



TUBAF
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.

G.E.O.S.

Förderverein
MONTANREGION ERZGEBIRGE

MindMontan
recomine
rethinking resources

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Forschung, Technologie
und Raumfahrt

MindMontan- Innovative Wasseraufbereitung für Sickerwässer unter Einsatz chemisch- biologischer Technologien



LANDESAMT FÜR UMWELT,
LANDWIRTSCHAFT
UND GEOLOGIE

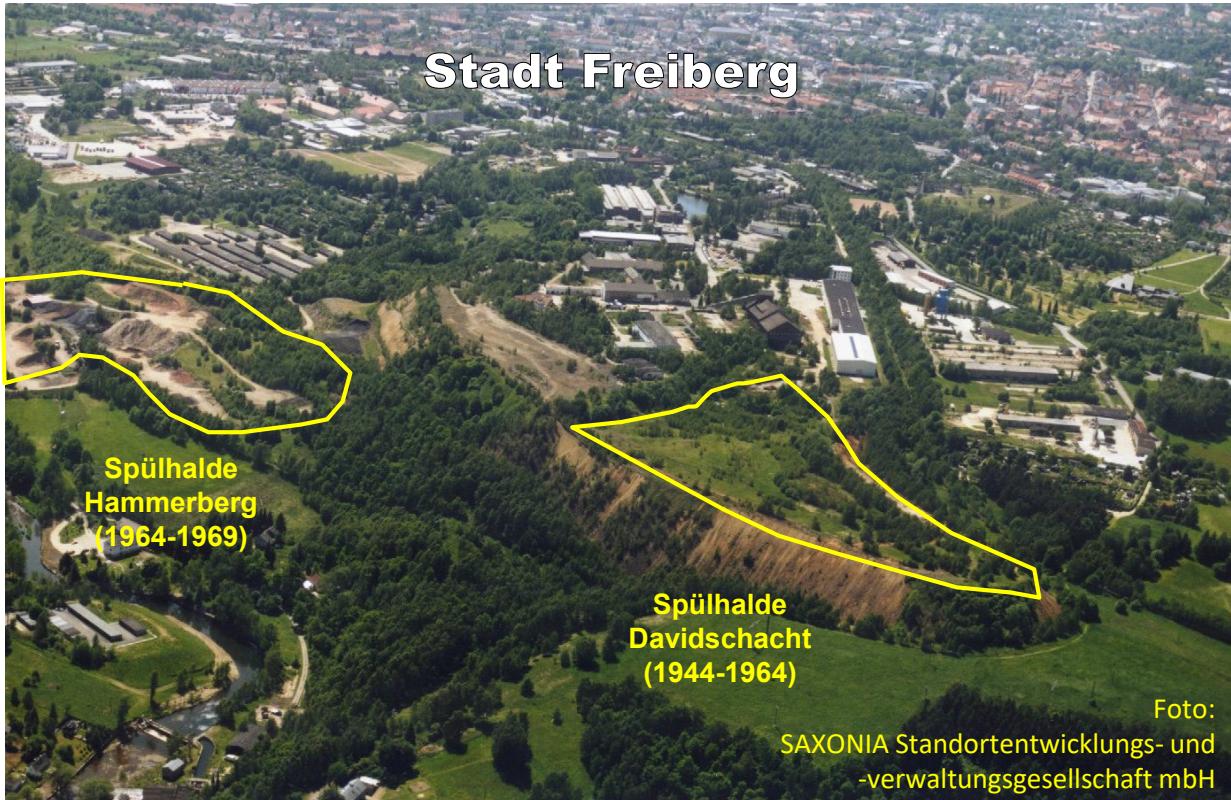
Freistaat
SACHSEN

LANDES DIREKTION
SACHSEN

Freistaat
SACHSEN

Landkreis Mittelsachsen
Landratsamt

mittelsachsen
mitte im leben. norden in sachsen.



