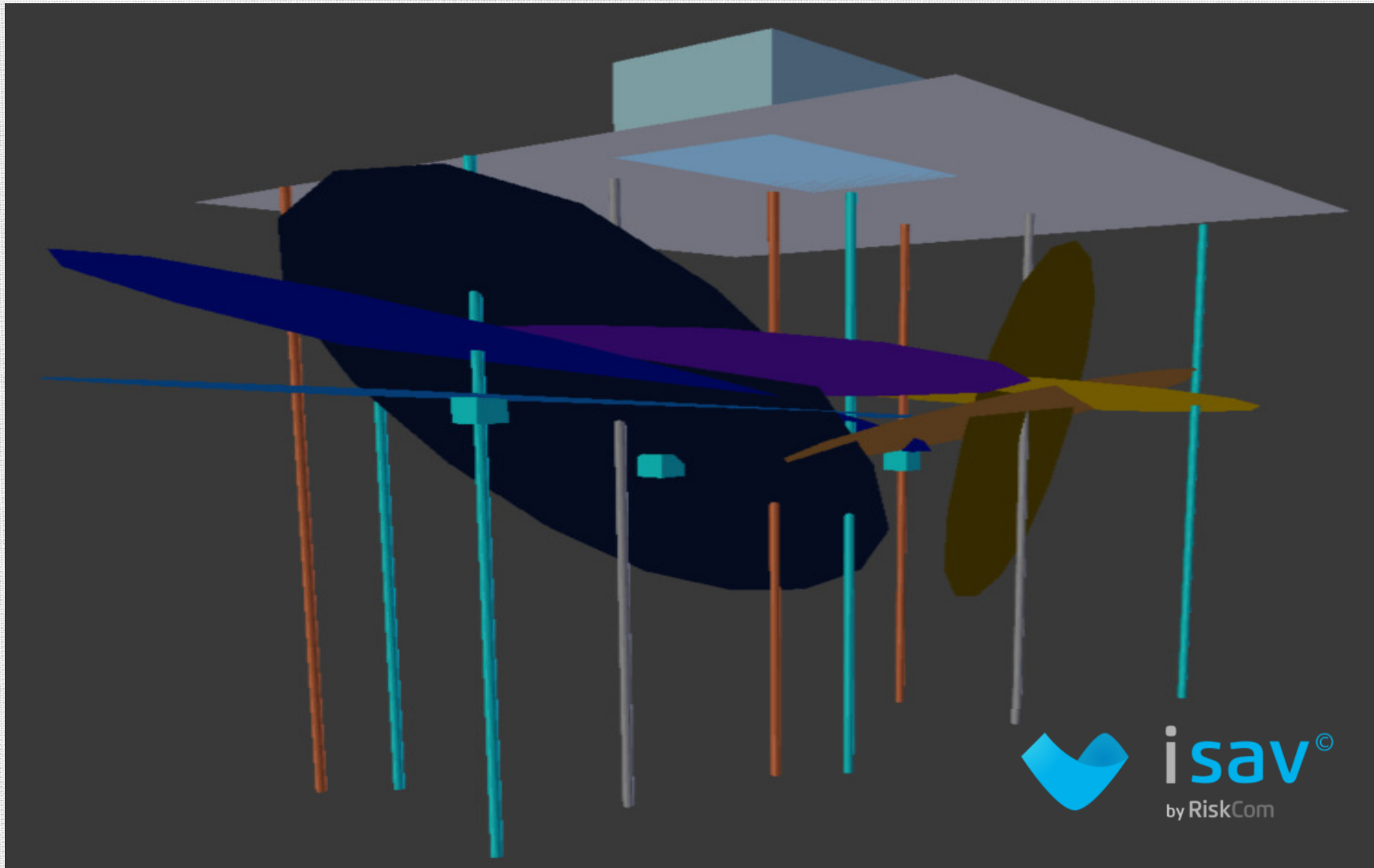


# i-SAV<sup>©</sup> – Rödermark



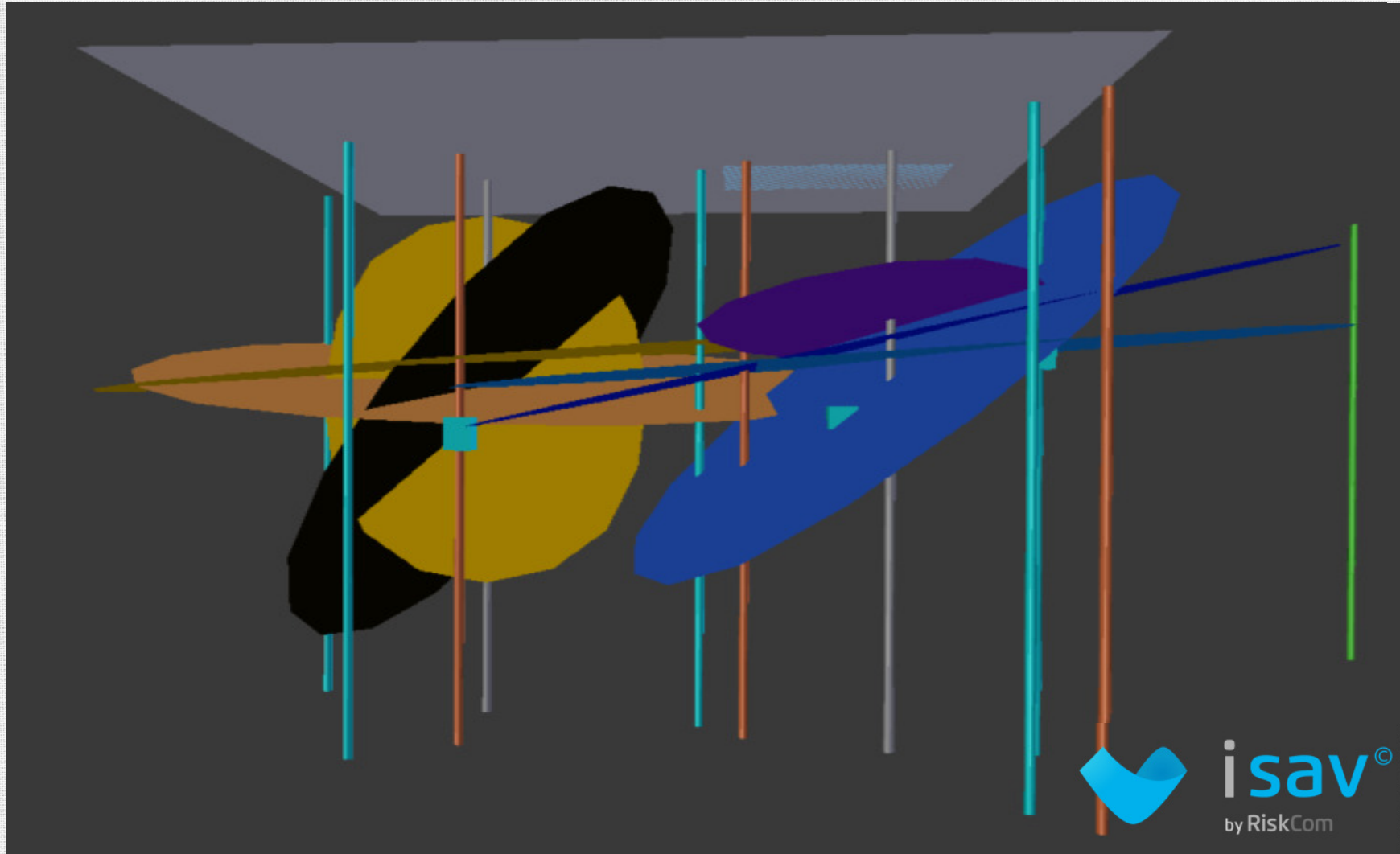


# i-SAV<sup>©</sup> – Rödermark





# i-SAV<sup>©</sup> – Rödermark





## Contact

RiskCom GmbH  
Großweil / Kochel am See  
Deutschland

E-Mail: [info@riskcom.de](mailto:info@riskcom.de)

[www.riskcom.de](http://www.riskcom.de)

---

