



<https://sensatec.de/>



IN-SITU SANIERUNG VON SCHWERMETALLEN

MECHANISMUS & ANWENDUNGSBEISPIELE

Sensatec Webinar am
25.09.2025

Daniel Ruech, M.Sc., ppa,
NL Leitung Ulm, Sensatec GmbH

AGENDA

- Was sind Schwermetalle?
- Sanierungsoptionen für Schwermetalle
- Biochemische Prozesse - Nachweis
- Sanierung CrVI Nordrhein-Westfalen
- Sanierung Hg Nordrhein-Westfalen
- Sanierung Pb, As u.a. Bayern
- Sanierung CrVI Baden-Württemberg
- Fragen?



WAS SIND SCHWERMETALLE

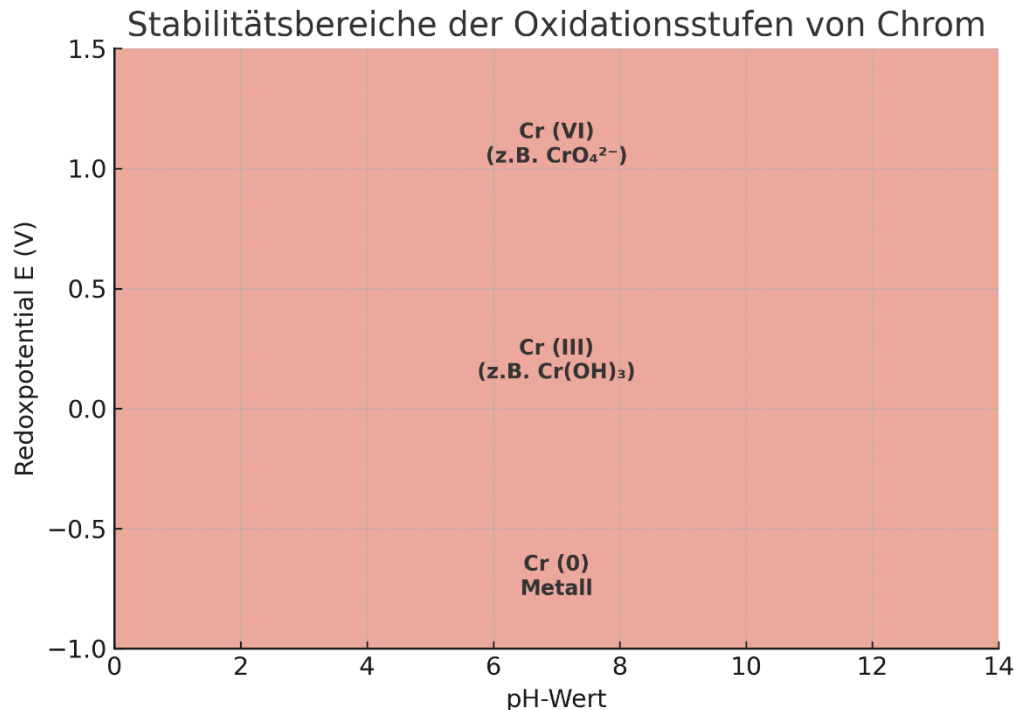
„Schwermetalle sind Metalle mit einer hohen Dichte (meist $> 5 \text{ g/cm}^3$) und besitzen oft toxische Wirkungen bereits in geringen Konzentrationen. Viele Schwermetalle, wie Blei, Cadmium oder Quecksilber, können sich in Organismen anreichern und wirken umweltschädlich. Einige (z. B. Eisen, Kupfer, Zink) sind in Spuren lebensnotwendig, werden in höheren Mengen jedoch giftig.

*Besonders wichtig ist das **chemische Verhalten** (z. B. Oxidationsstufen), da dieses über **Mobilität, Toxizität und Abbaubarkeit in der Umwelt** entscheidet.“*

Als Antwort von ChatGPT auf die Frage: Was sind Schwermetalle?

