

Optimierte integrale Sanierung eines LCKW/VC-Fahnenkomplexes als Treatment Train

Zielgerichtete Entwicklung vom Beginn der Sanierungsuntersuchung 2012
über den Sanierungsbeginn 2014 bis zur aktuellen Sanierungslösung

Dr. Karsten Menschner

Thomas Reichardt

15.05.2019



**CDM
Smith**

SIEMENS
Ingenuity for life

Gliederung



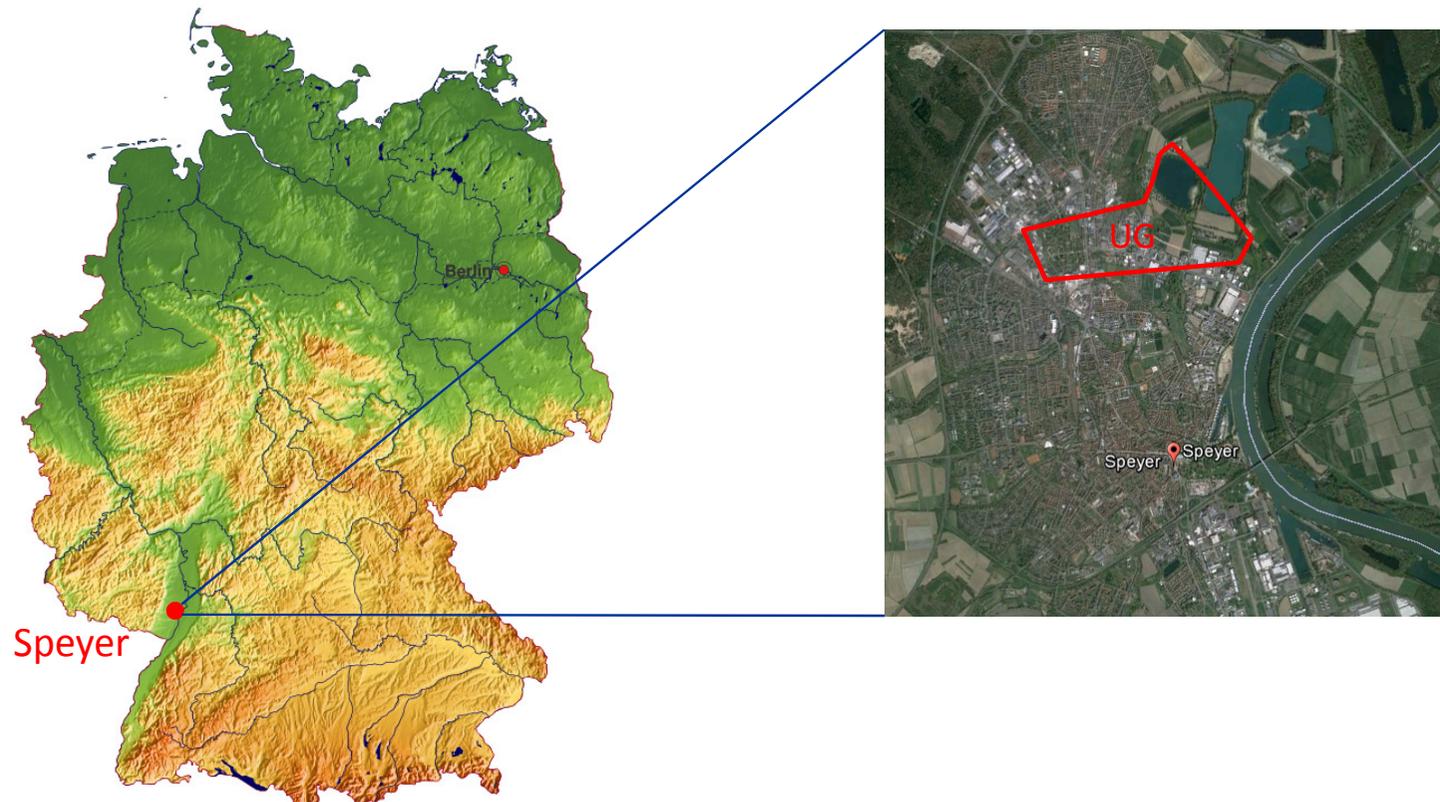
1. Einleitung und Standortsituation
2. Sanierungsuntersuchung und modelloptimiertes Sanierungskonzept
3. Integrale Sanierungselemente vom Abstrom zum Anstrom
4. Ausblick und Diskussion

1) Einleitung und Standortsituation

Integrale Sanierung eines ca. 500 m x 2000 m umfassenden LCKW/Vinylchlorid-Grundwasserschadens inkl. Seesanieung

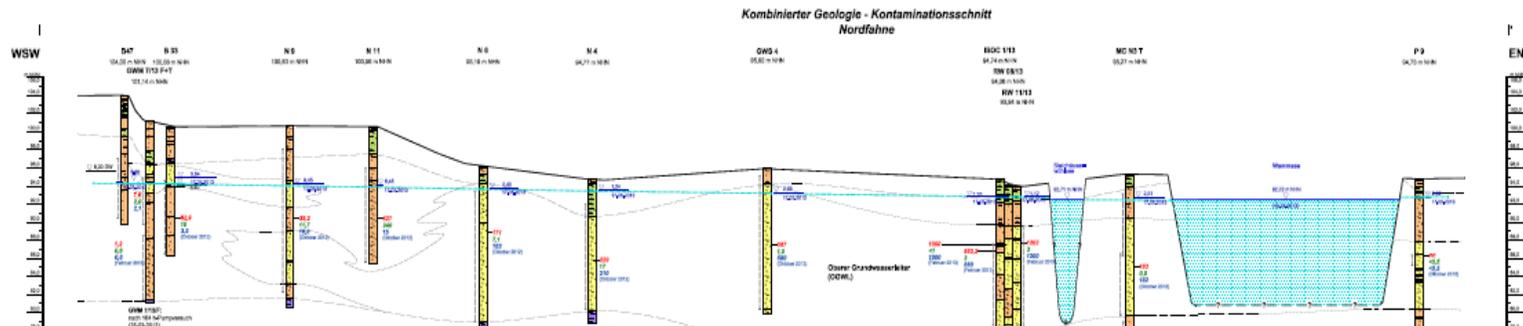
- von der Sanierungsuntersuchung 2012 mit einem integralen abgestuften Sanierungskonzept über die Sanierungsplanung 2015 zur Sanierung im Grundwasser ab 2016 als Generalunternehmer (GU)
- prioritätsorientiert wird „von hinten nach vorn“ saniert
- von der Seesanieung 05/2014 mit hypolimnischer Zirkulation
- über Pump&Treat im Seeanstrom seit 06/2016 und
- in-situ-Pilotsanieung im Fahnenbereich seit 05/2016 und lfd. Planung
- bis zur quellnahen Sanierung mit GW-Zirkulationsbrunnen ab 08/2017
- und Untersuchungen/Sanieungstests bei einer lokalen LCKW-Quelle
- komplexes GW-Monitoring seit 2012, begleitet mit GIS und 3D-Modell

Projekt Speyer - Standortbeschreibung



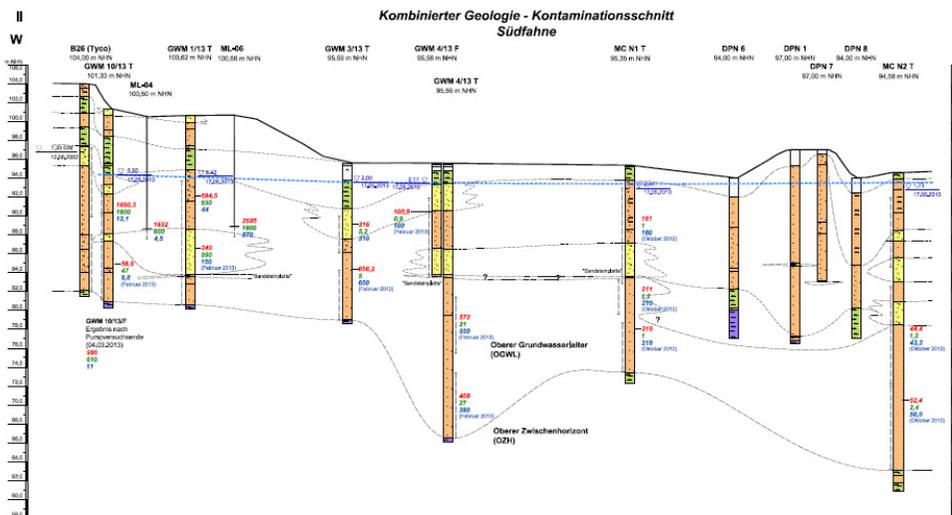
Untersuchungsgebiet – Rheinland-Pfalz, Speyer, Industriegebiet West, mit östlichem Abstrom