Video MindMontan

<https://www.youtube.com/watch?v=LBV5C3wTcQk>



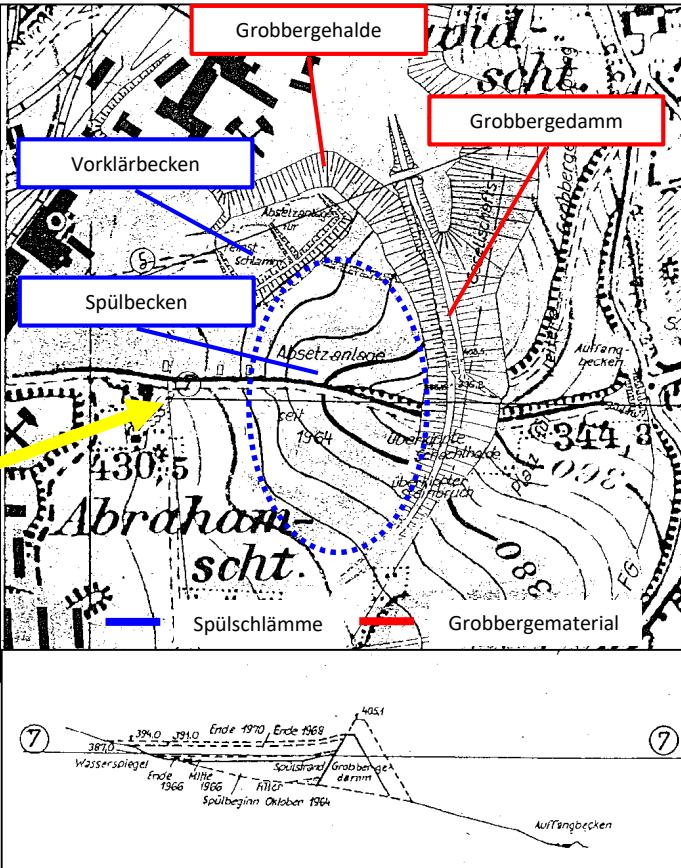
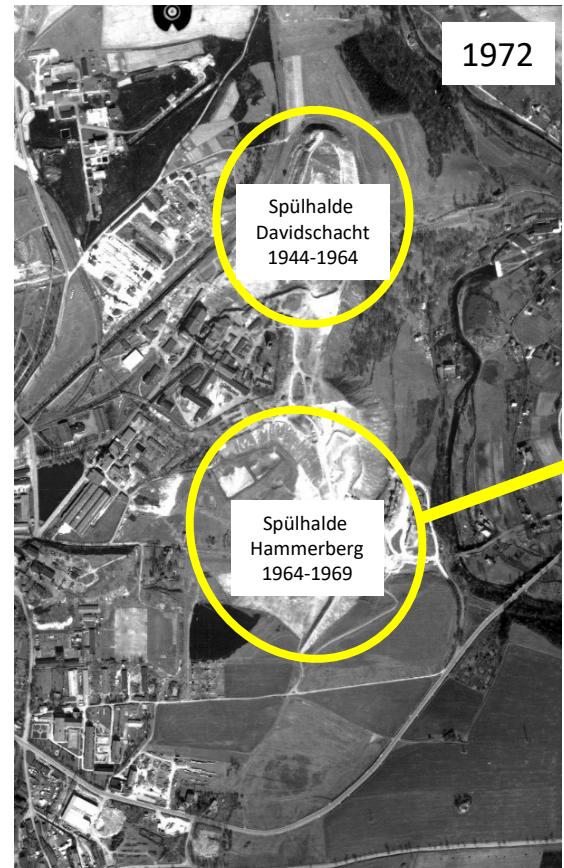
MindMontan

MindMontan – Innovative Technologien für umweltfreundlichen
Bergbau, regionale Entwicklung und gesellschaftlichen Dialog

Ein Film von Andreas Hiekel

SAXONIA

Davidschachtkomplex - Spülhalde Hammerberg



Teilflächen der Spülhalde Hammerberg

- Vorklärbecken I und II
 - Spülbecken:
Hauptschadstoffe: Arsen, Blei, Cadmium, Kupfer, Zink (im Sediment)
 - Grobbergedamm
 - Grobbergehalde nördlich der Spülhalde Hammerberg

Betriebszeit:	1964 - 1969
Grundfläche:	Ca. 6 ha
Mächtigkeit:	20 - 25 m
Basis:	Großflächig Gehängelehm, Felszersatz, Gneis
Einspül- volumen	Ca. 330.000 m ³

Sickerwasser aus der Spülhalde Hammerberg



TUBAF
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.