WAS SIND SCHWERMETALLE

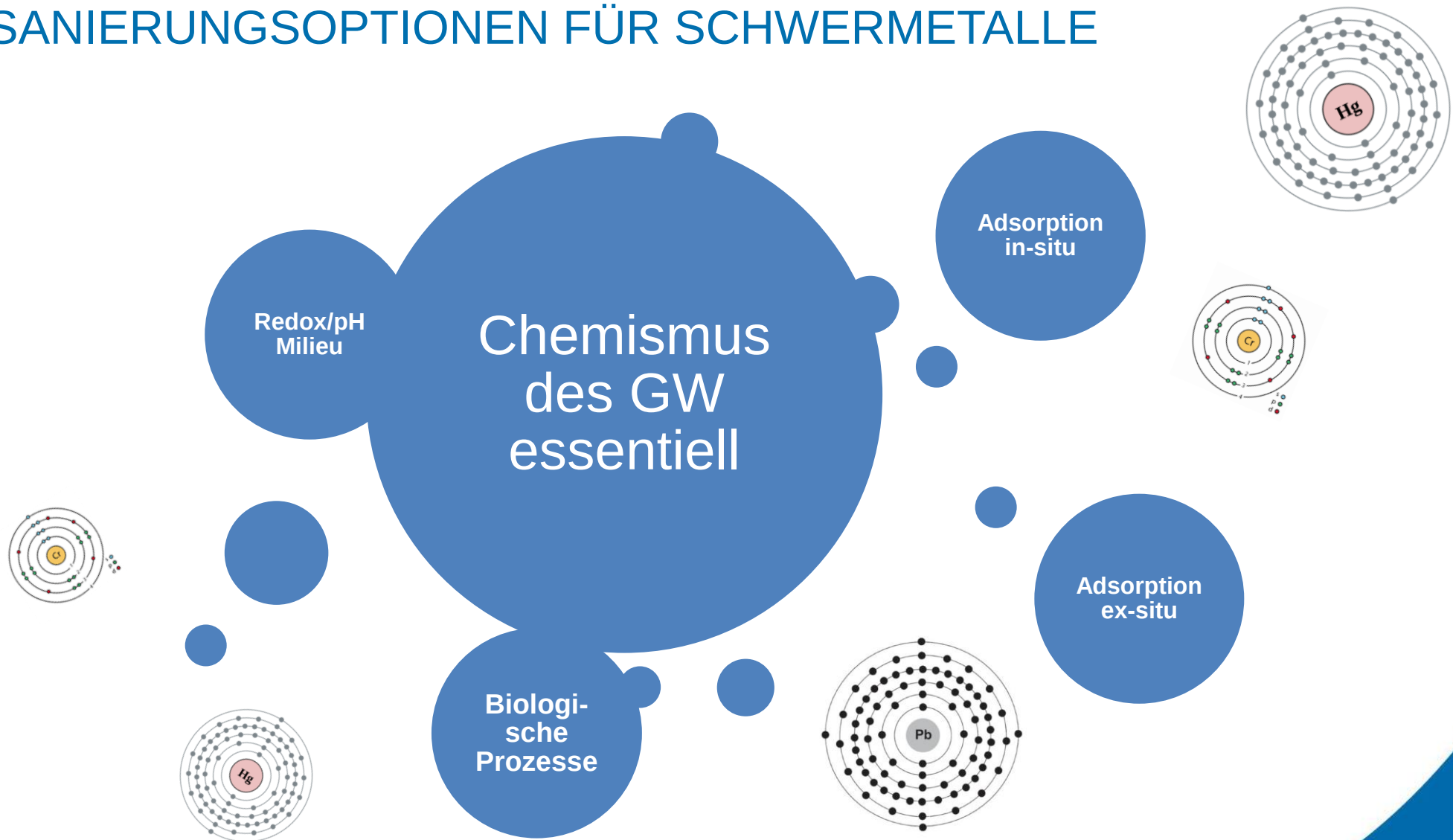
Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf Schwermetalle ist die Oxidationsstufe bzw. das Redoxmilieu (z.B. im GW)



Pourbaix-Diagramm (Redox-pH-Diagramm) für Chrom

- Cr(0) (metallisch) ist unter reduzierenden Bedingungen stabil.
- Cr(III) (z. B. Cr(OH)₃) dominiert in neutralen bis schwach oxidierenden Milieus.
- Cr(VI) (z. B. Chromat, CrO₄²⁻) tritt unter stark oxidierenden Bedingungen auf und gilt als besonders toxisch (hochmobil im GW).

SANIERUNGSOPTIONEN FÜR SCHWERMETALLE



SANIERUNGSOPTIONEN FÜR SCHWERMETALLE

Methode	Wirkprinzip	Beispiele / Stoffe	Vorteile	Nachteile
Pump & Treat	Förderung des Grundwassers, Reinigung an der Oberfläche	Kalk, Sulfide, Ionenaustauscher, Membranen	Flexibel, erprobt, kontrollierbar	Langfristig teuer, Transport/Entsorgung nötig
In-situ Immobilisierung	Chemische Reduktion oder Fällung direkt im Aquifer	Nullwertiges Eisen (ZVI), Kalkmilch, Sulfide	Keine Förderung nötig, direkte Immobilisierung	Steuerung im Untergrund schwierig
Bioremediation	Mikroben reduzieren/immobilisieren Metalle oder binden sie an Biomasse	Sulfatreduzierer, Algen, Pilze	Nachhaltig, geringe Betriebskosten	Biologie empfindlich gegenüber Milieuänderung
Permeable Reaktive Barriere (PRB)	Passiver Einbau von reaktiven Materialien in Grundwasserstrom	Eisen, Aktivkohle, Zeolithe, Kalk	Wartungsarm, kontinuierliche Wirkung	Nur lokal wirksam, Einbau aufwendig
Monitored Natural Attenuation (MNA)	Nutzung natürlicher Prozesse (Sorption, Ausfällung, mikrobielle – Umwandlung)		Kostengünstig, minimalinvasiv	Langsam, nur geeignet bei geringer Belastung
Präventive Maßnahmen	Vermeidung neuer Mobilisierung und Eindämmung der Quelle	Abdichtung, pH-Stabilisierung, Abdeckung	Verhindert Neubelastung	Keine direkte Sanierung bestehender Kontamination