Projekt Speyer – Geologie Nordfahne + Südfahne



Hochgestade → Rheinniederung / Rheinaue

Baggerseen

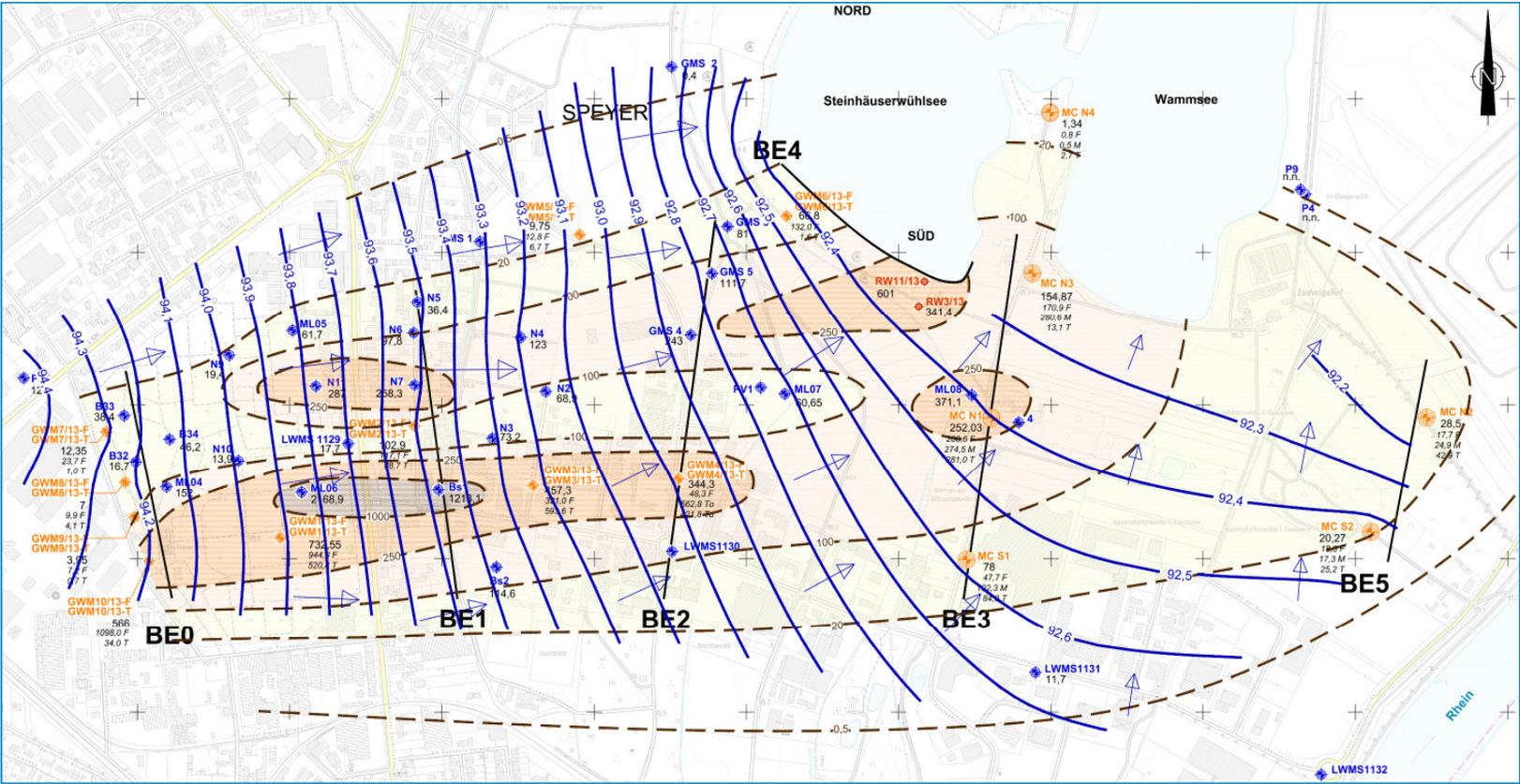


OGWL - Oberer Grundwasserleiter

OZH - Oberer Zwischenhorizont

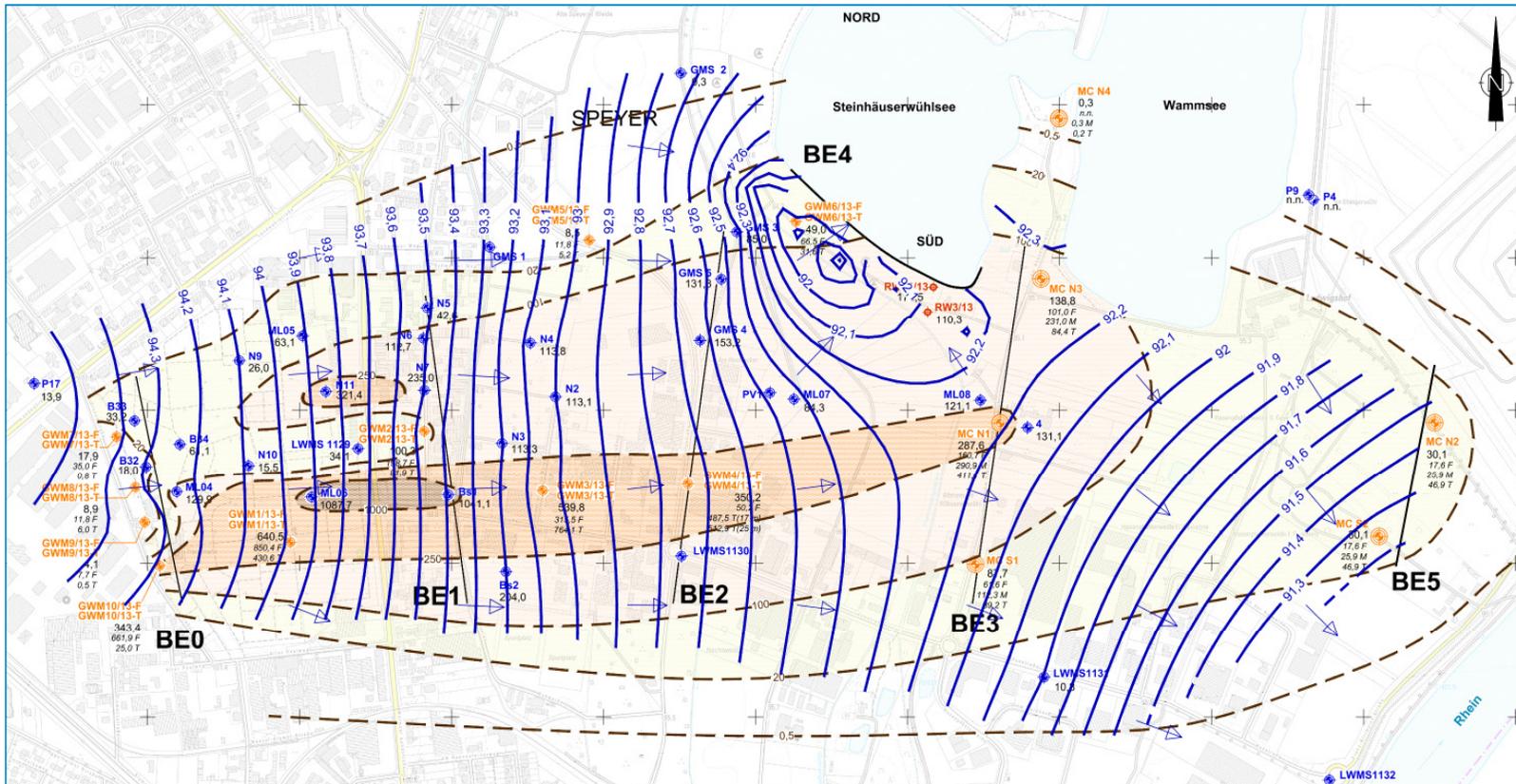
MGWL – Mittlerer Grundwasserleiter

Überblick: Grundwassermonitoring Mai 2016



Grundwassergleichenplan 29.04.2016 und LKW-Isokonzentrationenplan Mai 2016
Erhebliche Fahndynamik durch Rheineinfluss bei Hochwasser