- Mikrobielle Sulfatreduktion → Umwandlung von Sulfat zu Sulfid (bzw. H_2S)
- Mikroorganismen benötigen dafür organischen Kohlenstoff oder Wasserstoff

Vorteile der mikrobiellen Sulfatreduktion:

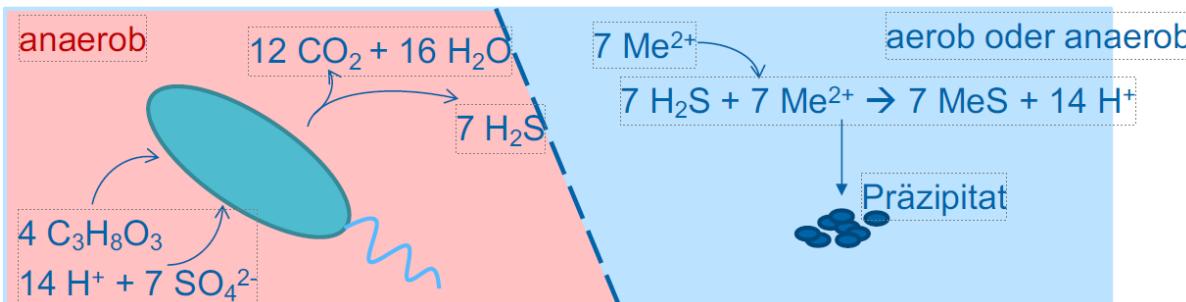
- Sulfat, welches im Sickerwasser vorkommt, wird entfernt und als Substrat genutzt
- gleichzeitig werden Protonen (H^+) verbraucht → pH-Wert wird angehoben
- es können günstige organische Substrate/Abfallstoffe (z.B. Melasse, Glycerol) genutzt werden



Bildung von Metallsulfiden

Vorteile der mikrobiellen Sulfatreduktion:

- Mithilfe des gebildeten Sulfids (S^{2-} , H_2S) können Metalle sehr effizient als Metallsulfid abgetrennt werden

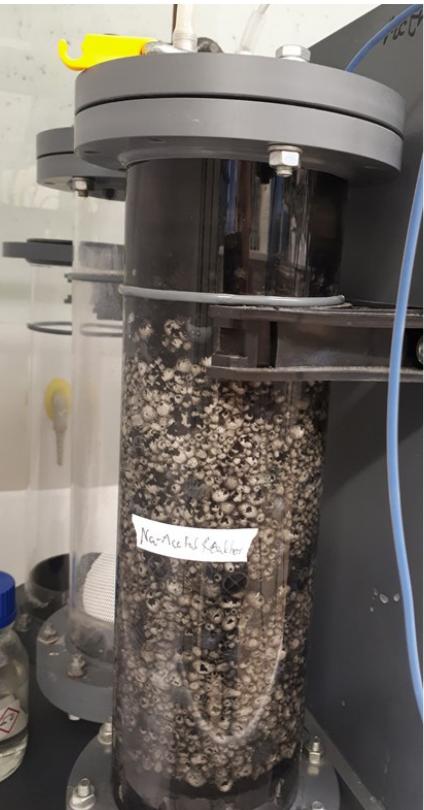


Metall	Löslichkeitsprodukt
Cu^{2+}	-35.9
Cd^{2+}	-28.9
Zn^{2+}	-24.5
Ni^{2+}	-21.0
Mn^{2+}	-13.3