NACHWEIS BIOCHEMISCHER PROZESSE

Quantifizierung der folgenden Mikroorganismen, Prozesse und Gene

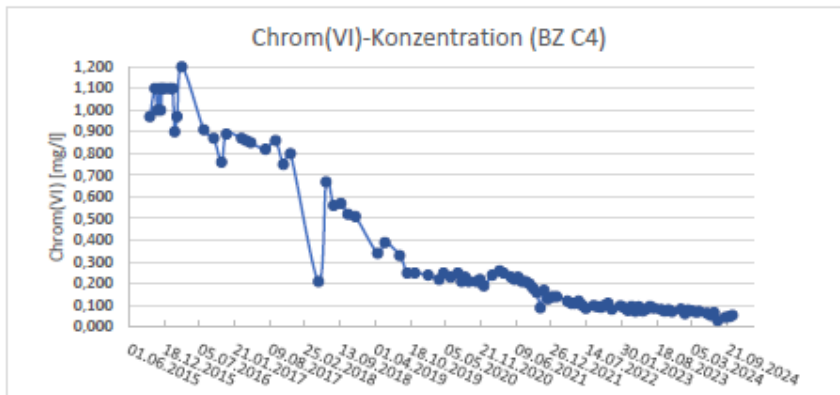
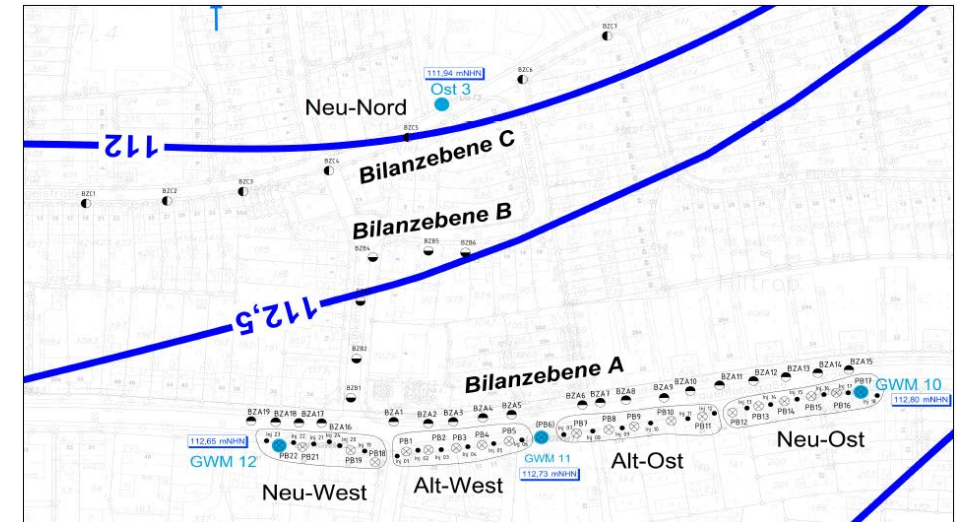
- Biochemische Prozesse oft schwierig zu bewerten und zu beobachten
- Über molekularbiologische Analysen (QuantArray BGC) lassen sich Effekte zu Sorption, biologischem Abbau, Verflüchtigung und Verdünnung erfassen und nachweisen
- Hier sind Kenndaten zu Sulfatreduktion, Schwefeloxidation, Eisenreduktion, Metalloxydation, Nitrifikation, Denitrifikation, Stickstofffixierung, Fermentation, Paracetogenese, Methanogenese und verschiedene anderen Prozesse gewinnbar

Mikroorganismenklassen Bakterien (EBAC, ARC) Fermentierer (FER) Acetogene (AGN) Acetylenabbauer (AHY)	Sulfatreduktion sulfatred. Bakterien (APS) sulfatred. Archea (SRA)	Eisenreduktion Fe-reduzierende Bakterien (IRB) Fe-reduzierende Archea (IRA) Geobacter (IRG) Shewanella (IRS)
Stickstoffkreislauf NH ₄ -oxidierende Bakt. (AMO) NH ₄ -oxidierende Archea (AOA) Nitrit oxidierende Bakt. (NOR)	Schwefeloxidation Schwefeloxidierende Bakt (SOB)	Metalloxydation Fe-oxidierende Bakt. (FEOB) Mn-oxidierende Bakt. (MnOB)