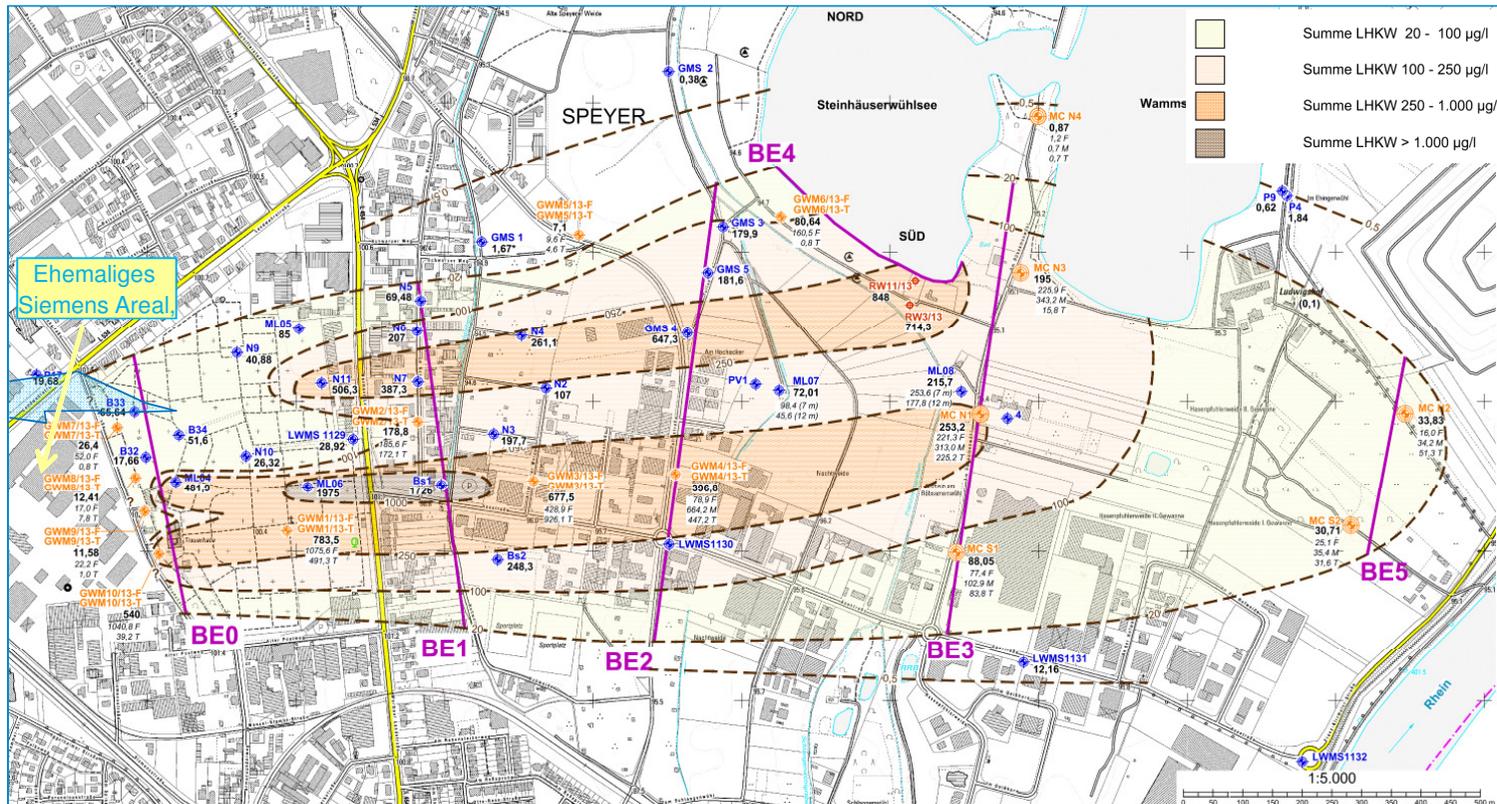
Überblick: Grundwassermonitoring Oktober 2016



Grundwassergleichenplan 14.10.2016 und LCKW-Isokonzenplan Okt. 2016
 Mit Pump & Treat im Seanstrom seit 01.07.2016

2) Sanierungsuntersuchung und Modelloptimierung

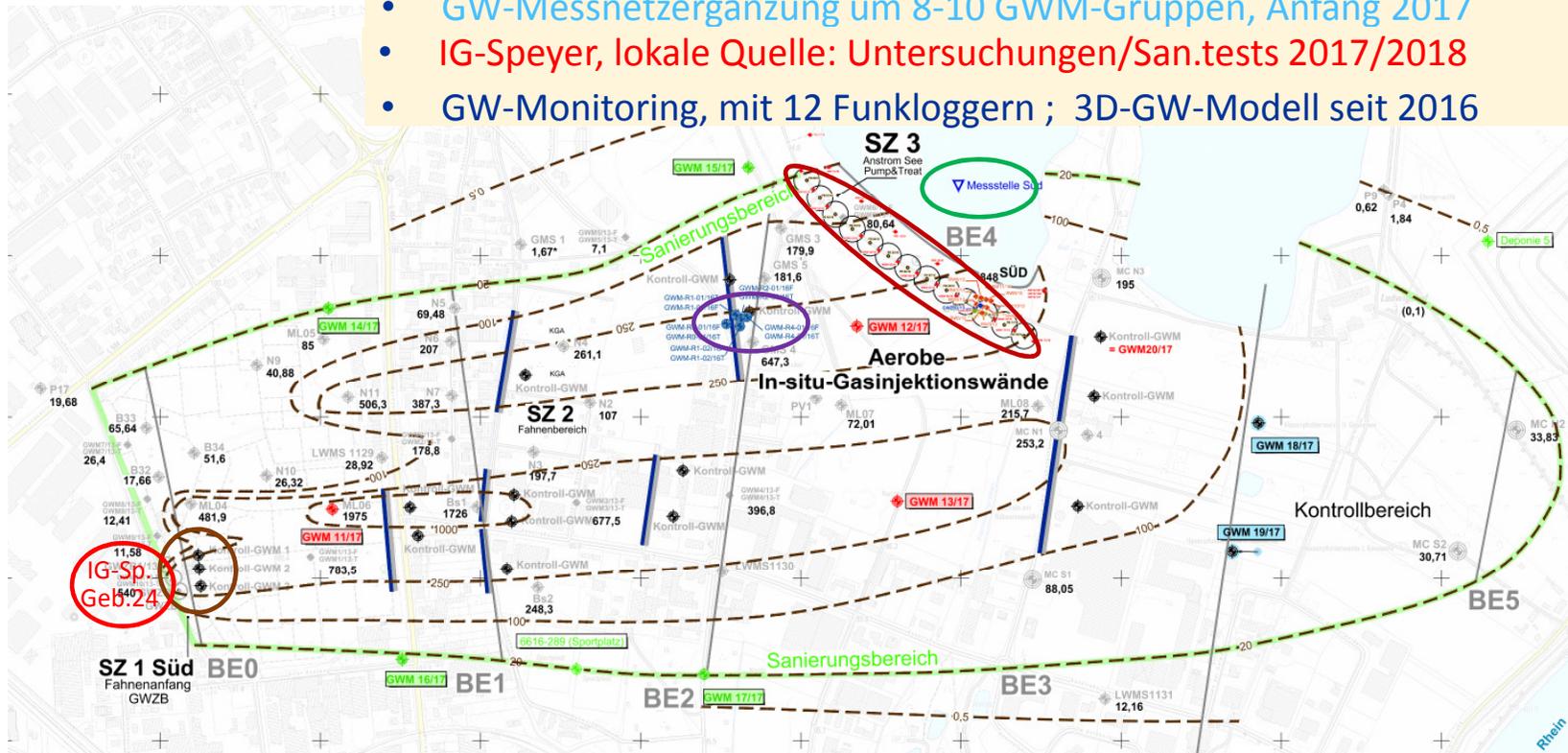
Nach Defizitanalyse, Ergänzende Untersuchungen, Sanierungstests



Ausgangslage für SU: Mittlere LCKW-Verteilung 2013-2015 , v.a. Vinylchlorid, Bilanzebenen

