

Sanierungsbergbau

Vorlesung



Sommersemester 2023

I. Einleitung

II. Grundlagen

- Bergrecht / Wasserrecht
- Bergwirtschaft
- Geologie / Lagerstätten
- Tagebauentwicklung
- Beispiel Sanierung Berzdorf

III. Braunkohlesanierung / Wiedernutzbarmachung

- Geotechnische Sicherheit
- Altlasten
- Rekultivierung / Renaturierung
- Herstellung eines ausgeglichenen Wasserhaushalts / Klimafragen
- Nachbergbauliche Folgenutzung
- Schlussfolgerungen

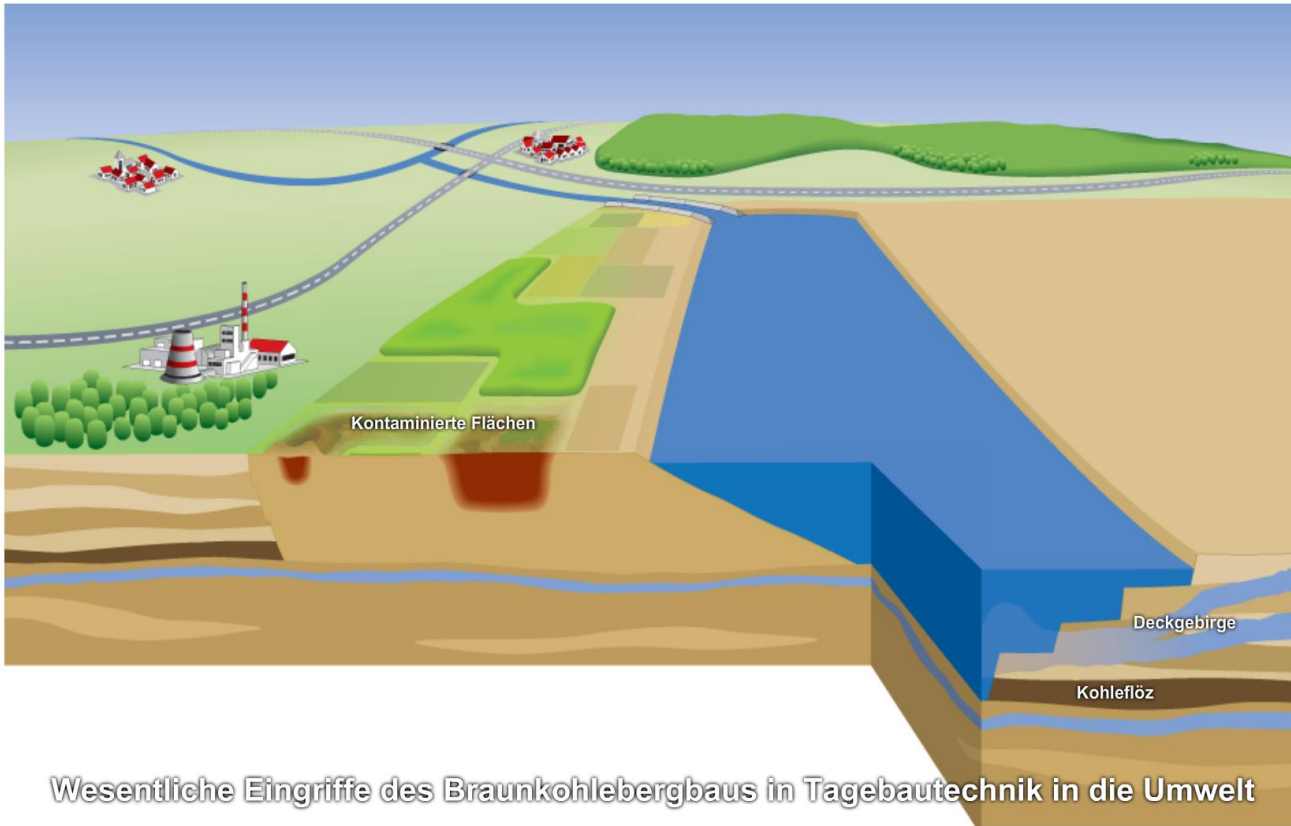
III. Nachbergbauliche Aufgaben im Untertagebergbau

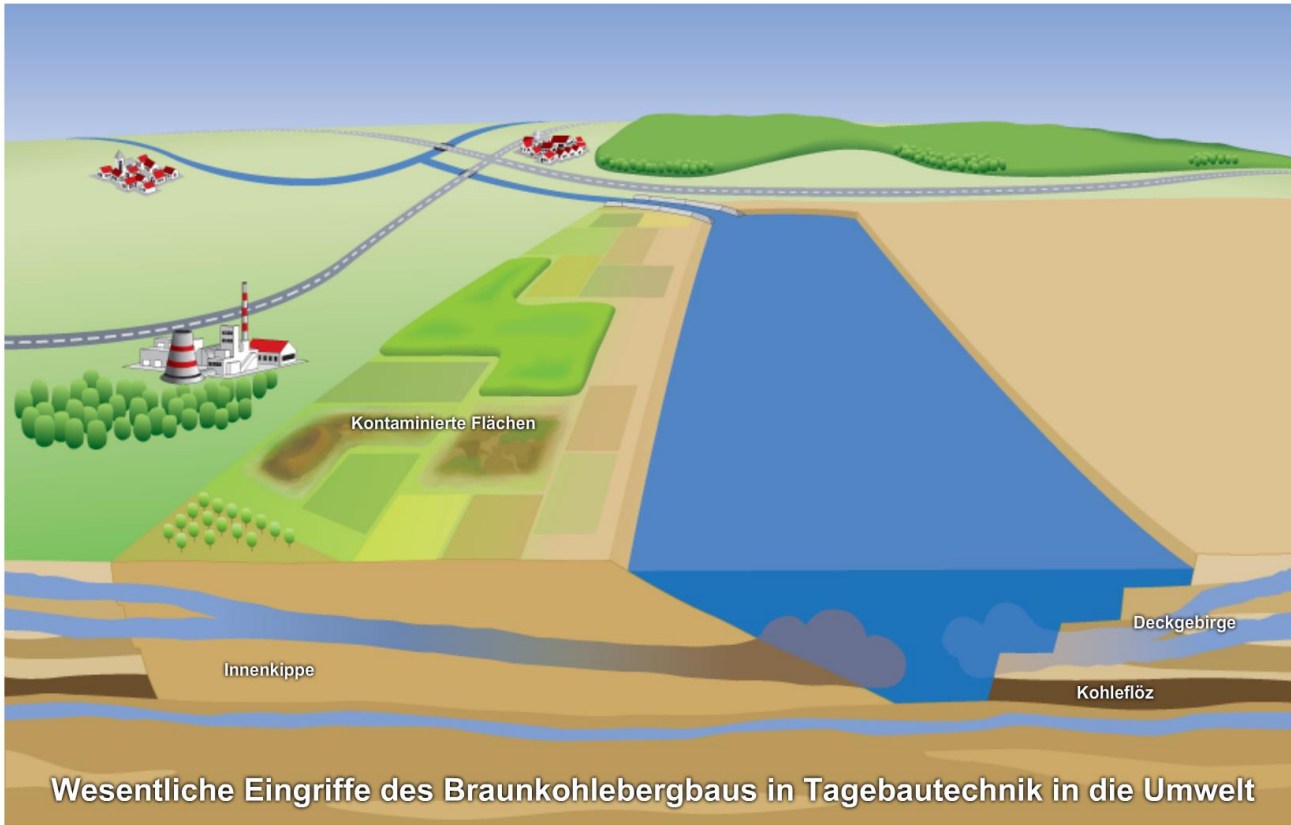
- Halden / Absetzanlagen
- Salzlaststeuerung Kalirevier Südharz
- Bergschäden / öffentliche Sicherheit
- Neuauffahrung Steinbachstollen
- Tagesbruch Staßfurt

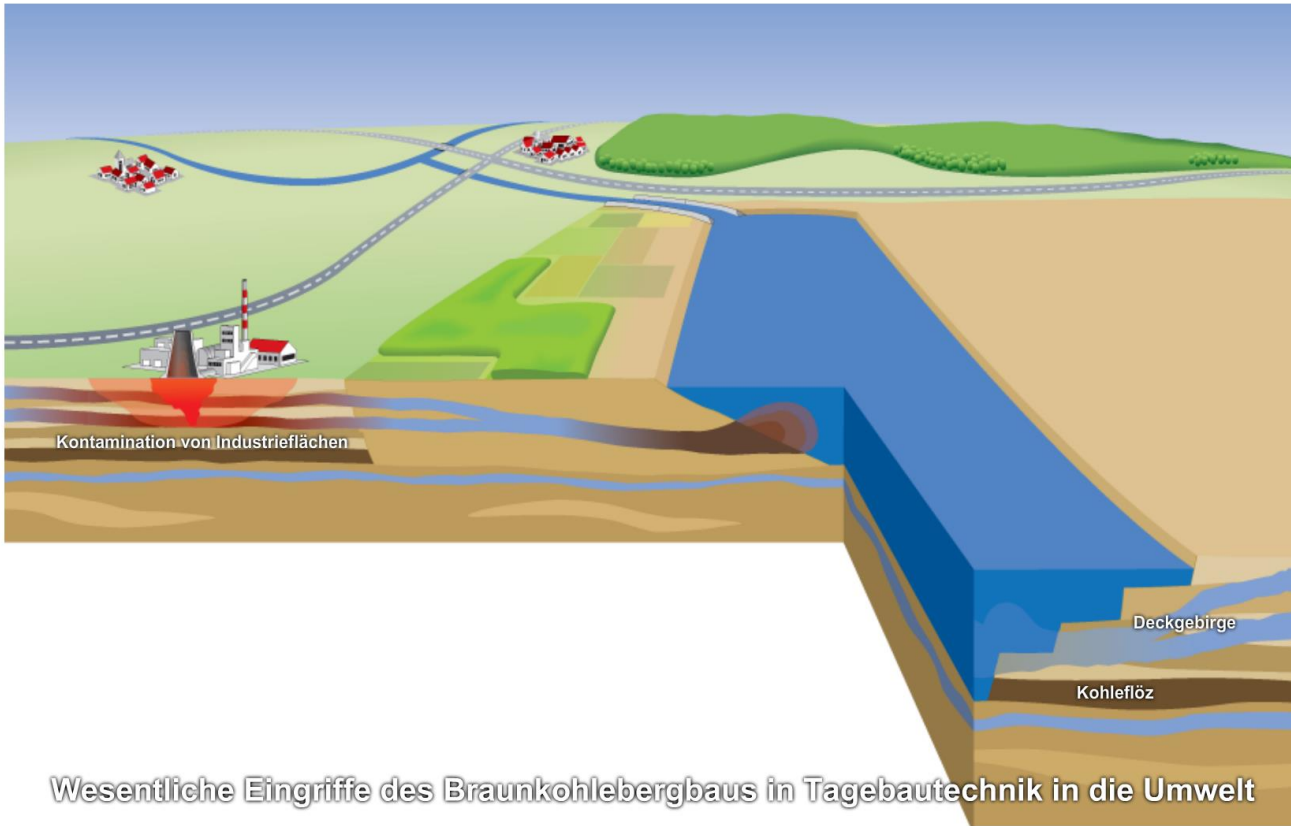
IV. Fazit

- Das Ende der Bergaufsicht?