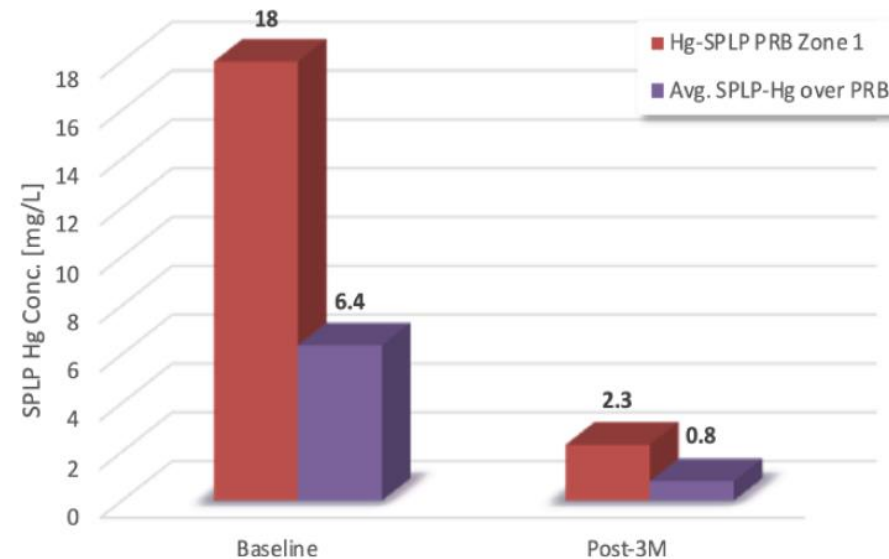
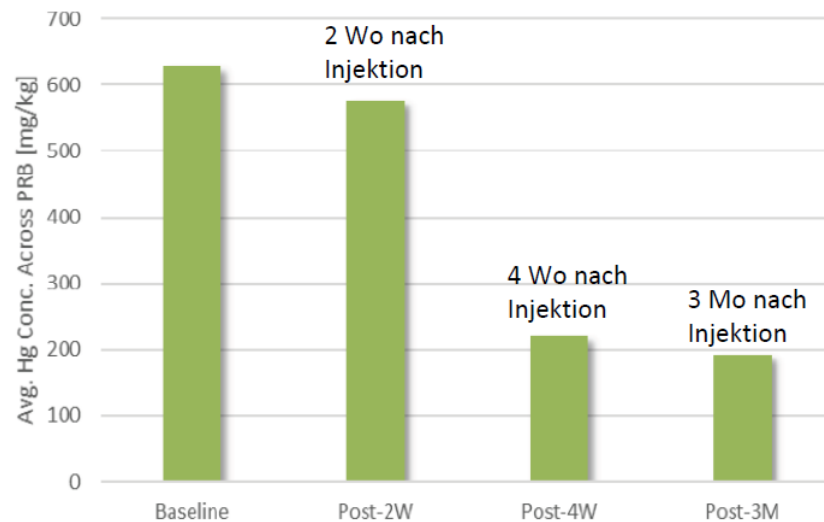
IN-SITU SANIERUNG CHROM, NRW

- Schadensfall im Wohngebiet, dichte Bebauung, enge Platzverhältnisse
 - Errichtung einer Abstrombarriere mittels Melasseinfiltration
 - Kampagnengestützte Eingabe komplett mobil
 - Keine Quellensanierung sondern Aufrechterhaltung Barriere (Abstromsicherung)
 - Aktuell im 10. Betriebsjahr
 - Neben Eingabe regelmäßige Pegelregenerierung nötig
-
- Ziel: Senkung des Redoxpotentials!!