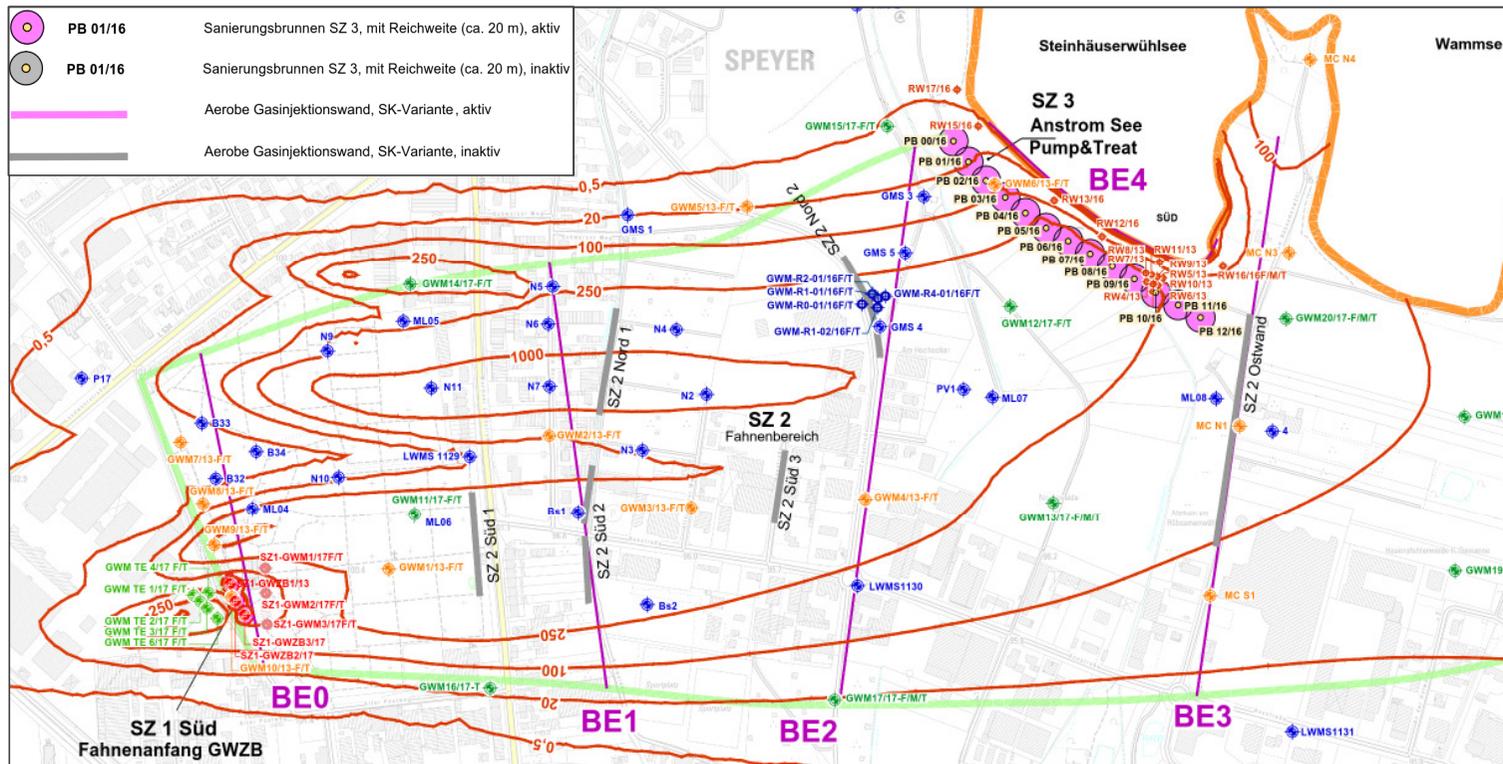
Gesamt- überblick Stand

- Sanierungsuntersuchung 2013, Sanierungsziele + San-Konzept 2015
- Steinhäuserwühlsee: Betrieb von 2 TIBEAN Mai 2014 bis Nov. 2016
- SZ3: Pump&Treat, Planung+WR-Bescheid 2015, Betrieb seit 06/2016
- SZ2: DGI-Pilotsanierung, Planung+WRE 2015, Betrieb seit 05/2016
- SZ1 Süd: 3 GWZB. Planung 2015. WRE 01/17. Betrieb seit 09/2017
- GW-Messnetzergänzung um 8-10 GWM-Gruppen, Anfang 2017
- IG-Speyer, lokale Quelle: Untersuchungen/San.tests 2017/2018
- GW-Monitoring, mit 12 Funkloggern ; 3D-GW-Modell seit 2016



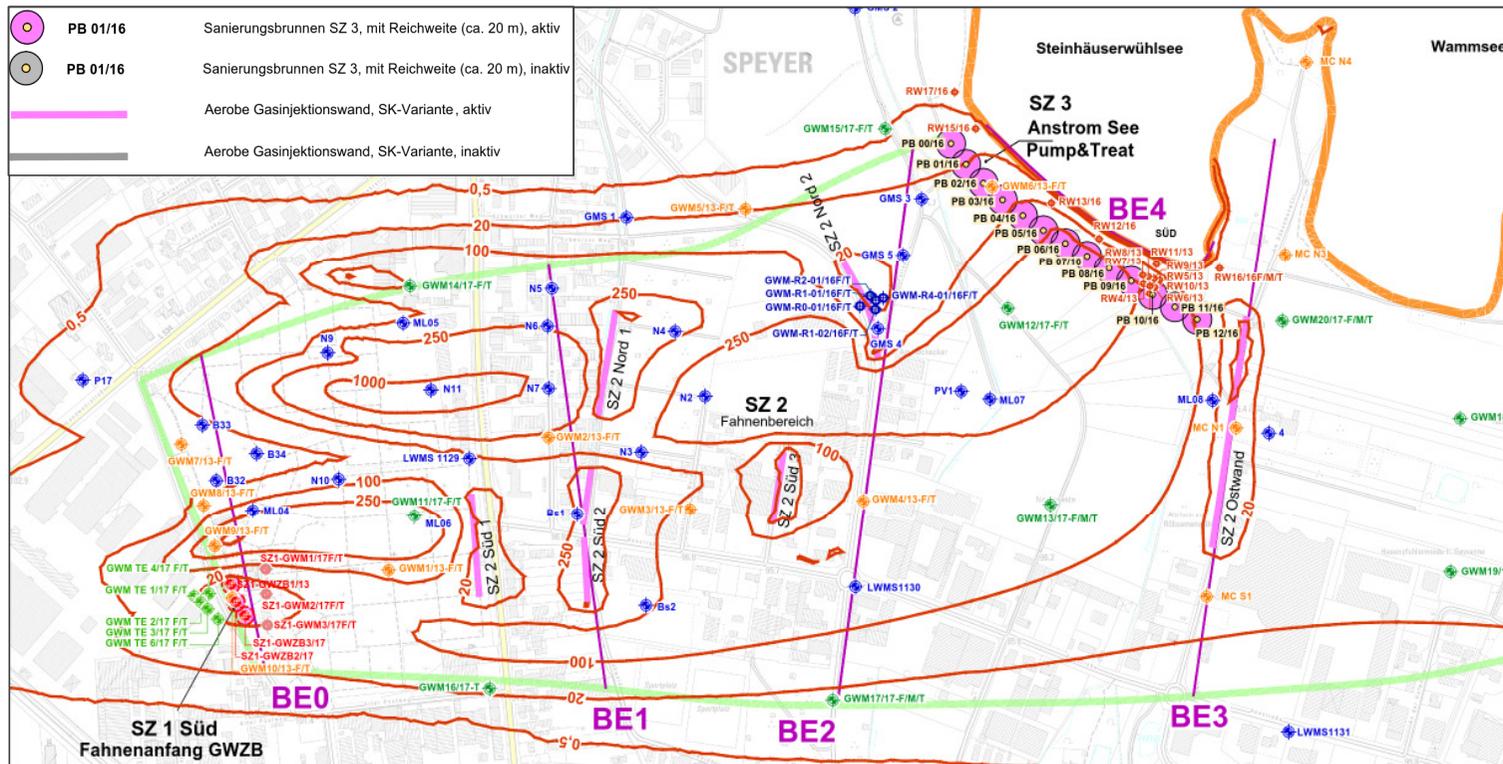
SU-Ergebnis: Integrale Sanierungslösung mit 3 Sanierungszone, Bilanzebenen und GWM-Netz

Instationäres 3D-FE-GW-Strömungs-/Transportmodell u.a. zur Verhältnismäßigkeitsbetrachtung in SZ 2