Altlasten







Wesentliche Eingriffe des Braunkohlebergbaus in Tagebautechnik in die Umwelt

Ausgewählte Schadstoffe und deren Eigenschaften

Schadstoffe	Wirkungen/Eigenschaften
Mineralölkohlenwasserstoffe - MKW (Benzin, Diesel-, Heiz-, Schmieröle, Teere)	krebserregend, wassergefährdend Leichtflüchtige MKW: Ausgasung in die Atmosphäre Viskose MKW: Adsorption an Bodenmatrix Langkettige MKW: abnehmende Wasserlöslichkeit, biologisch abbaubar
Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe - PAK (aus unvollständiger Verbrennung von organischem Material)	krebserregend Geringe Wasser- und hohe Fettlöslichkeit (lipophil), hohe Persistenz, starke Adsorption an Bodenmatrix
Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol- BTEX	krebserregend auch gasförmige Emissionen, hohe Mobilität, stark lipophil
Phenole	krebserregend, hautätzend wasserlöslich (hydrophil), biologisch teils abbaubar
Polychlorierte Biphenyle - PCB	krebserregend, bei Verbrennung Dioxinbildung, stark lipophil, schwer wasserlöslich, biologisch schwer abbaubar
Schwermetalle	krebserregend, Speicherung im Organismus (mutagen), Mobilisierung bei niedrigen pH-Werten, Absorption im Boden

Grobeinteilung Sanierungsverfahren Ökologische Altlasten

Boden

Bodenbehandlung mit /ohne Bodenaushub
Bodenwäsche, thermische, pneumatische, chemische, mikrobiologische
Behandlungsverfahren

Sicherung der Altlast
durch Einkapselung, z.B. mit Oberflächenabdichtung, Dichtwände etc., ggf.
mit Bodenluft-Absaugung

Grundwasser

Wassergesättigte
Zone

Bodenbehandlung mit /ohne Bodenaushub
(siehe oben und unten)

Grundwasserbehandlung
meist verbunden mit Sicherung der Schadstofffahne durch Haltungsbrunnen

- **Fassung und Vor-Ort-Behandlung** - „pump and treat“
Ggf. physikalisch-chemische Vorbehandlung (Filtration, Fällung etc.)
Adsorption der Schadstoffe, z.B. mit Aktivkohle
Mikrobiologische Reinigung (Natural Attenuation (NA) – Verfahren)
Chemische Oxidation / Reduktion, etc.
- **In-Situ-Behandlung**
Physikalische, chemische, thermische und mikrobiologische
(NA) - Verfahren

Schwarze Pumpe

Industriestandort Schwarze Pumpe

Errichtet Mitte der 50er Jahre. Verarbeitung von ca. 40 Mio. t Rohbraunkohle/a zu Briketts, Koks, Gas und Elektroenergie mit ca. 14.000 Arbeitnehmern auf 12 km² Fläche.

3 Kraftwerke mit 1.062 MW elektr.
5.808 MW therm.

Deponie Terpe und Zerre
ca. 600 kt Teer, TÖF und KTR

Druckgaswerk
mit 24 Generatoren
max. 0,6 Mrd. Nm³/a

Entphenolung, Extraktion, Destillation

3 Brikettfabriken 10 Mio. t/a

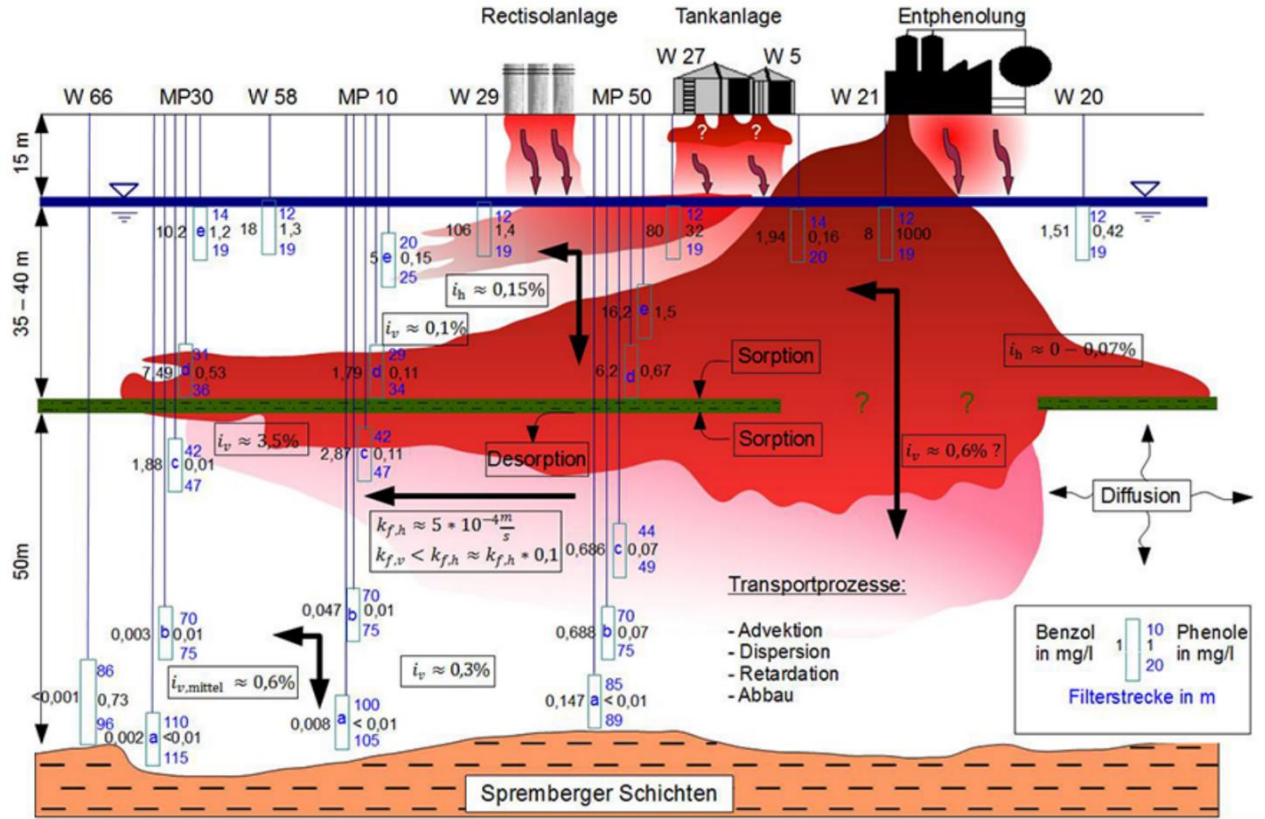
1 Kokereien mit 80 Öfen
1500 kt Koks/a



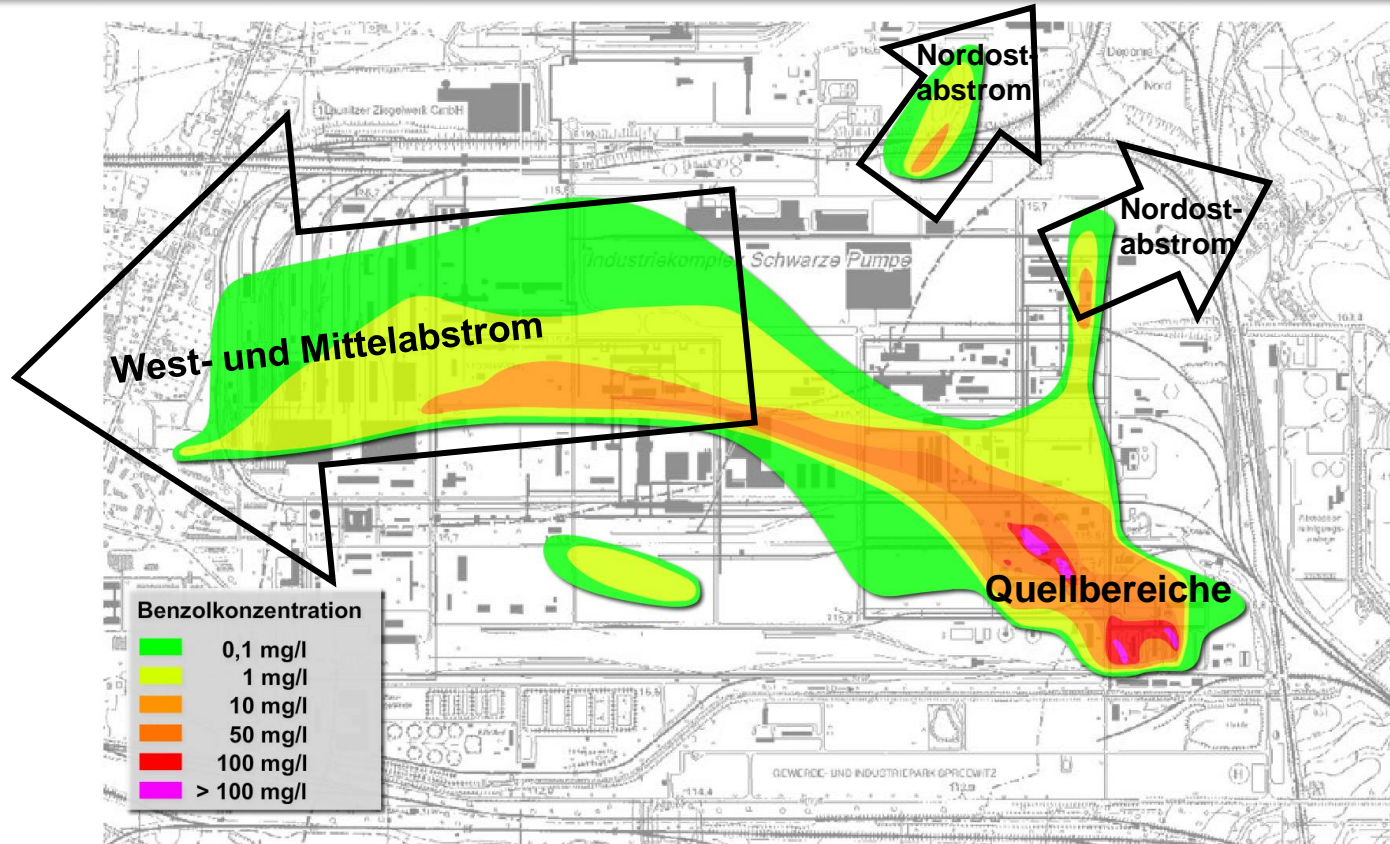
Sanierungsarbeiten am Standort Schwarze Pumpe