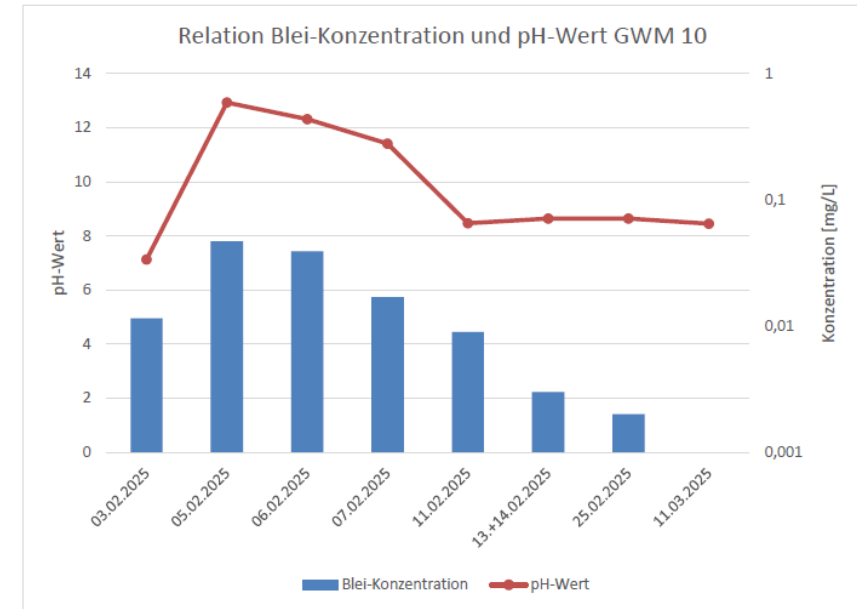
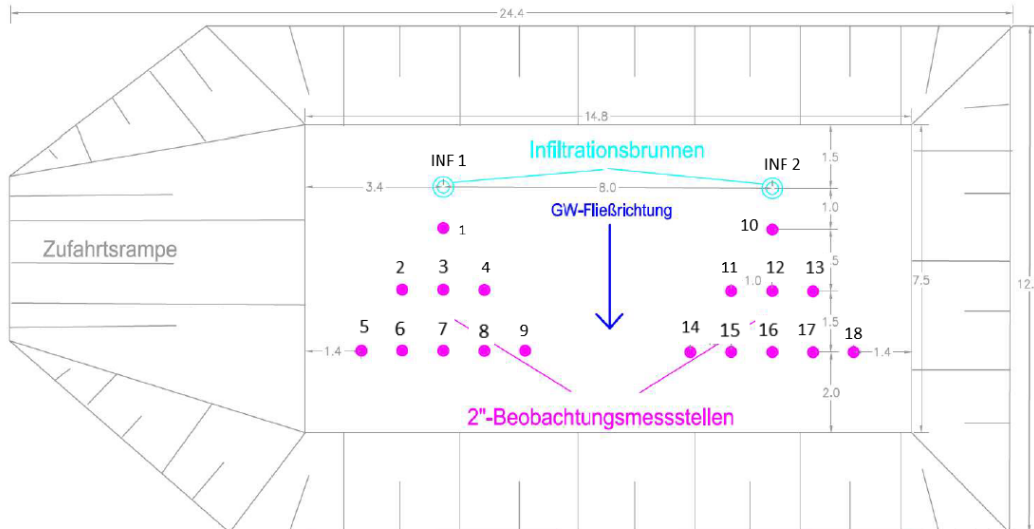
IN-SITU SANIERUNG QUECKSILBER, NRW

- Schadensfall ehemalige Munitionsfabrik
- Quellensanierung als Immobilisation
- Pilotversuch erfolgreich ausgeführt
- Ziel: Eingabe eines Adsorbers in-situ als Feststoff (MercLok ®)



IN-SITU SANIERUNG BLEI & ARSEN, BAYERN

- Schadensfall ehemaliger Glasproduktion
 - Fahnensanierung nach Aushub als Ziel
 - Labor- & Pilotversuche erfolgreich ausgeführt
 - Kalkmilcheingabe in verschiedenen Konzentrationen
 - Target Pb, As sowie zusätzlich F
-
- Ziel: **Anhebung des pH Wertes**
(Ausfällung/Mineralisation)



IN-SITU SANIERUNG CHROM, BADEN-WÜRTTEMBERG



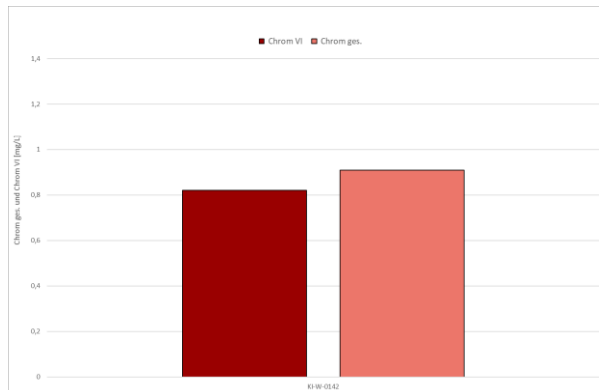
<https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.altlasten-in-feuerbach-bohrungen-auf-dem-schoch-areal.d47faf49-e985-4e92-8b7b-5941f4b66c9f.html>