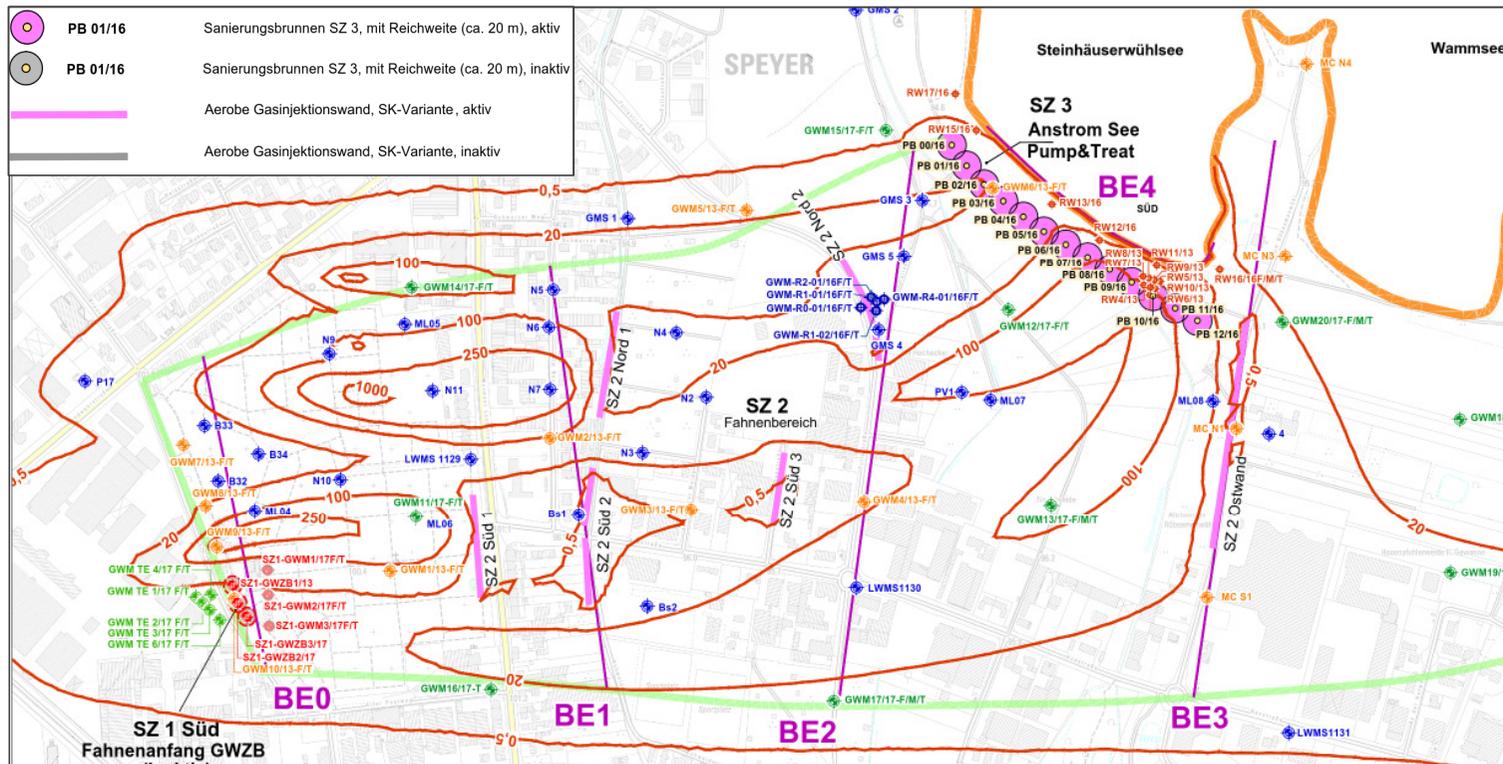
Prognoserechnungen zur Optimierung der Sanierungselemente
Hier: Optimierte SK-Variante, LCKW-Verteilung 2018 vor Sanierung in SZ2

Instationäres 3D-FE-GW-Strömungs-/Transportmodell u.a. zur Verhältnismäßigkeitsbetrachtung in SZ 2



Prognoserechnungen zur Optimierung der Sanierungselemente
Hier: Optimierte SK-Variante, LCKW-Verteilung 2020 Sanierungsanlauf in SZ2

Instationäres 3D-FE-GW-Strömungs-/Transportmodell u.a. zur Verhältnismäßigkeitsbetrachtung in SZ 2

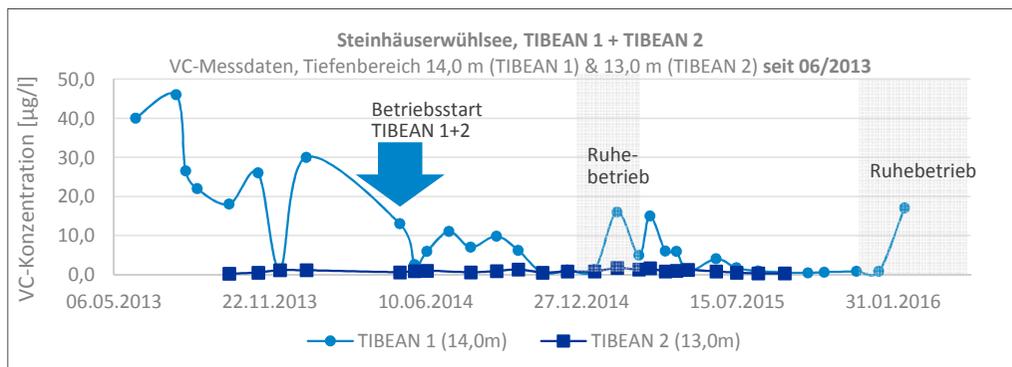
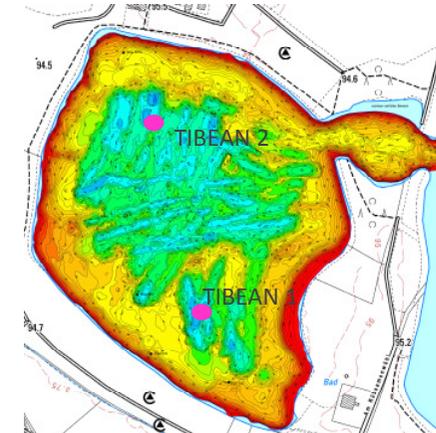


**Prognoserechnungen zur Optimierung der Sanierungselemente
Hier: Optimierte SK-Variante, LCKW-Verteilung 2023 während Sanierung in SZ2**

3) Elemente der integralen Sanierungslösung

3.1) Hypolimnische Seesaniebung mit adaptierter TIBEAN-Technologie (2014-2016)

- Technische Daten
 - 2 schwimmende flexible TIBEAN mit 14 m Länge
 - Umwälzleistung: max. 1.200 m³/h Wasserzirkulation
 - Luftvolumenstrom: 5.000 m³/h
 - Integrierter Aktivkohle- und Biofilter
 - Online-Vertikalmessprofile (O₂, Temp.), Remote control
 - Erfolgreicher Betrieb über 3 Jahre (bis P&T wirkte)



3.2) SZ3 Sicherung Seeanstrom – Pump & Treat

Sanierungsinfrastruktur:

- 13 Pumpbrunnen bis 20 m Tiefe
- 21 mit Loggern ausgerüstete Kontroll- und Reichweitenmessstellen,
- Leitungen, Kontrollschächte und Straßenbau auf ca. 400 m Länge
- teilredundant ausgerüstete Grundwasserreinigungsanlage zur Förderung von 40-110 m³/h Grundwasser, mit Kiesfiltration, zweistufiger Stripptung und zuverlässiger Abreinigung auf <0,5 µg/l VC mittels katalytischer Nachverbrennung und 2 Aktivkohle-Polizeifiltern, online-GC
- in einer 22x12x7 m großen Leichtbauhalle



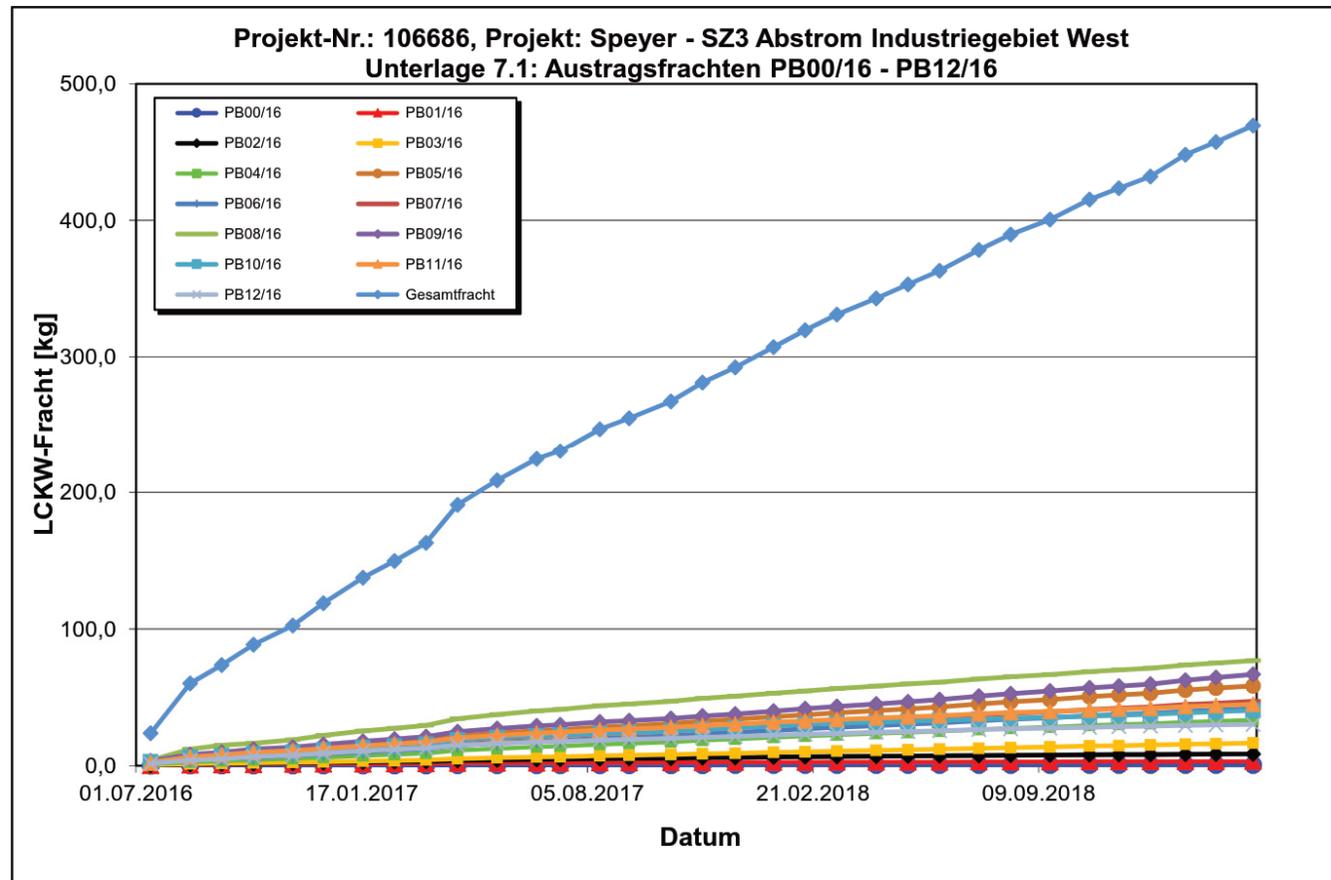
Bau Februar-Mai 2016, Probetrieb über 6 KW, störungsfreier Regelbetrieb seit 1.7.2019