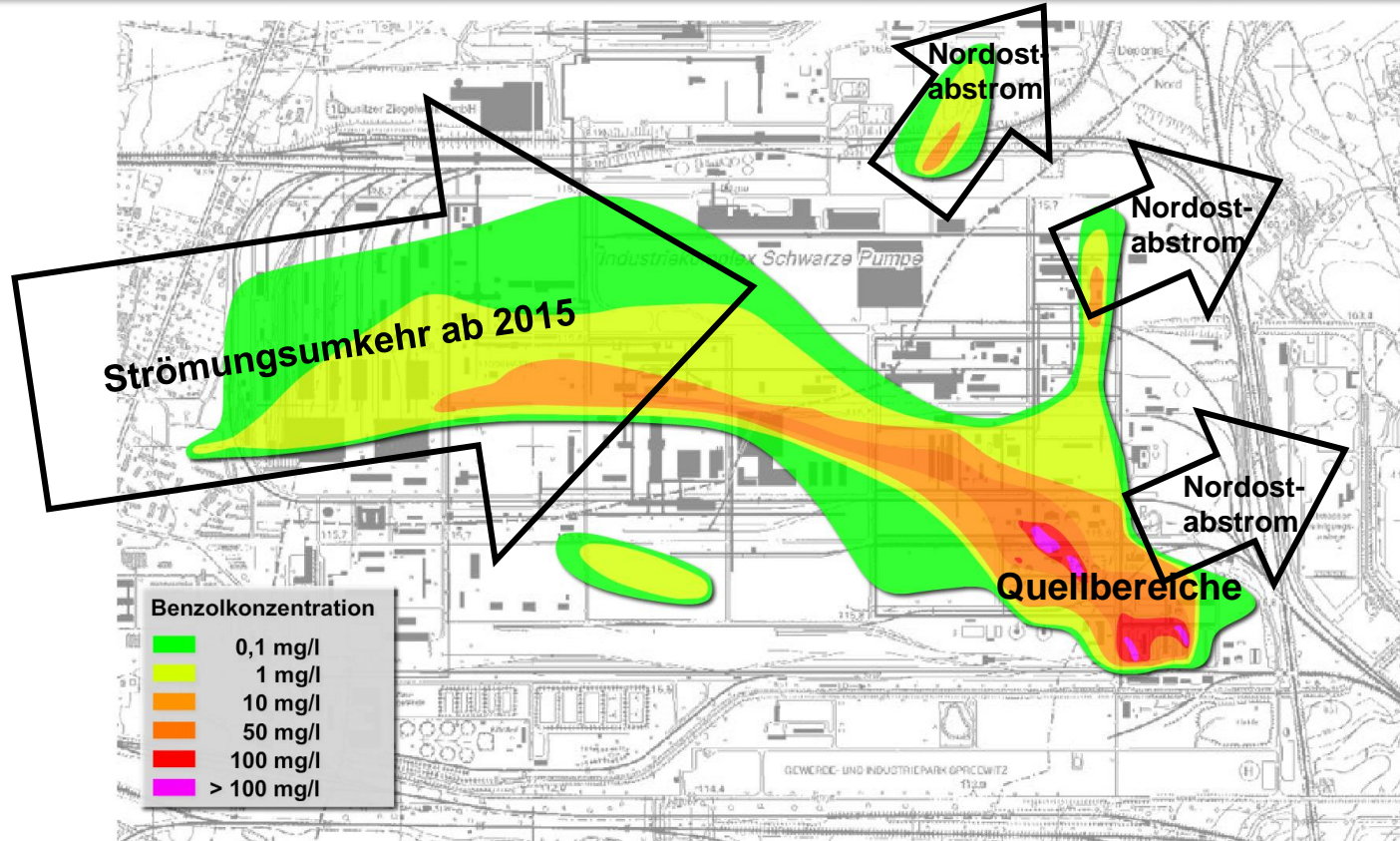
Vertikale Schadstoffverbreitung Schwarze Pumpe



Horizontale Schadstoffverbreitung Schwarze Pumpe 1999



Horizontale Schadstoffverbreitung Schwarze Pumpe 1999



Sanierungsarbeiten am Standort Schwarze Pumpe

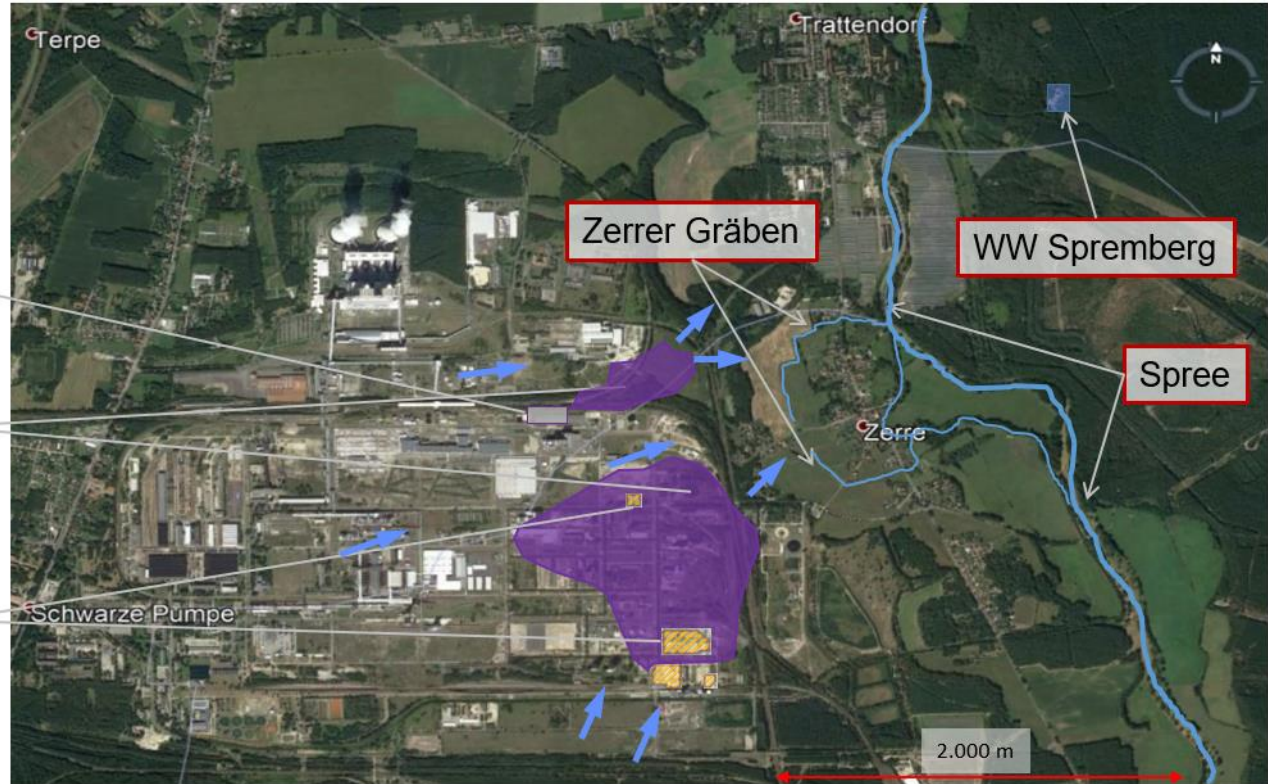
Nutzung der ABA II zur
Aufbereitung des
Grundwassers