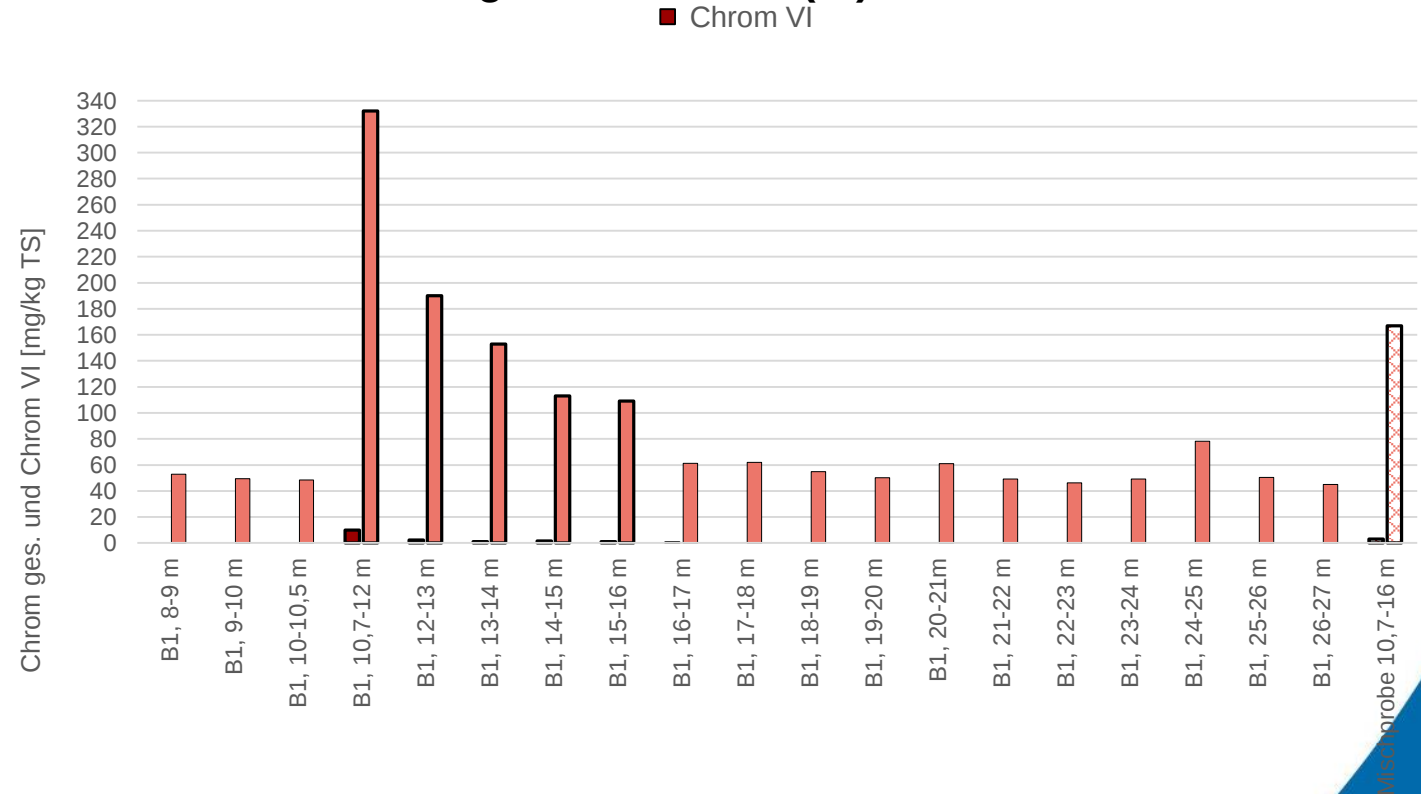
<https://www.stuttgarter-zeitung.de/inhalt.bodensanierung-in-stuttgart-feuerbach-das-teure-erbe-der-brueder-schoch-ist-beseitigt.433a9c23-2050-474d-8796-37b91c444c2b.html>

IN-SITU SANIERUNG CHROM, BADEN-WÜRTTEMBERG

- Materialgewinnung aus neuer GWM
- Analytik relevanter Horizonte
- Erstellung Mischprobe
- Einbezug in Batch Ansätze
- Bestimmung sowohl Cr gesamt als auch Cr VI