SZ3 Seeanstrom – Pump & Treat (Lage)



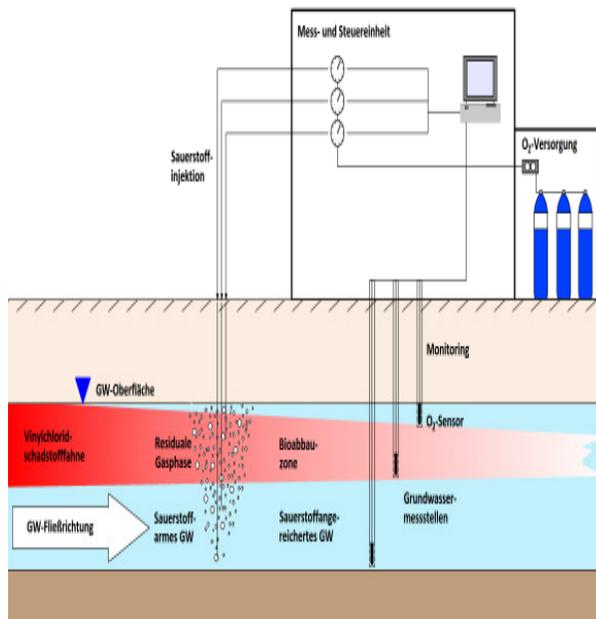
Lageplan SZ3 mit Pump&Treat-Infrastruktur, auf Luftbild

SZ3 – P&T-Regelbetrieb seit 01.07.2016



Aktuell bereits 480 kg VC entfernt, Badeseesee war nach 4 Monaten P&T-Betrieb VC-frei

3.3) SZ2 Fahnenbereich : In-situ-Direktgasinjektion

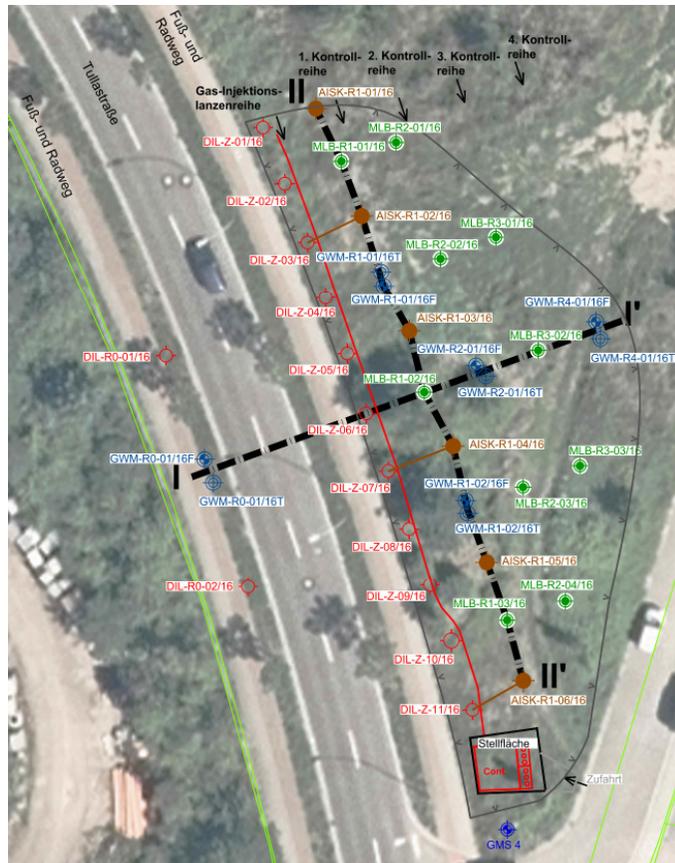


O₂-Gasinjektionsgalerie quer zur GW-Fließrichtung zum Aufbau durchgängiger Aerob-Abbauzonen

- Einbringen von Reinsauerstoff in das Grundwasser mit speziellen Druckinjektionslanzen in verschiedenen Tiefen
- zur nachhaltigen Sauerstoffeinführung mit Schaffung einer vollflächigen Biooxidationszone zum mikrobiellen VC-Abbau
- Vorteile und technologische Fakten:
- Sauerstoff als natürliches Gas wird verwendet
- Geringer Wirkstoff- und Energieaufwand
- Hohe Prozess-Stabilität durch O₂-Einspeicherung
- Hohes Maß an Prozessautomatisierung mit MSR/DFÜ
- Wenig Anlagenplatzbedarf, geringer Wartungsaufwand
- Biologische Anlaufzeit von ca. 6 Monaten, bis sich die VC-abbauenden Mikroben in-situ aufgebaut haben

Prinzipschema der Sauerstoff-Direktgasinjektionstechnologie zur in-situ-Stimulation des aeroben mikrobiologischen Abbaus von VC (und CIS)

DGI-Pilotsanierung ab 2016 - Detaillageplan

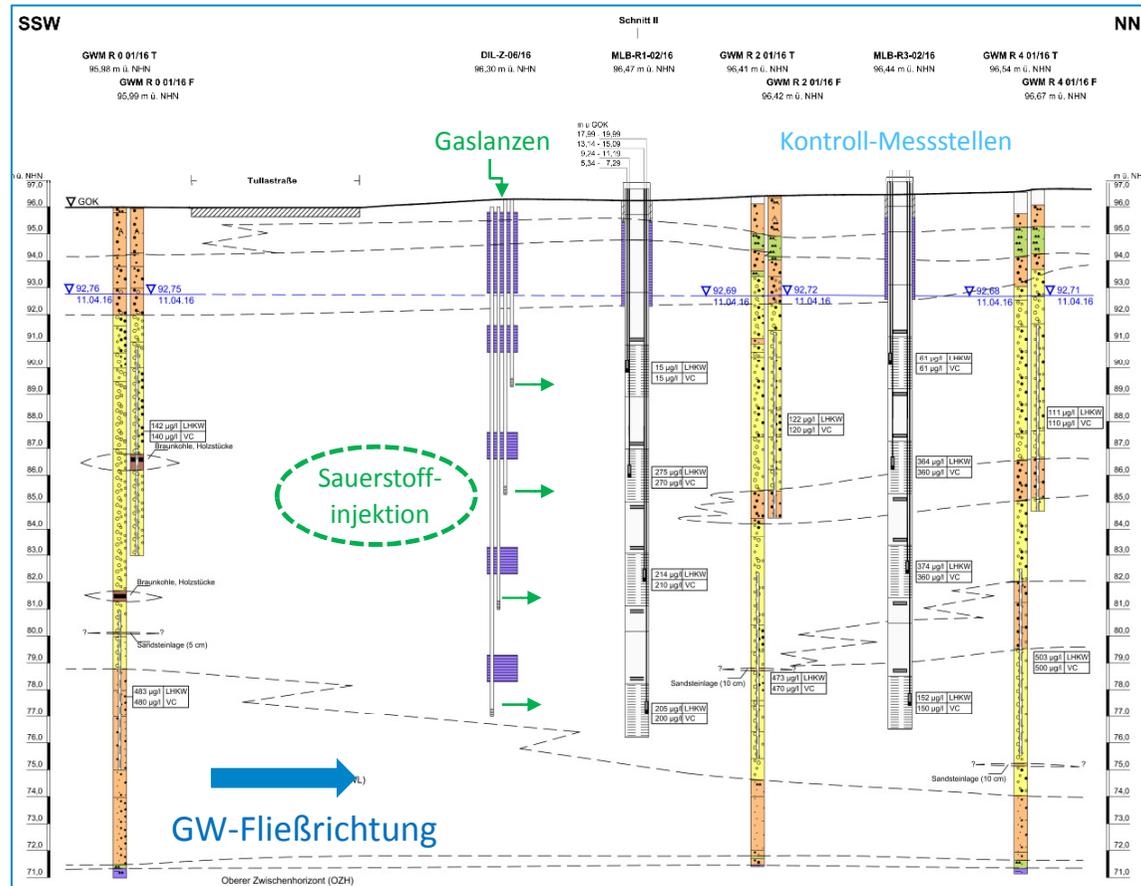


Legende:

-  GWMS 4 Einzelmessstelle / GWM (Bestand)
-  DIL-Z-01/16 Gasdruckinjektionslanze, HDPE 13/2 Filter bei 6-10-14-18 m
-  DIL-R0-01/16 Infiltrationslanze für Nährstoffe, HDPE 13/2
-  AISK-R1-01/16 Aquifer-Integrierte-Redoxsensorkette mit 4eH-Sensoren bei 6-10-14-18 m
-  GWM-R1-01/16F Gütemessstellengruppe DN 125
-  GWM-R1-01/16T Flach: Fi 6-12 m ; Tief: Fi 14-20 m
-  MLB-R1-02/16 Multilevelbrunnen HDPE-DN75 Filter bis 5-7 / 9-11 / 13-15 / 18-20 m zum Einbau einen Scheibenpackersystems mit Minidruckpumpen
-  Stellfläche Stellfläche mit Container DFÜ- und für MSR-Technik
-  Sauerstoff-Versorgungseinheit mit Druckminderer und Verteilereinheit
-  O₂ - Leitungen, im Schutzrohr
-  eH-Sensorkabel, im Schutzrohr
-  Flurstücksgrenzen
-  Schnittverlauf

50-m-Testfeld zur DGI-Pilotsanierung mit 4 Kontrollreihen, im Kern der Nordfahne

DGI-Pilotsanierung – Längsschnitt durch das Testfeld



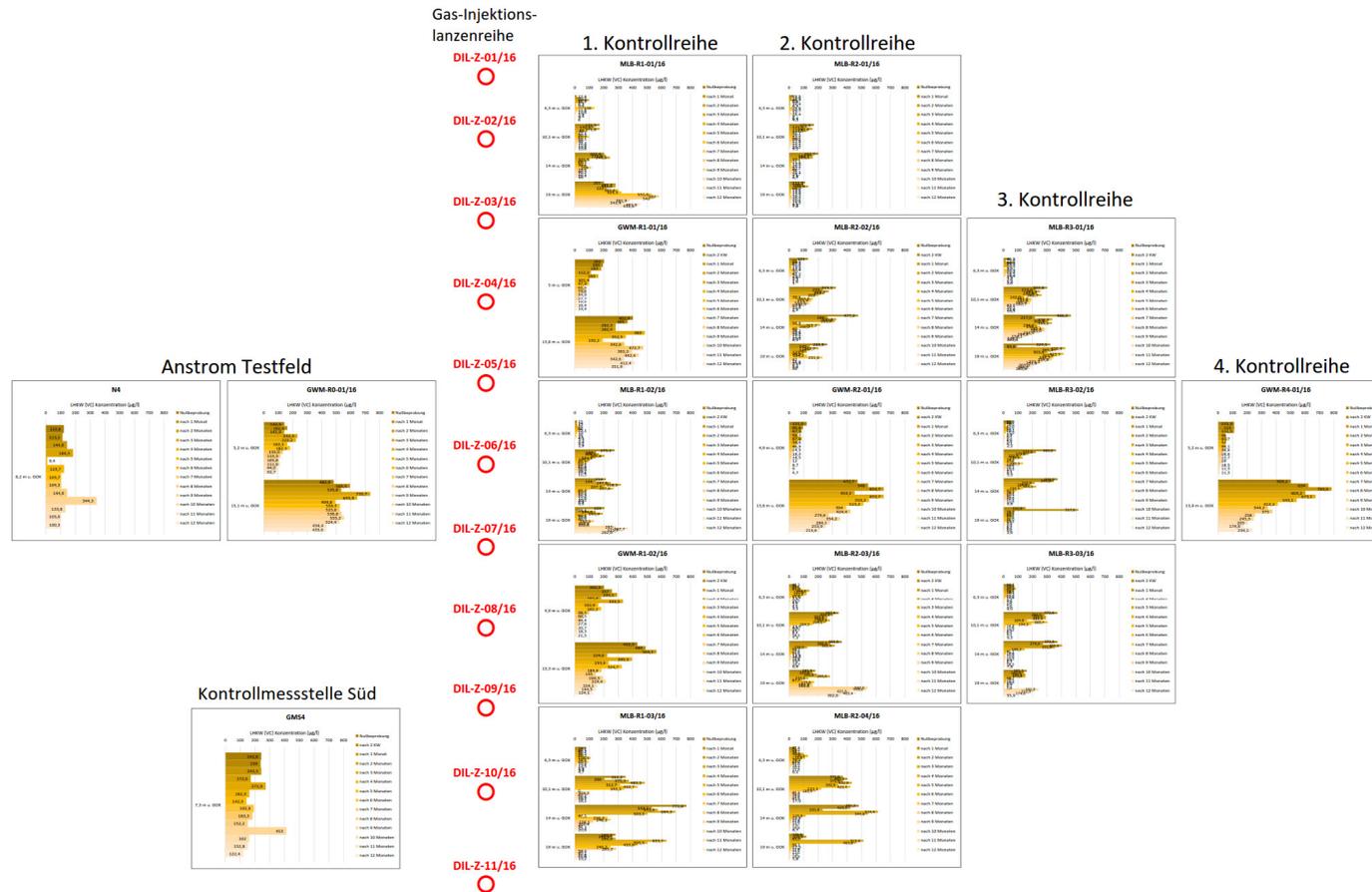
Geologischer Schnitt durch das Testfeld, in Fließrichtung, mit Ausbau der Gaslanzen, MLB und GWM

DGI-Pilotsanierung Vinylchlorid-(VC)-Schaden

Sanierungsziele und Versuchsziele

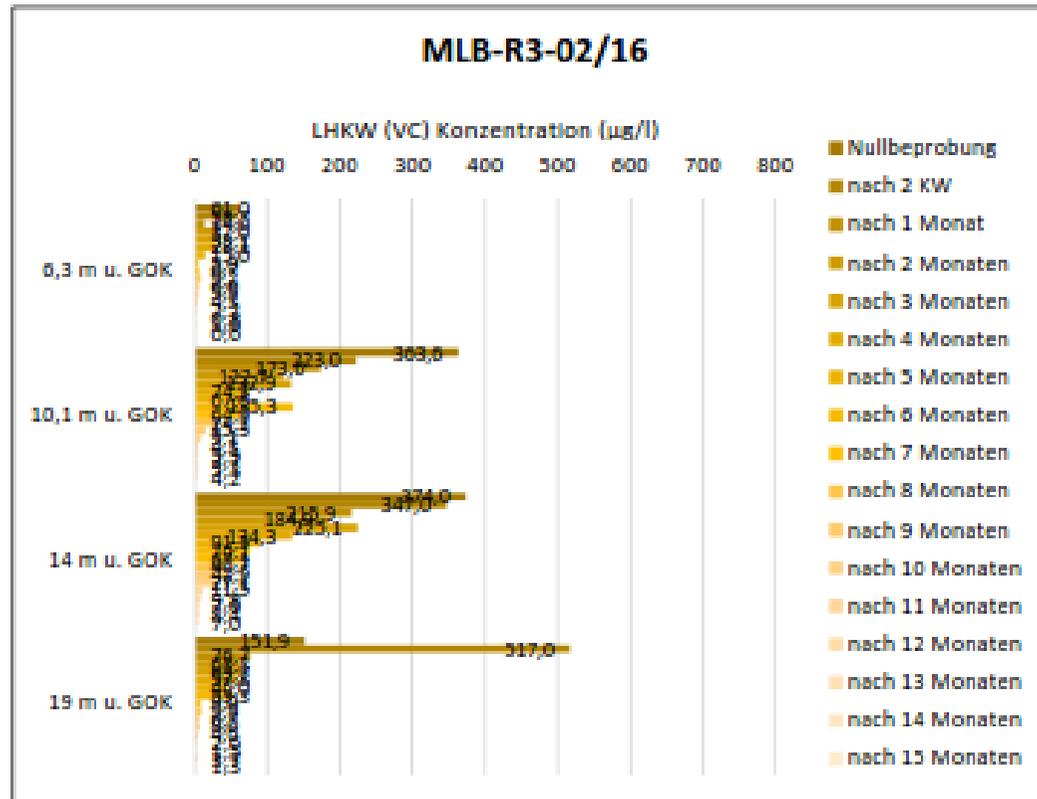
- Sanierungszielwert im Grundwasser < 20 µg/l VC
- Abgeleitete Versuchsziele für die Pilotsanierung:
 - Wieviel Sauerstoff wird zur Aufoxidation der Bodenmatrix in-situ benötigt?
 - Wie hoch ist der Radius der Wirksamkeit je Gaslanze?
 - Mit welcher Reaktionsgeschwindigkeit wird das VC abgebaut?
 - Gibt es geochemische Begleitprozesse (Ausfällungsprozesse), die bei der in-situ-Sanierung zu berücksichtigen sind?
 - Dimensionierung, Ablauf und Kosten der Full-Scale-Sanierung?
- Alle Versuchsfragen konnten hinreichend beantwortet werden.