Grundwassersanierung
mittels Pump&Treat

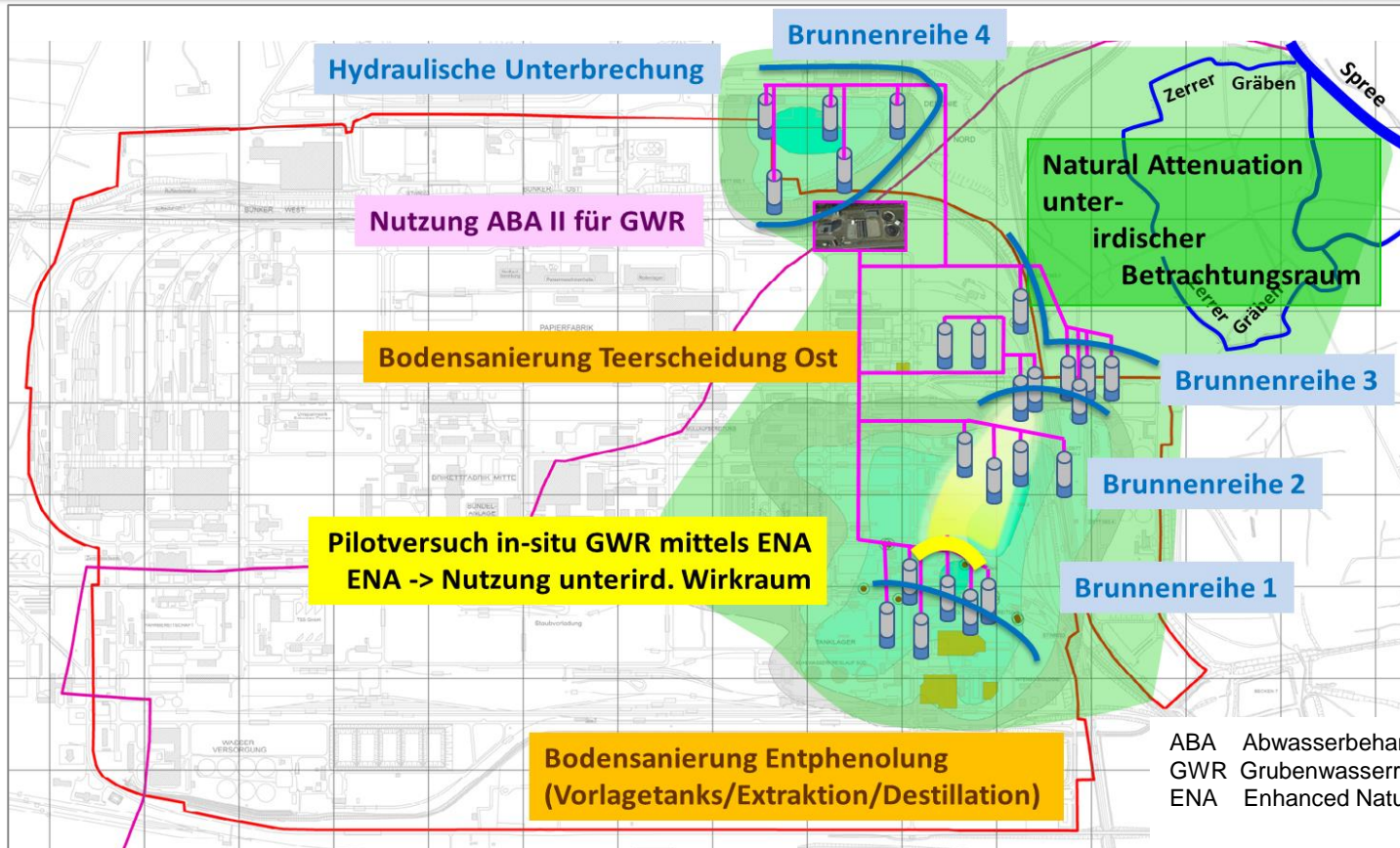
z.Z. ca. 190 m³/h

Quellstärkereduzierung
mittels
Bodenaustausch -
Teerscheidung Ost,
Entphenolung

ABA...Abwasserbehandlungsanlage

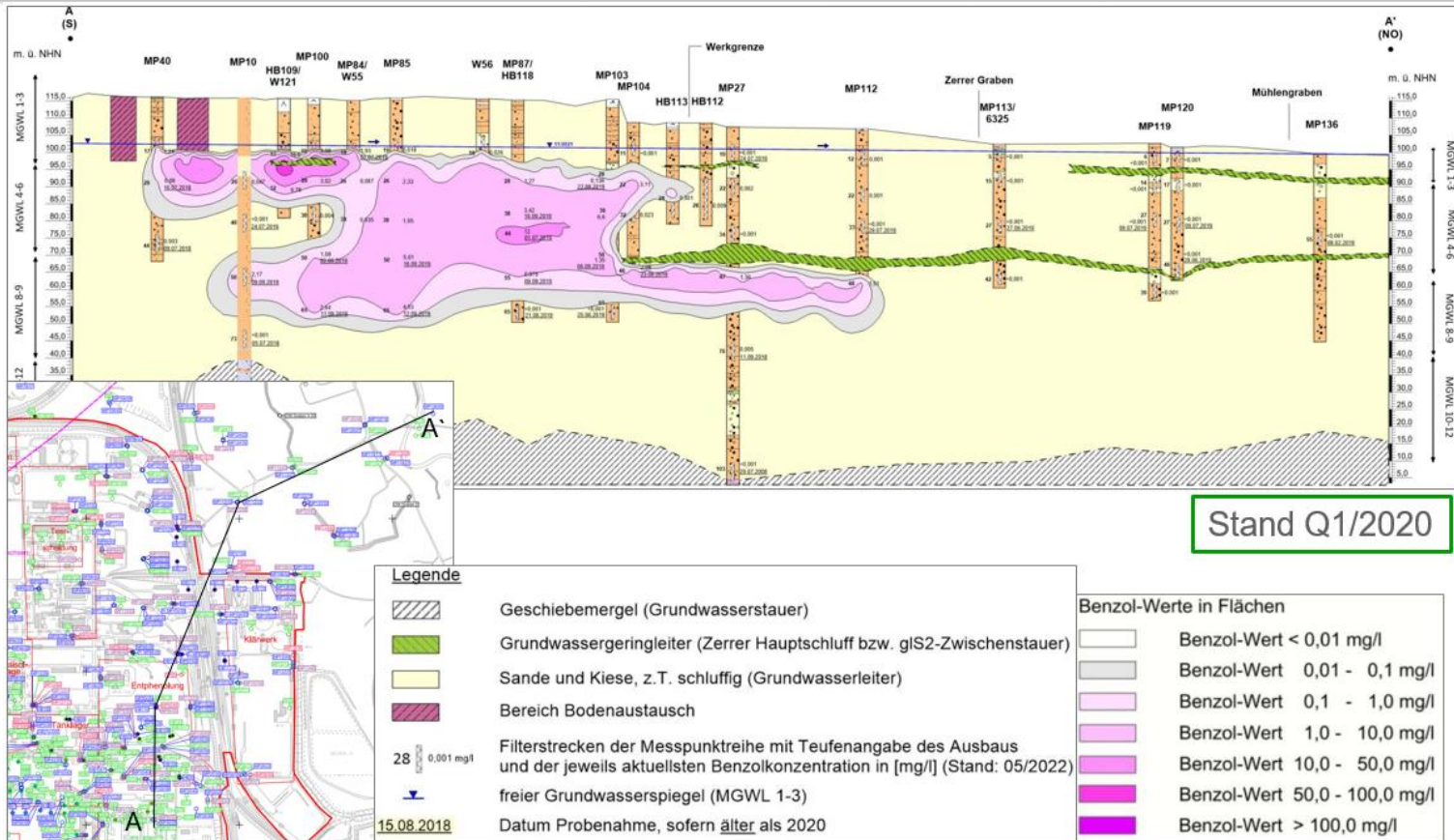


Sanierungsarbeiten am Standort Schwarze Pumpe



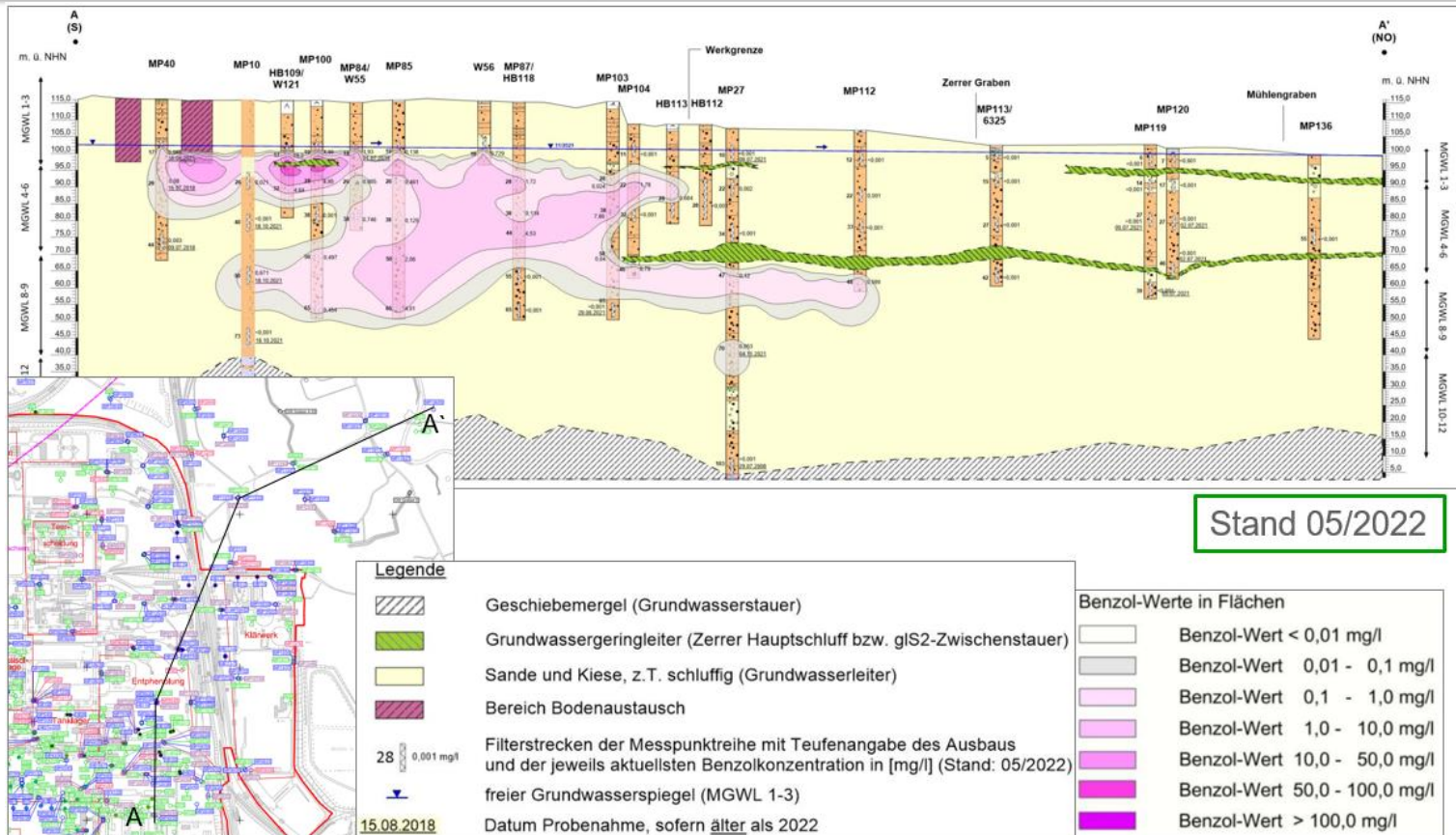
ABWASSERBEHANDLUNGSANLAGE
GRUBENWASSERREINIGUNG
ENHANCED NATURAL ATTENUATION ZUM IN-SITU BIOABBAU