Chrom ges. und Chrom(VI) im Feststoff



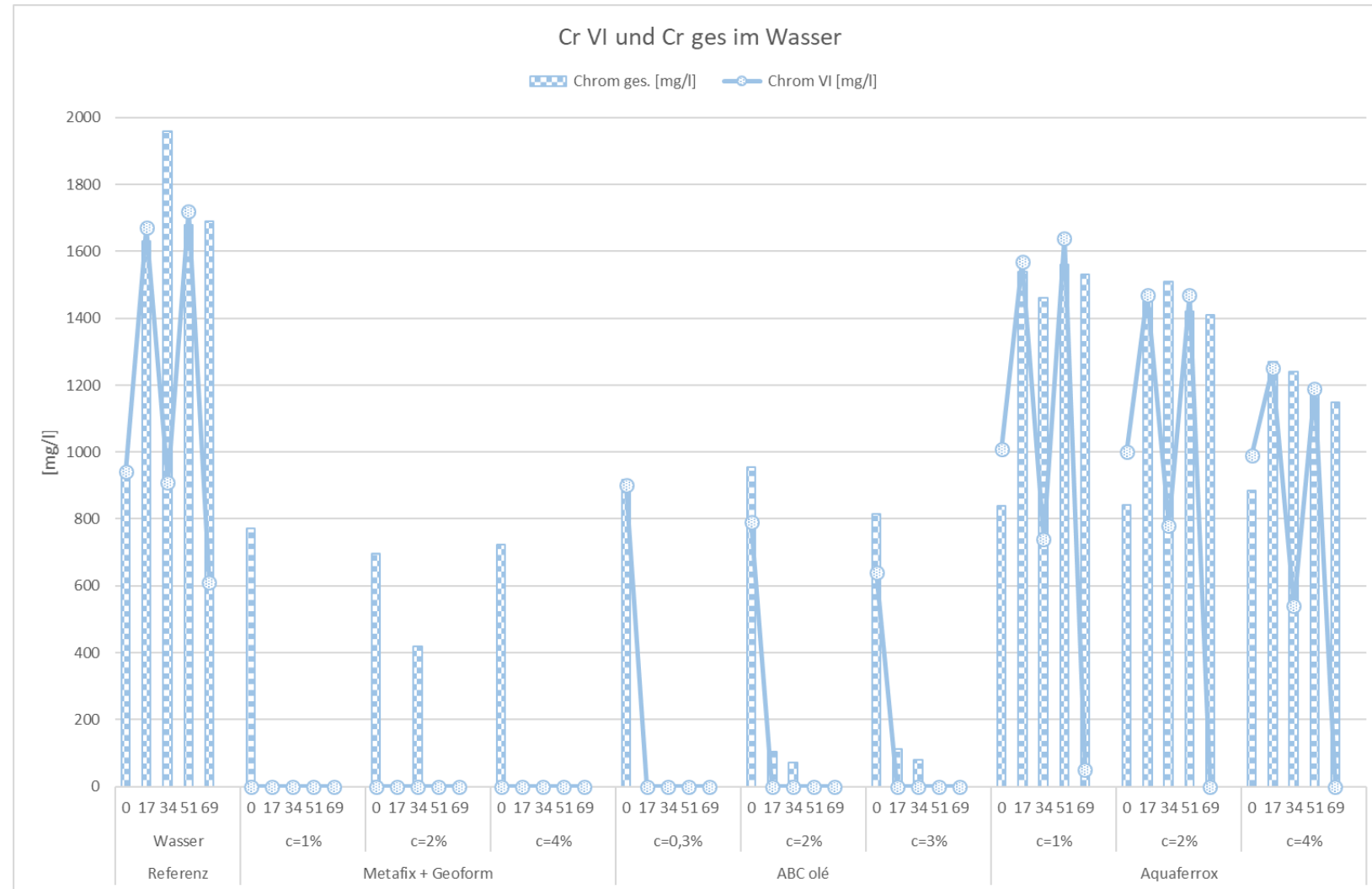
Auch im Eluat bestimmt (links), **hier rund 1 mg/l**

IN-SITU SANIERUNG CHROM, BADEN-WÜRTTEMBERG

- Bezogen auf mg/l
- Betrachtet 69 d
- Referenz vs. Wirkstoffe

Ausgewählte Wirkstoffe:

- Metafix/GF
- ABC ole
- Aquaferrox



IN-SITU SANIERUNG CHROM, BADEN-WÜRTTEMBERG

- Bezogen auf mg/kg
- Betrachtet 69 d
- Referenz vs. Wirkstoffe
- Metafix/GF
- ABC ole
- Aquaferrox