DGI-Pilotsanierung – LCKW/VC (nach 12 Monaten)



Differenzierte Raum-Zeit-Entwicklung der LCKW/VC-Gehalte im Grundwasser im Testfeld

DGI-Pilotsanierung – LCKW/VC (nach 15 mon)



Zeitliche Entwicklung der LCKW/VC-Gehalte im Grundwasser im Testfeld (Detail MLB in 15 m DGI-Entfernung)

SZ2: Pilotsanierung – Erfolgsbewertungskriterien

Stoff	Einheit	Vor Beginn	Nach 3 Mon.	Nach 6 Mon.	Nach 12 Mon.	Tendenz
Cis-1.2-Dichlorethen	[µg/l]	2,9	4,7	5,6	5,0	Konstant < SZW
Chlorethen (VC)	[µg/l]	370	140	4,3	1,4	< SZW (=Abbau)
Sulfat	[mg/l]	110	320	460	340	erst Anstieg, dann abnehmend
Ammonium	[mg/l]	5,0	1,7	0,79	0,6	Niedriger (=Abbau)
Eisen (II)	[mg/l]	3,7	1,2	0,08	<0,05	Niedriger (=Abbau)
Methan	[mg/l]	0,14	<0,01	<0,01	<0,01	Null
Sauerstoff	[mg/l]	0,7	4,7	18,1	20	Deutlich aerobisiert

Kriterien zur Erfolgsbewertung, anhand der GW-Analysenwerte der MLB R3-03/16-3 (14 m)

DGI-Sanierung – Testfazit und nächste Schritte

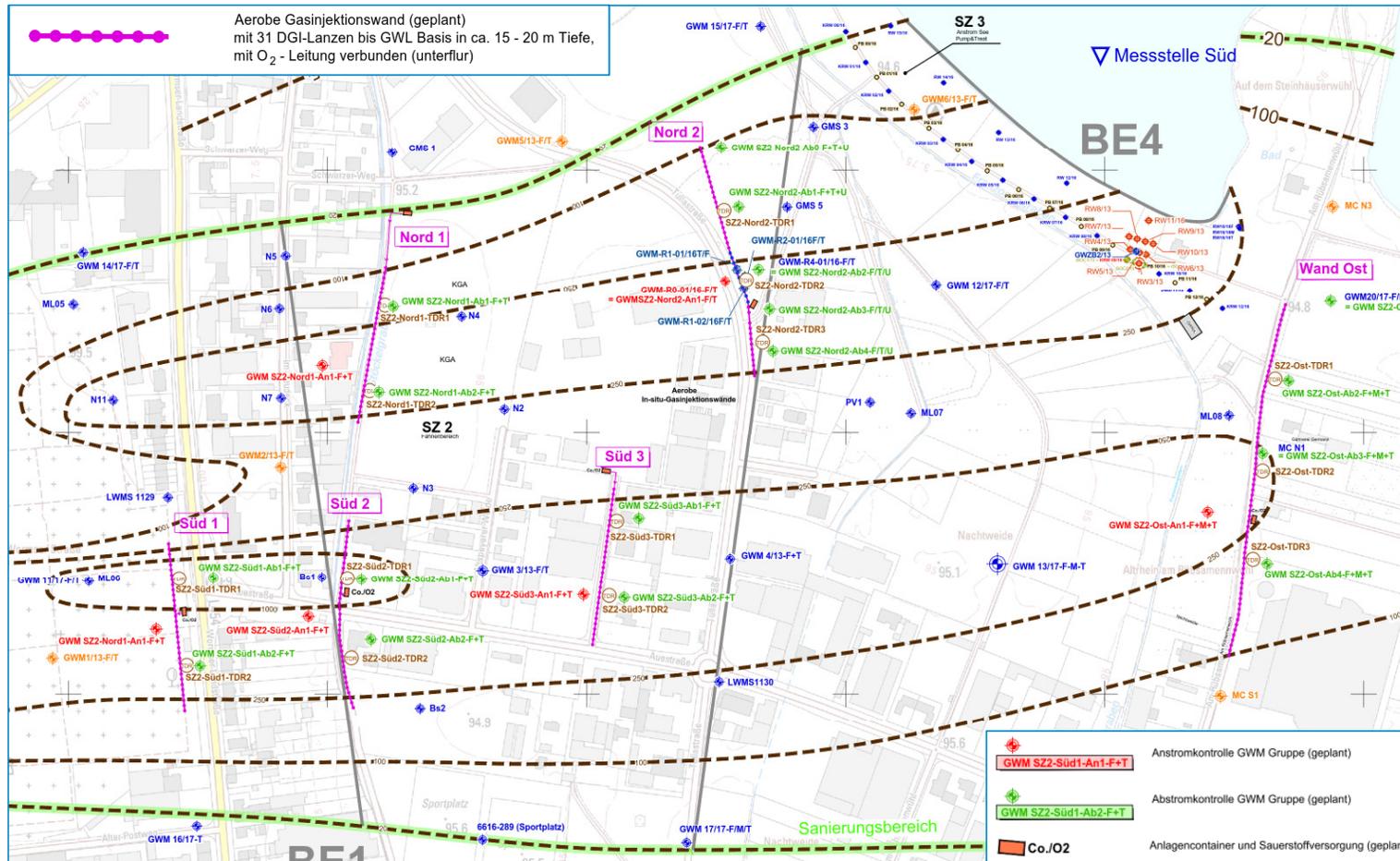
- Die 50 m lange Biooxwand benötigte 21,6 m³ Sauerstoff pro Tag, d. h. ca. 5.800 m³ pro Jahr
- **VC-Sanierungsziel 20 µg/l wurde/wird sicher unterschritten**
- VC-Sanierungserfolg wurde hinreichend nachgewiesen
- Pilotsanierung läuft weiter zur ständigen Überprüfung des Sanierungserfolgs
- Sanierungstechnologie sowie die Auswahl und zeitliche Abfolge der Überwachungsmethoden haben sich bewährt

- **Vorgesehen sind nun 6 DGI-Wände mit ca. 1200 m Länge bis ca. 25 m Tiefe im gesamten Fahnenbereich, differenzierter Betrieb über ca. 6-15 Jahre**

- Entwurfs- und Genehmigungsplanung (EGPL) läuft

DGI-Pilotsanierung nach 15 Monaten beendet, O₂-Injektion läuft weiter in diversen Testmodi, parallel läuft die Entwurfs- und Genehmigungsplanung

3.3) SZ2: Planung DGI-Gesamtsanierung läuft



6 Standorte für DGI-Wände auf 1200 m Länge, mit Anlagen, Leitungen und Kontrollmessstellen

4) Ausblick und Diskussion

zum weiteren Ablauf der integralen Sanierung des LCKW/Vinylchlorid-Grundwasserschadens

- Laufende Seewasserüberwachung mit monatlicher Vertikalbeprobung
- SZ3: Pump&Treat im Seeanstrom bis $< 20 \mu\text{g/l}$ LCKW/VC, bis ca. 2024
- SZ2: Planung, Bau und Betrieb der in-situ-Sanierung im kompletten Fahnenbereich ab 2018 bis ca. 2024/2033 bis $< 20 \mu\text{g/l}$ LCKW/VC
- SZ1-Süd: Sanierung mit 3 GW-Zirkulationsbrunnen ab 09/2017 für ca. 3 a
- Fortführung des komplexen Grundwassermonitorings mit 2 x 90 Proben
- Begleitung und Optimierung mit dem 3D-Grundwassermodell
- **Interagierender Sanierungsbetrieb gemäß der räumlichen und zeitlichen Abfolge in den Sanierungszonen als Treatment Train**

Vielen Dank
- Diskussion -



Dr. Karsten Menschner
CDM Smith Consult GmbH
Weißenfelser Str. 65H
04229 Leipzig



Dipl.-Geol. Thomas Reichardt
Siemens AG
SRE DT PM CP
Otto-Hahn-Ring 6
81739 München