Grundwassersanierung am Standort Schwarze Pumpe

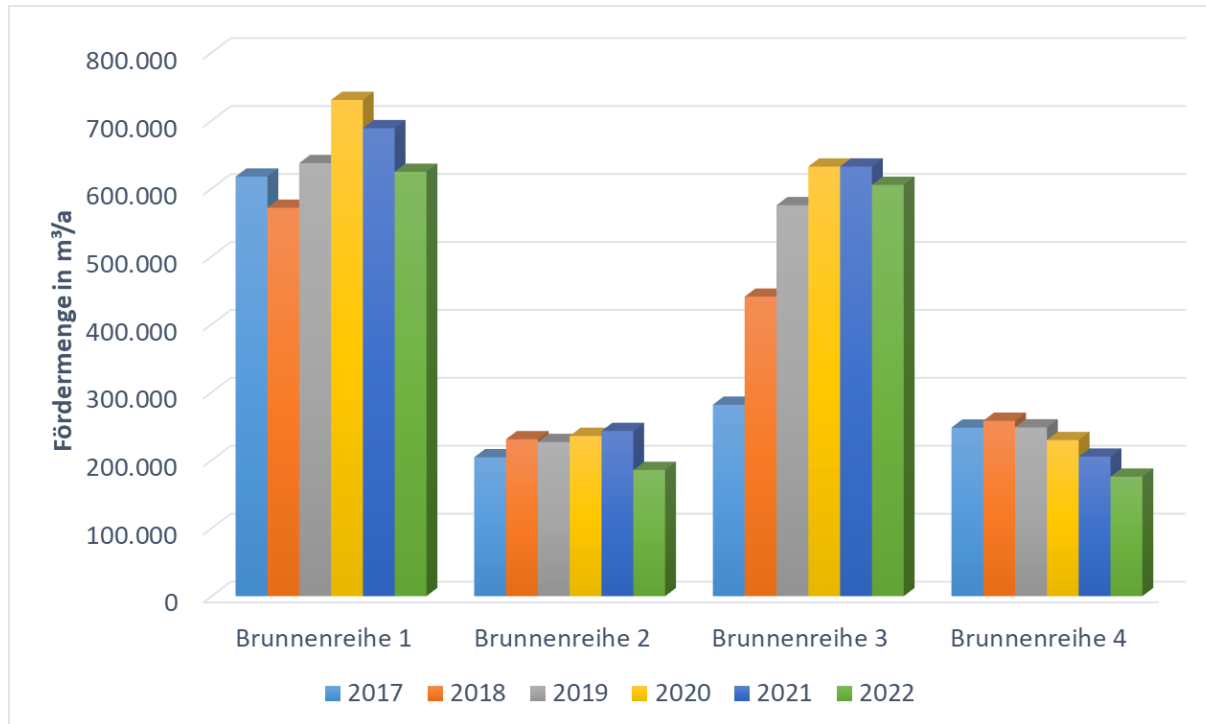


Stand Q1/2020

Grundwassersanierung am Standort Schwarze Pumpe

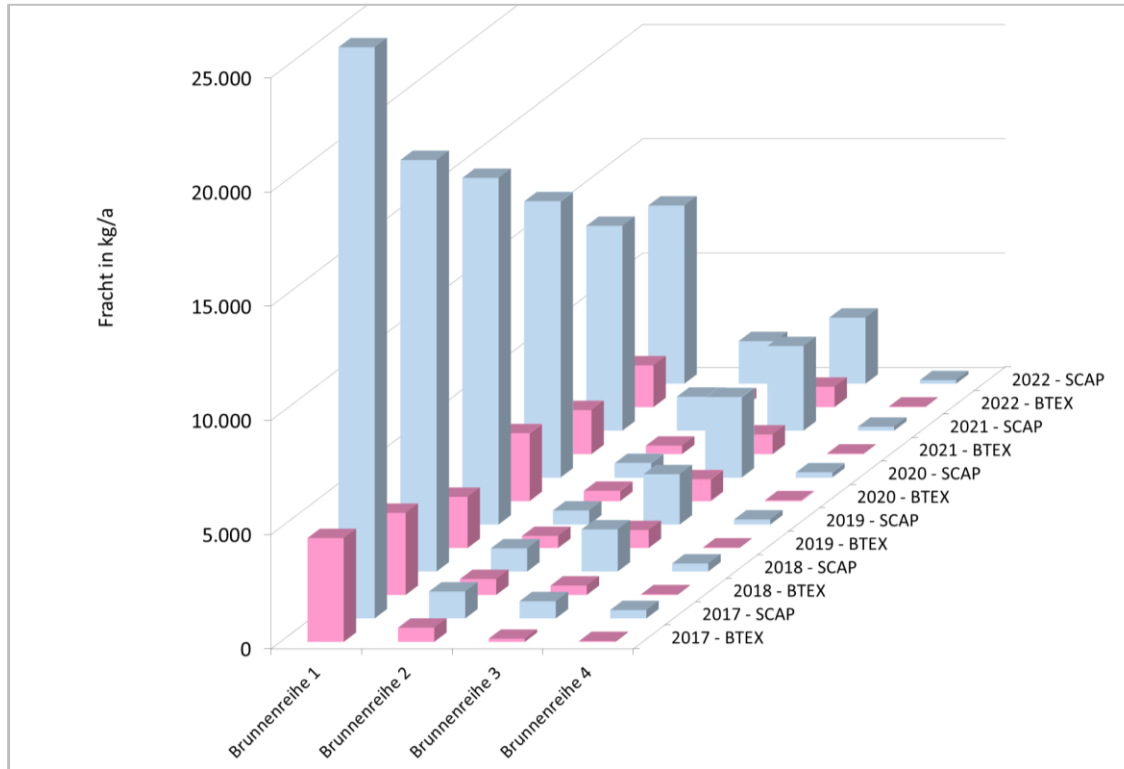


Grundwassersanierung am Standort Schwarze Pumpe



Darstellung der Fördermengen für die Betriebsjahre 2017 bis 2022 der jeweiligen Brunnenreihen

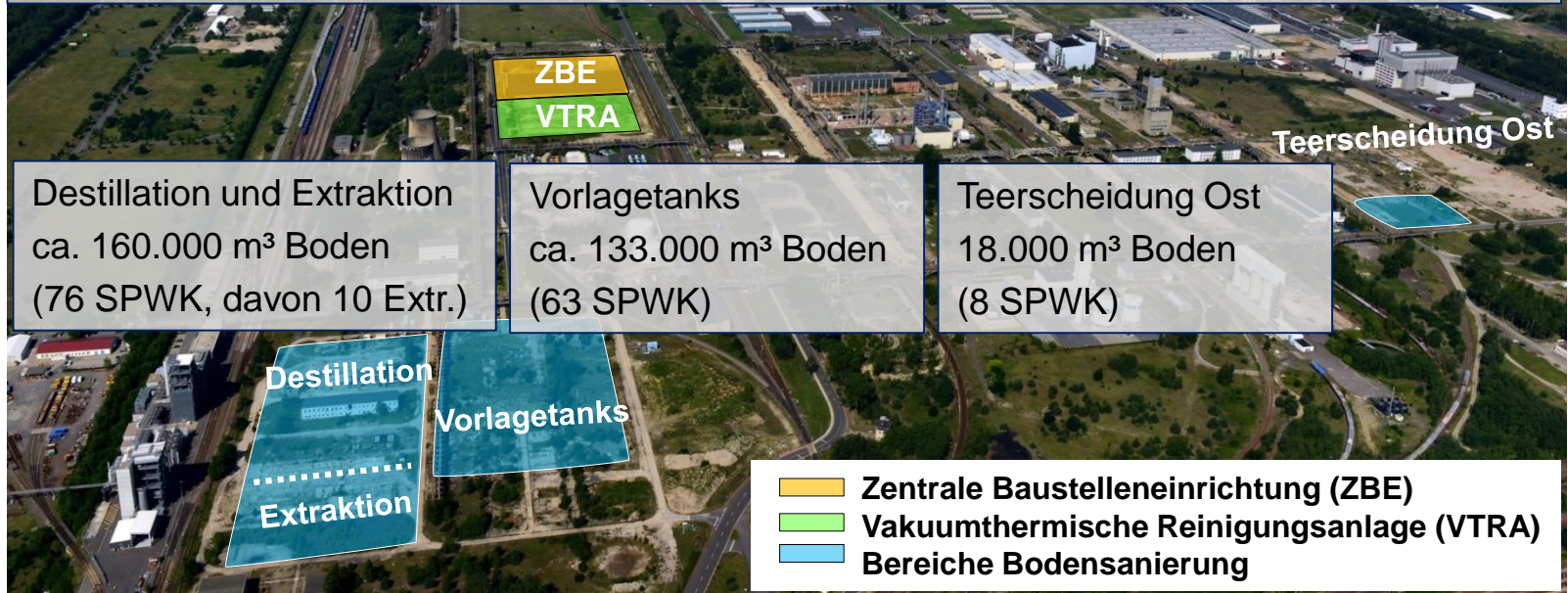
Grundwassersanierung am Standort Schwarze Pumpe



Darstellung der jährlichen Frachten der BTEX und kurzkettingen Alkylphenole (SCAP), die durch die jeweiligen Brunnenreihen in den Betriebsjahren 2017 bis 2022 gefördert worden sind

Bodensanierung am Standort Schwarze Pumpe

- Ziel ist Quellstärkenreduzierung mittels Bodenaustausch (QMBA)
- Bodenaustausch von ca. 311.000 m³, 147 SWK bis in 14 m Tiefe
- Reinigung on site in VTRA ca. 286.000 t kontaminierter Boden
- Ende des Tiefenaushubs 12/2022



2000-2006 – Feststellung der Hauptschadherde (Teerscheidung und Entphenolung)

- Festlegung und Durchführung planungsvorbereitender Untersuchungen
→ für den vollständigen Austrag der BTEX ca. 300 Jahre nötig

2006-2010 – Variantenvergleich verschiedener Sanierungs-/ Reinigungsverfahren

- Vorzugsvariante: Thermische Behandlung/Reinigung von Boden im Hauptquellbereich
- 1. Probereinigung in Rositz → Verfahren der vakuumthermischen Reinigung geeignet