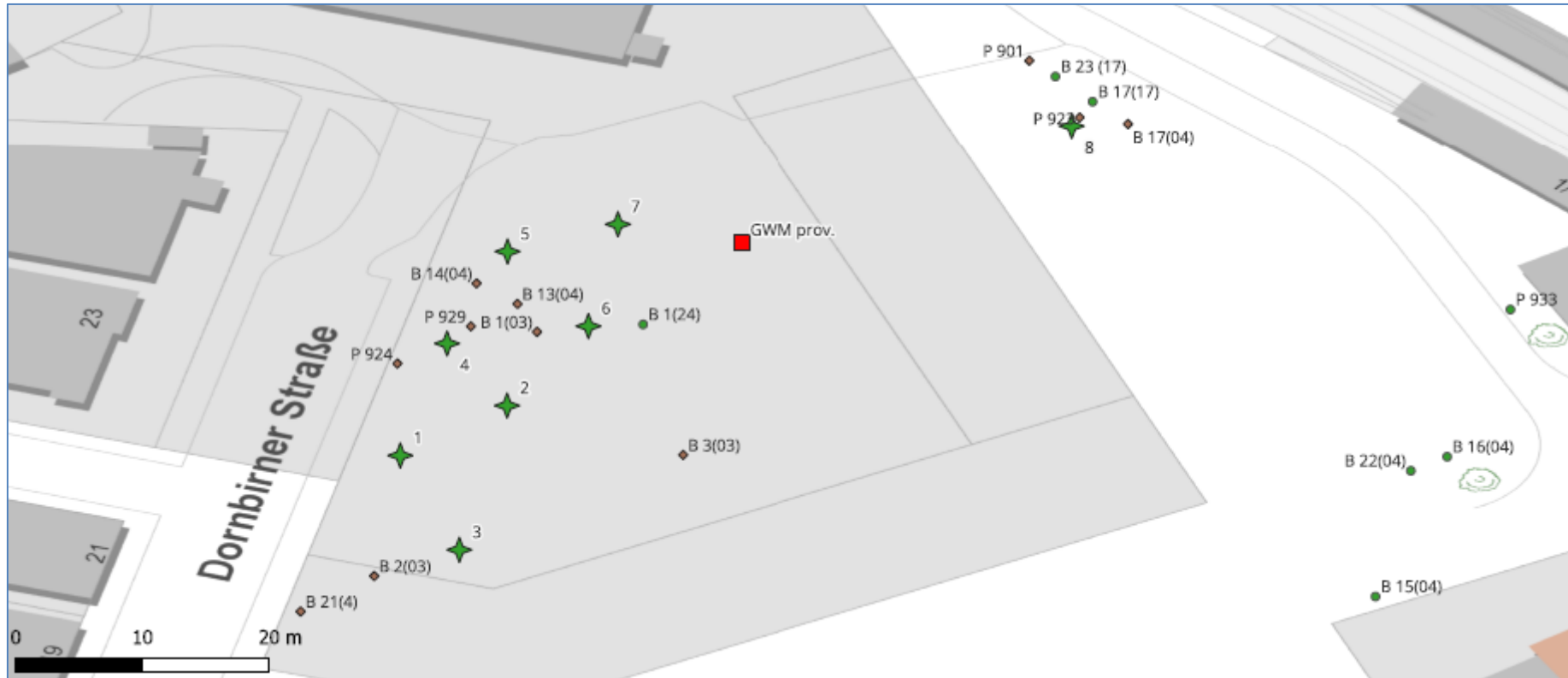
IN-SITU SANIERUNG CHROM, BADEN-WÜRTTEMBERG

- Durch die Wirkstoffe Metafix/Geoform sowie ABC ole kommt eine Reduktion sowie mineralische Bindung von > 99 % in Betracht (unter NWG in der Analytik) im Hinblick auf Eluatwerte (Cr gesamt, CrVI), im Boden lässt sich CrVI nicht mehr nachweisen, ansonsten gesamt Chrom relativ stabil in < 200 mg/kg TS
- Wirkstoff Aquaferrox zeigt KEINE positiven Auswirkungen
- Es wurde der Einsatz von Metafix/Geoform empfohlen
 - Effizient
 - Kostengünstigstes Produkt
 - Handlingfreundlich (Feststoff)
 - „Mehrmechanismen“ (Reduktion & mineralische Bindung, positiver Effekt auf den ebenfalls in relevanten Mengen vorhandenen Parameter LHKW)

IN-SITU SANIERUNG CHROM, BADEN-WÜRTTEMBERG

- Planung & Ausführung von Pilot und Full-Scale in Abstimmung mit Ag
- PV lieferte deutliche Reduktion der Chromatbelastung in Referenzmessstelle
- Umfassendes Monitoring mit aktiver Bepumpung der Referenzmessstelle, Nachweis nach wenigen Tagen, gesamt Monitoring wenige Wochen
- Auswirkungen auf Redoxmilieu eindeutig nachweisbar
- Im Pilotversuch Kartierung der Einflussbereiche der Injektionen, hier Radien von bis zu 6 m erreicht (5 m postuliert)
- PV lieferte Grundlage zur weiteren Festlegung des Full-Scale Sanierungsbereiches
- Aktuell läuft Errichtung Infrastruktur Full-Scale (Manschettenrohre)

IN-SITU SANIERUNG CHROM, BADEN-WÜRTTEMBERG



Setting PV (1-2) und Fullscale (3-8) der Manschettrohre als Sternsignatur sowie verschlossene und noch vorhandene bzw. neu zu errichtende GWM auf dem Areal



FRAGEN???

VIELEN DANK FÜR DEINE
AUFMERKSAMKEIT.

Daniel Ruech, ppa, M.Sc.



KONTAKT

Sensatec GmbH
Sanierungs- und Sensoriktechnologien

Friedrichsorter Str. 32
D-24159 Kiel

d.ruech@sensatec.de

info@sensatec.de

www.sensatec.de