2010-2017 – Planungs- und Genehmigungsphase + Errichtung VTRA

- Probesanierung zum Bodenaushub mittels Spundwandkästen (Testfeld 1 Spundwandkasten 49) zur Gewinnung praktischer Erkenntnisse zum Bodenaushub mittels Spundwandkästen mit 2. Probereinigung in Rositz
- Planung/ Vorbereitung der Hauptmaßnahme
 - Baufeldvorbereitung und Errichtung der Vakuumthermischen Reinigungsanlage (VTRA)

2018-2023 – Realisierung

- Vorlaufende Bodenluftabsaugung im Bereich Entphenolung (Arbeitsschutz)
- Aushub und Reinigung der kontaminierten Böden und Rückverfüllung der Aushubbereiche mit gereinigtem Boden
- Haupt- und periphere Maßnahmen zur QMBA (z.B. Entsorgung Unterflurabbruch kont. Bausubstanz)

Vakuumthermische Reinigungsanlage (VTRA) Schwarze Pumpe



Realisierung: 2018 – 2023

- 31.12.2022: Abschluss der vakuumthermischen Bodenreinigung in der VTRA
- insgesamt **285.584 t Boden gereinigt**, entspricht 99,28 % der geplanten Reinigungstonnage: 286.100 t
 - 283.384 t vakuumthermisch behandelte Bodentonnage
 - 2.200 t separierte Störstoff- und Bauschuttanteile die nachfolgend fachgerecht entsorgt wurden
- **147 bearbeitete Spundwandkästen**
 - 10x11m bis 14 Aushubtiefe in 6 Aushubbereichen
- **aktuell Durchführung von Restarbeiten**
 - Wiederverfüllung Arbeitsebenen, Ziehen der Primärspundwände, Rückbau von Restfundamenten, Rückbau Baustelleneinrichtung und Beräumung,
 - diese werden im ersten Halbjahr 2023, parallel zur Außerbetriebnahme der VTRA, abgeschlossen sein

Erzielte Abreinigungsgrade der VTRA an kontaminierten Böden für die Leitparameter

Parameter [mg/kg]	Behördliche Vorgabe	Ergebnisse
Σ BTEX	99 %	99,84 %
KW C10-C40	95 %	97,09 %
Σ PAK	90 %	90,90 %
Σ Alkylphenole	90 %	98,56 %

Aushubbereich Entphenolung, Spundwandkästen (10 x 11 m)



Gesamtmaßnahme Gereinigte Mengen (Stand 02/2023)

Boden kontam. ca. 285.584 t

Σ BTEX abgetrennt > 180 t

Weitere
Schadstoffe > 500 t

Luftbild August 2021



Großkayna

Tagebaurestloch Großkayna – Runstedter See

Stand Verspülung Leunawerke 1979



Einleitmenge Fremdflutung Saale:

53 Mio. m³

Wasserfläche:

233 ha

Wasserstand aktuell:

+ 96,65 m NHN

Wassertiefe max.:

33 m

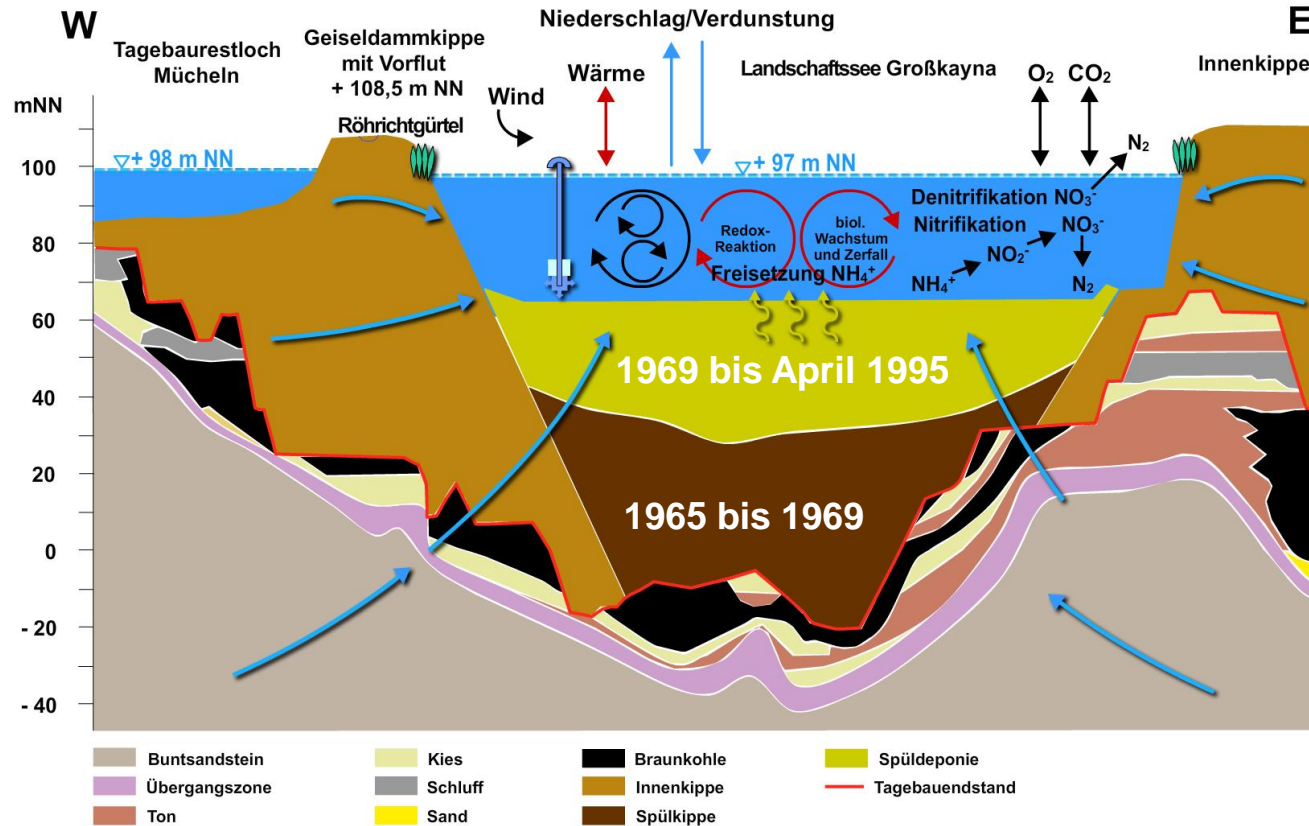
Zwischen 1969 und 1995 wurden ca. 24,5 Mio. m³ industrielle Abfälle (u. a. aus Düngemittelherstellung) und Kraftwerksaschen in das Restloch eingespült. Hauptproblemstoff im Fluid der Spüldeponie Ammonium (NH₄)

Stoff	Masse in den Fluiden der Spüldeponie	Masse in den Feststoffen der Spüldeponie
Ammonium	ca. 6 160 t	ca. 24 000 t bis ca. 38 000 t
Sulfid	ca. 550 t	ca. 24 300 t
Cyanid, gesamt	ca. 37,4 t	n. n.
Cyanid, leicht freisetzbar	ca. 0,15 t	n. n.
Phenole/Kresole	ca. 34,5 t (wasserdampfll. Phenole)	ca. 9 360 t
BTEX-Aromaten	ca. 0,59 t	ca. 760 t
aliphatische Kohlenwasserstoffe	< 2 t	ca. 1 500 t
Adsorbierbare organisch gebundene Halogene (AOX)	ca. 0,38 t	ca. 1 300 t
Pyridin	ca. 0,35 t	ca. 370 t
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe nach LAWA ohne Naphthalin	n. n.	ca. 280 t



2016

Schnitt Tagebau Großkayna (1906 bis 1965)



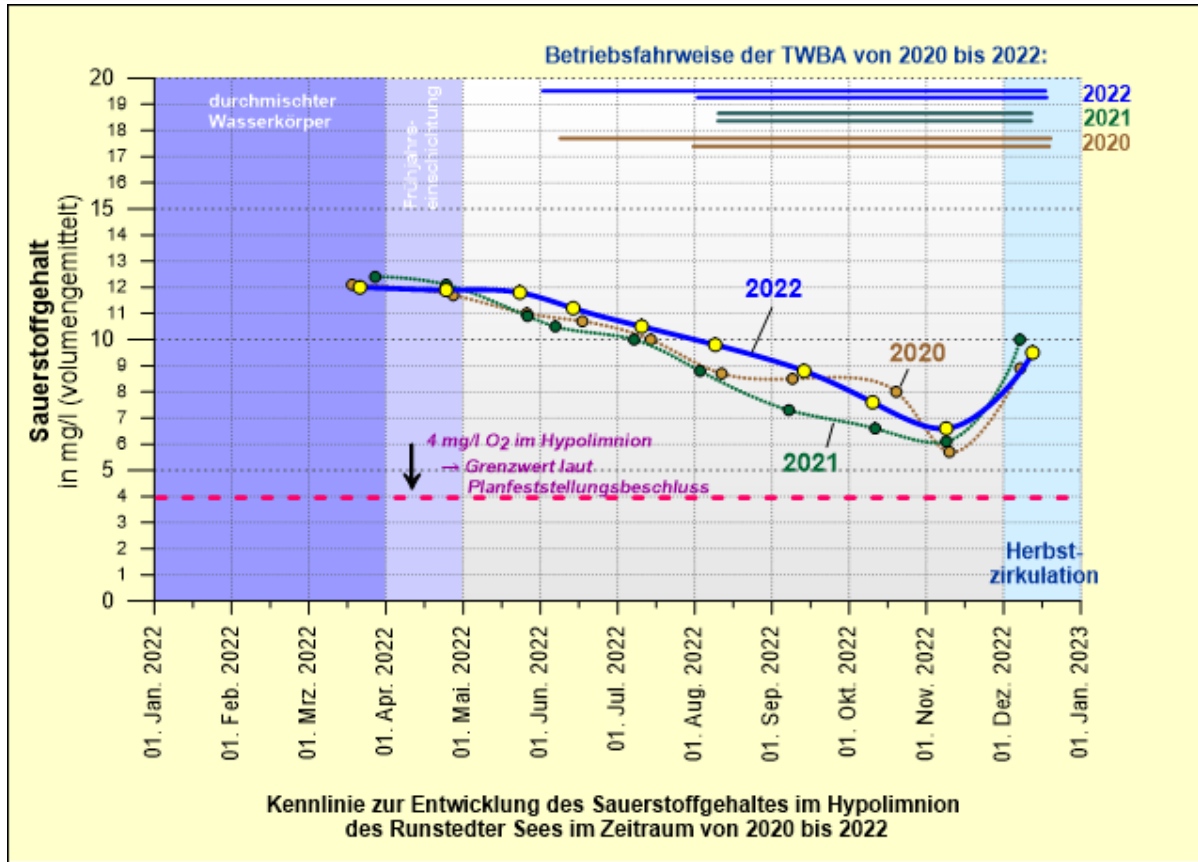
Darstellung des prognostizierten/geplanten Schadstoffabbaus ab 2002 im Vergleich zur im Monitoring herausgearbeiteten Ist-Situation

Phasen	Sanierungsrahmenkonzept 1999	KORA-Vorhaben und Hydrogeologisches Modell 2008	Hydrogeologisches Modell 2011/12	Ergebnisse Monitoring 2002 - 2020
1. Phase: Übergangsphase	Restlochflutung instationäre Grundwasserhydraulik			
	bis 2002	2002 - 2010	2002 - 2010	2002 - 2004
Restlochflutung Großkayna, Geiseltalsee, Wiederanstieg	– keine Angaben	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt 200-300 m³/d – GW-Zuflüsse Spüldeponie 0 - 30 m³/d – Ammonium-Eintrag 10 bis 20 kg/d 	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt 200-300 m³/d – GW-Zuflüsse Spüldeponie 0 - 30 m³/d – Ammonium-Eintrag 10 bis 20 kg/d 	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt 200-300 m³/d – GW-Zuflüsse Spüldeponie 0 m³/d – Ammonium-Eintrag 0 kg/d
2. Phase: Anstiegsphase	GW-Wiederanstieg Entwicklung bis zum Erreichen der stationären Grundwasserhydraulik			
	2002 – 2022	2010 – 2050	2010 – 2029	2005 – 2015 2005 Beginn Grundwasser-konvektion in den See
	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt bis max. 1 320 m³/d – GW-Zufluss Spüldeponie 30 - 290 m³/d – Ammonium-Eintrag bis 104 kg/d 	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt 300 bis max. 800 m³/d – GW-Zuflüsse Spüldeponie 80 bis 100 m³/d – Ammonium-Eintrag 20 bis 60 kg/d NH₄⁺ 	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt 300 bis max. 1 040 m³/d – GW-Zuflüsse Spüldeponie 30 bis 166 m³/d – Ammonium-Eintrag 20 bis 60 kg/d NH₄⁺ 	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt 300 bis max. 1 040 m³/d – GW-Zuflüsse Spüldeponie 0 bis 166 m³/d – Ammonium-Eintrag 0 bis 60 kg/d
3. Phase: Rückgangphase	stationäre Grundwasserhydraulik			
	2022 – 2200/2300	2050 - 2500	2029 - 2500	2015 - 2400
	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt 1 320 m³/d – GW-Zuflüsse Spüldeponie 290 m³/d – Langsam abnehmende Stofffrachten beginnend mit 104 kg/d NH₄⁺ bis zur Erschöpfung der Quelle 200 – 300 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt 800 m³/d – GW-Zuflüsse Spüldeponie 100 m³/d – Langsam abnehmende Stofffrachten beginnend mit 60 kg/d bis zu < 15 kg/d NH₄⁺ nach 500 Jahren 	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt 1 040 m³/d – GW-Zuflüsse Spüldeponie 120 m³/d – Langsam abnehmende Stofffrachten beginnend mit 60 kg/d bis zu < 15 kg/d NH₄⁺ nach 500 Jahren 	<ul style="list-style-type: none"> – GW-Zuflüsse gesamt 1 040 m³/d – GW-Zuflüsse Spüldeponie 120 m³/d – Langsam abnehmende Stofffrachten beginnend mit 60 kg/d bis zu < 15 kg/d NH₄⁺ nach 400 Jahren

Tagebaurestloch Großkayna - Sachstand Tiefenwasserbelüftungsanlage



Ergebnisse ereignisgesteuerte „bedarfsgerechte“ Anlagenfahrweise



Bearbeitungsübersicht Modellierung und Kosten

1. Fortschreibung HGM (GRM GEIS)

2021

2023

Zeitstrahl Modellbearbeitung

2. Modelllupe TRL Großkayna (MLP GRKY)

09/2022

2026

250 - 300 T€

3. Oberflächenwassermodell „Runstedter See“

2024

2026/27

1. Grundlage - Aktualisierung Großraummodell Geiseltal (GW- Strömung/Hydrodynamik)
2. Aktualisierung integrierte Modelllupe TRL Großkayna (Schadstoff-/Transportmodellierung)
3. Oberflächenwassermodell (Wasserhaushalt, Stoffaustrag, Hydrochemie, Gewässerökologie) einschließlich Modellkopplung sowie Erstellung limnologisches Prognosegutachten

Erstellung gesicherter hydrochemischer Prognoseberechnungen zum Sanierungsfortschritt der Spüldeponie Modellbearbeitung bis Ende 2026/Anfang 2027

Zwickau

Standort Kokerei Schedewitz



- Stilllegung der Kokerei 1992
- seit ca. 1860 durchgehende Kokserzeugung am Standort
- seit 1991 Untersuchungen der durch den Betrieb verursachten Kontaminationen
- seit 1994 umfangreiches Grundwassermonitoring
- 1995 Vorlage des Sanierungskonzeptes
- 1995 Erstellung des B-Planes durch die Stadt Zwickau unter Beachtung des Sanierungskonzeptes

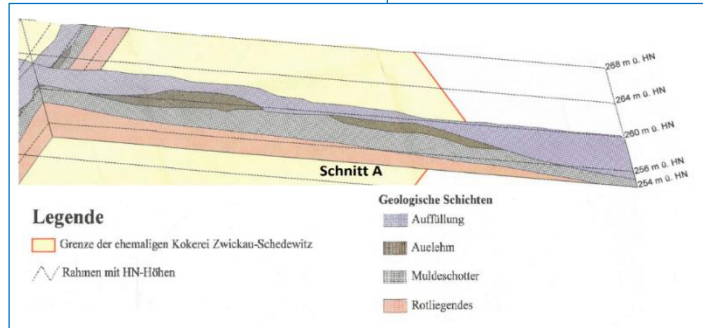
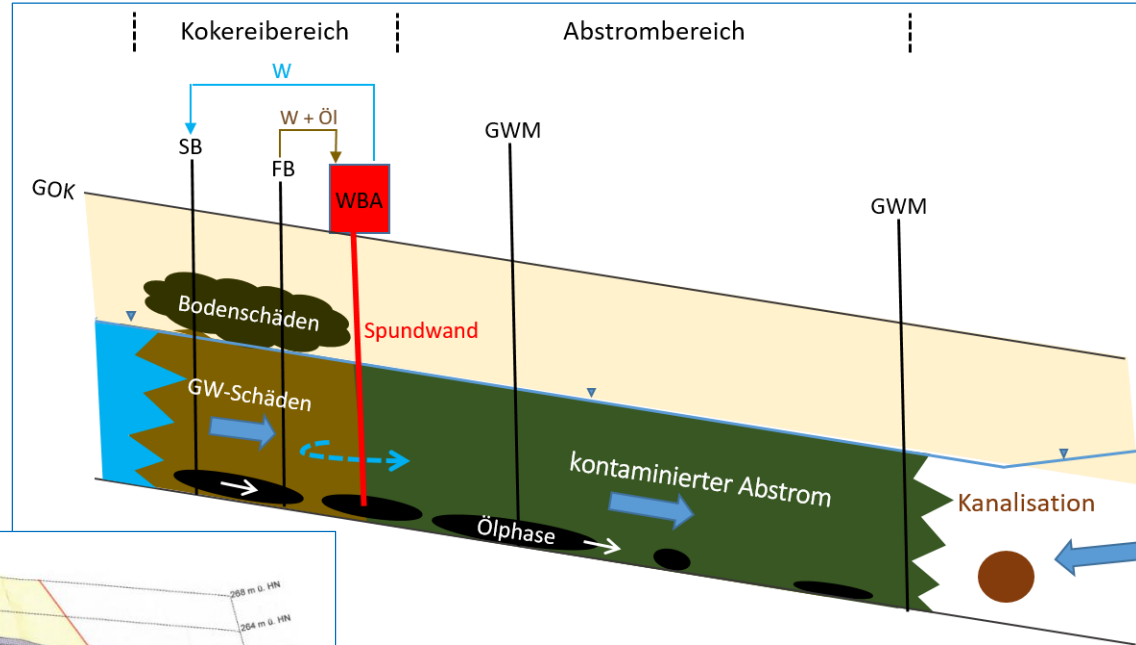
Grundwasserreinigungsanlage (GWR) Schedewitz



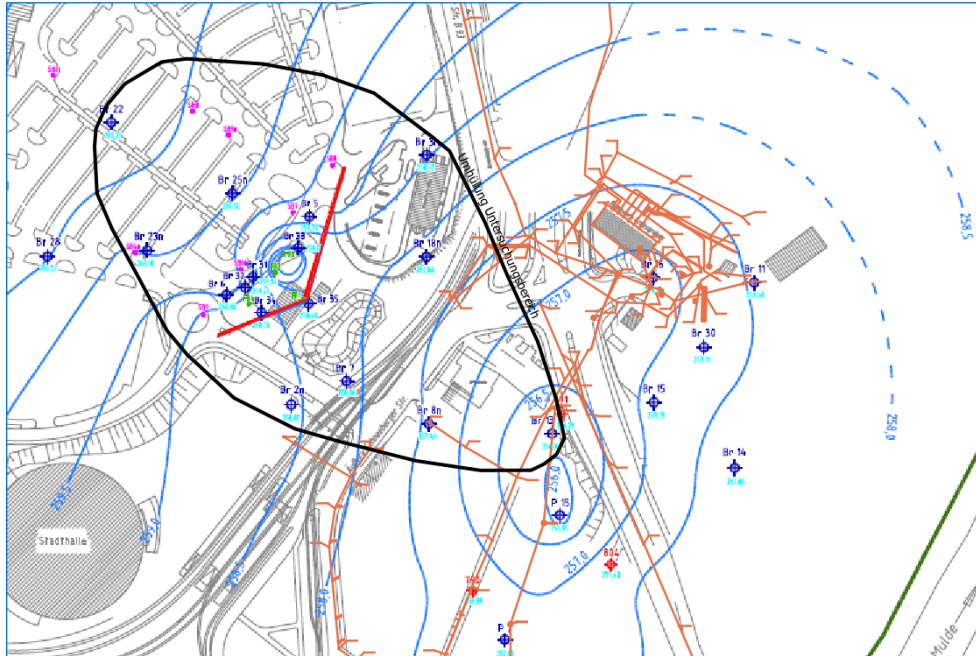
- Grundwasser-Sanierung an einem ehemaligen Kokereistandort
- Rahmengutachter seit 2017, 2018 - Risikoanalyse
- Detailuntersuchung (DU) mit 9 neuen GWM
- Fortschreibung der Sanierungskonzeption

Grundwasserreinigungsanlage (GWRA) Schedewitz

Modellschnitt
Kokerei Schedewitz
bis Abstrom



Grundwasserreinigungsanlage (GWRA) Schedewitz



Hintergrund:

Isohypsenkarte 02.06.17

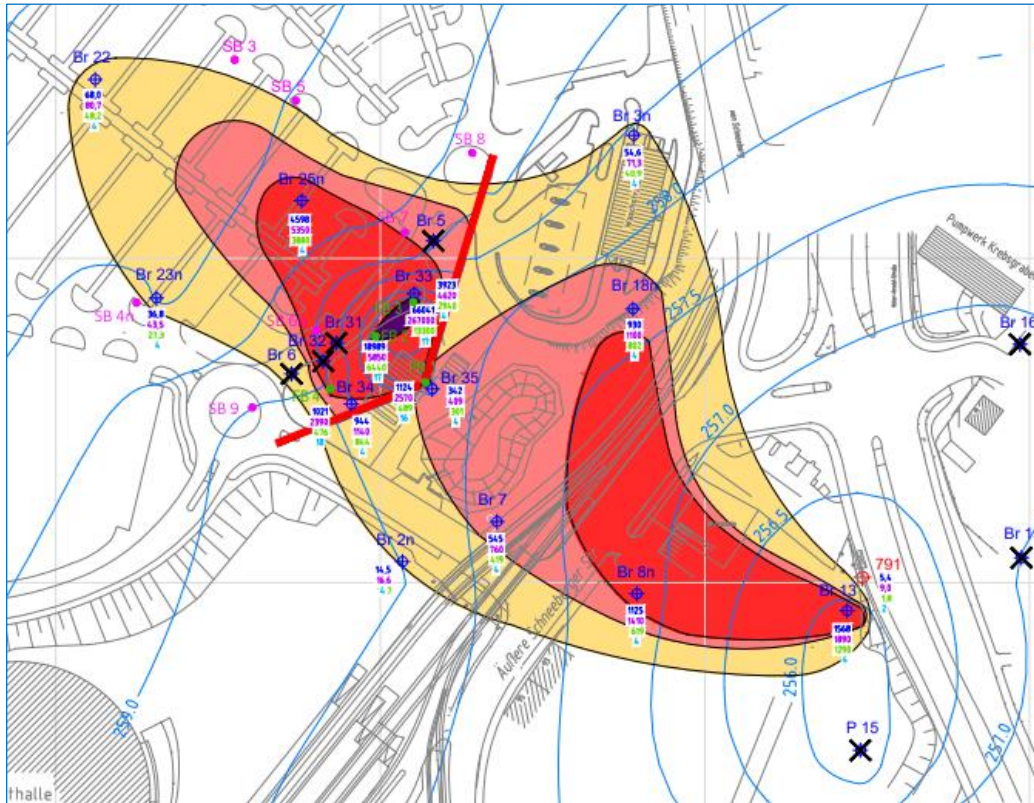
— Stadtwerke

— Spundwand Kokerei

— Umhüllung Untersuchungsbereich

Situation Hydrogeologie und GW-Hydraulik

- Schedewitzer Senke und Drainage (städtisches Kanalisationsnetz)
→ „natürliche“ hydraulische Sicherung der GW-Schäden im Abstrom
- Wirkung der Randbedingung Mulde scheint vorläufig nicht von Belang

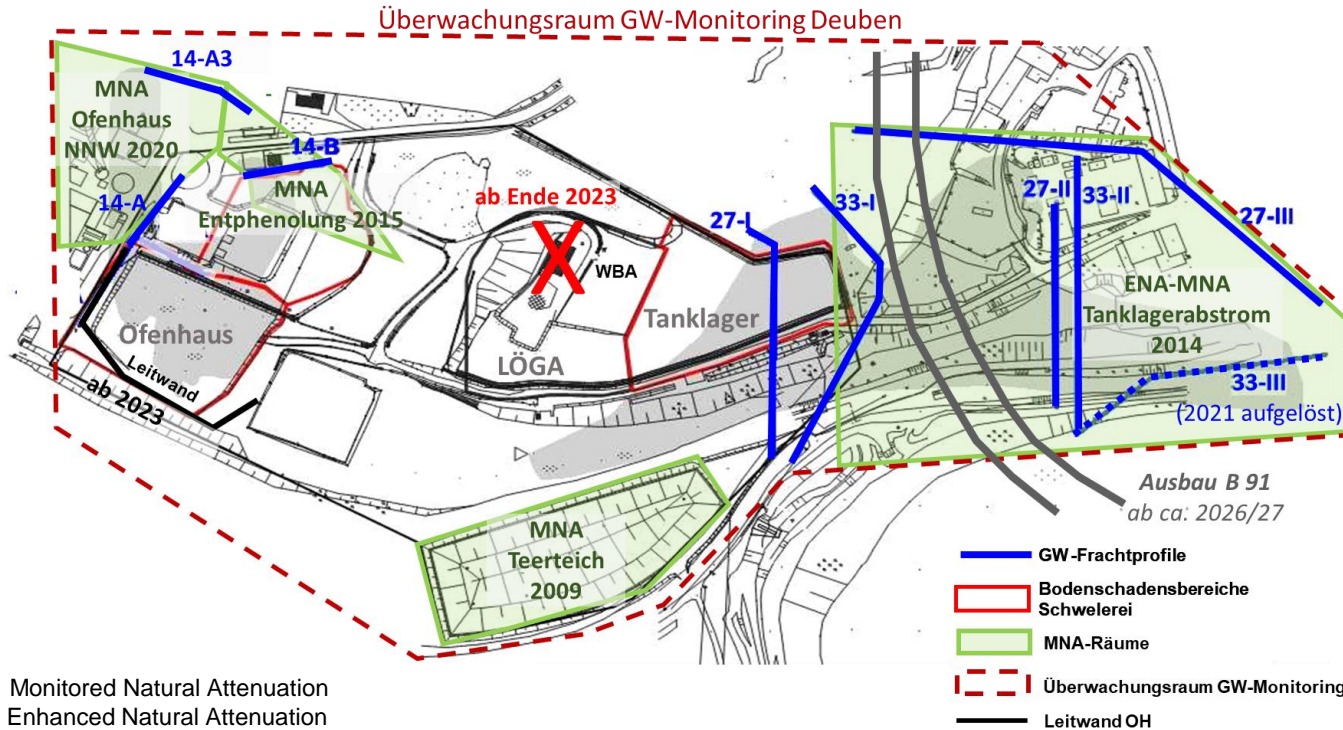


Situation GW-Schäden im Abstrom

- > 20 Jahre GW-Monitoring
- keine Konzentrationsabnahme PAK zum Fahnenrand oder zur Fahnen Spitze
- Trend einer Zustandsverschlechterung (PAK) bei Br 18n, Br 7, Br 8n und Br 13
- Schadstoffsituation scheint von Emissionen aus unbekanntem Phasen-Pools (DNAPL) dominiert
- Messstellenverdichtung/ Nachbewertung Gefährdungssituation erforderlich

Deuben

Übersicht zur GW-Sanierung am Altstandort Deuben



MNA Monitored Natural Attenuation
ENA-MNA Enhanced Natural Attenuation

- Sanierungsverpflichtungen 2023 gem. 21. Erg. (mit 1.+3. Abänd.) und 25. Erg. (mit 1. Abänd.) des ABP

Im **Bereich Ostschäden** wurden:

- * Tanklager: 2019 der pump&reat-Sicherungsbetrieb vollständig beendet.
- * Tanklager-Abströme: bis 2021 im GWL 27 eine 4jährige MNA-Phase beendet (ab 2022 wieder ENA) und seit 2021 ein verminderter ENA-Betrieb im GWL 33 (1 Infiltrationsbrunnen) durchgeführt.

Derzeitige Arbeiten Bereich Ostschäden: Messnetz-Ersatzbau Teerteich und TL-Abströme, Planung/Ersatzbau Infiltrationswasserbereitstellung, Koordinierung Umverlegung Bundesstraße B91 über den Abstromraum.

Im **Bereich Westschäden** wurden:

- * Entphenolung: 2019 der MNA-Probebetrieb beendet und ab 2020 in einen Regelbetrieb überführt.
- * Ofenhaus-Abstrom NNW: bis 2020 das Messnetz erweitert und ab 2021 die MNA-Inbetriebnahme schrittweise aufgenommen (bei weiter laufendem pump&reat Ofenhaus).
- * Ofenhaus: bis 2021 die Ausführungsplanungen zur Anstrom-Leitwand beendet und in 11/2022 die vollständig beauftragte Baumaßnahme **Anstrom-Leitwand OH** begonnen.

Derzeitige weitere Arbeiten Bereich Westschäden: Felderkundungen MNA-Raum Nord, Aktualisierung Sanierungsmodell Deu6, Planung Rückbau Sanierungsinfrastruktur inkl. Medienentkopplung pump&reat.

Die Inbetriebnahme des MNA-Raumes Westschäden-Nord wird bis Ende 2024 fortgeführt.

Die Errichtung der Anstrom-Leitwand Ofenhaus mit Außerbetriebnahme von pump&reat wird 2023 abgeschlossen.

Die Durchführung des zugelassenen MNA-Probebetriebes Westschäden ist bis 2027 terminiert.

Leitwandbau am Altstandort der Schwelerei Deuben

- Errichtung einer Anstrom-Leitwand im oberen Grundwasserleiter vor dem ehemaligen Ofenhaus als Abschluss der schrittweisen Beendigung von aktiven pump&treat-Sanierungen der Grundwasser- und Boden-Restschäden.
- Durch die Errichtung des Bauwerks Leitwand kommt im Westbereich unbeeinträchtigt Grundwasser künftig nicht mehr mit den Restschäden im Untergrund in Kontakt.