MindMontan: Laborversuche Sulfatreduktion

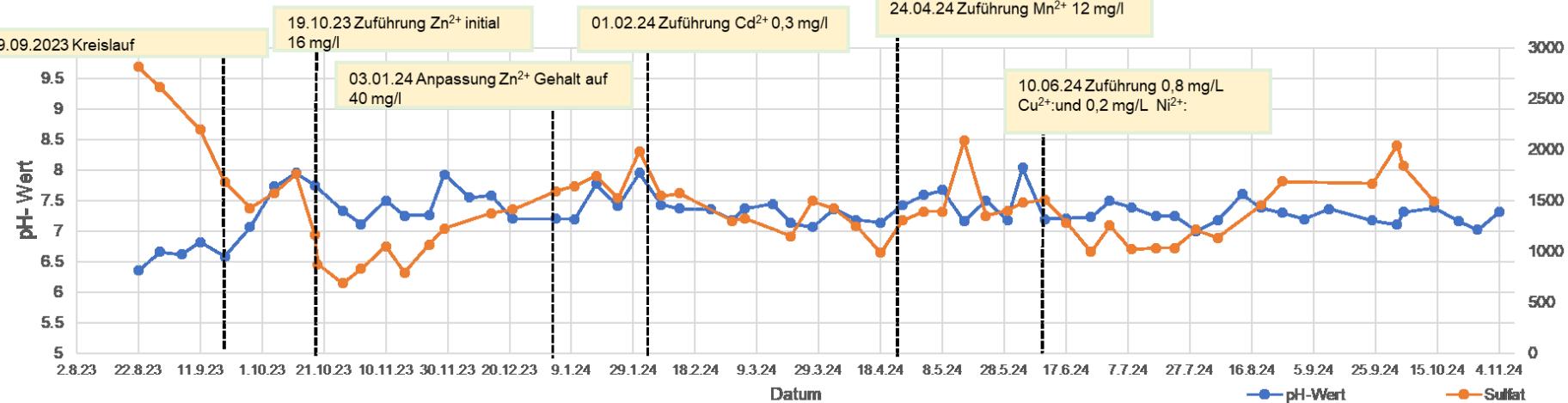


TU BERGAKADEMIE
FREIBERG
Die Ressourcenuniversität.
Seit 1765.



Laborversuche Sulfatreduktion

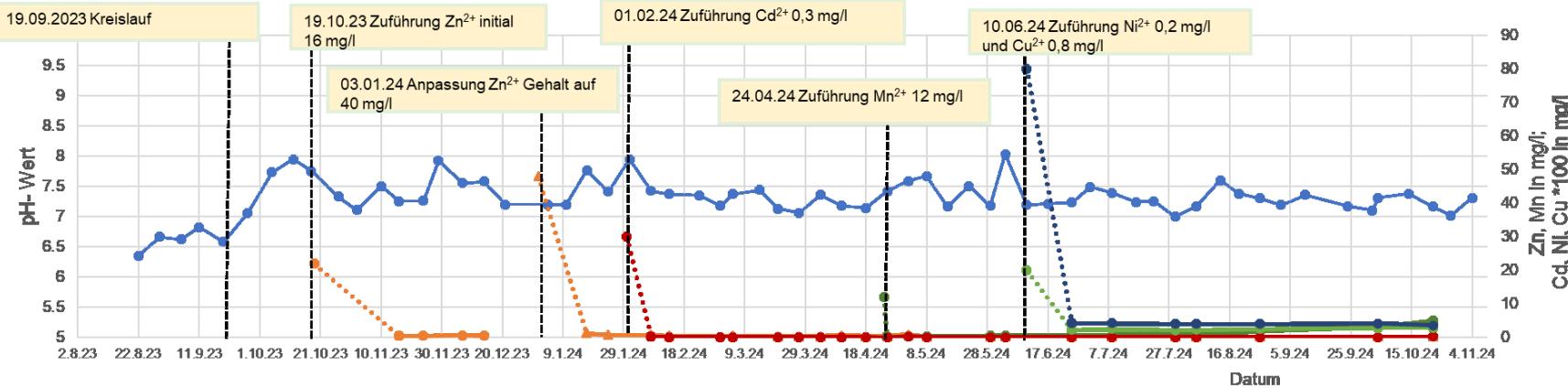
Biomix - Sulfat



- Sehr gute mikrobielle Aktivität in Gegenwart von Metallen
→ Bildung von Sulfid (HS^- bzw. H_2S) über mikrobielle Sulfatreduktion

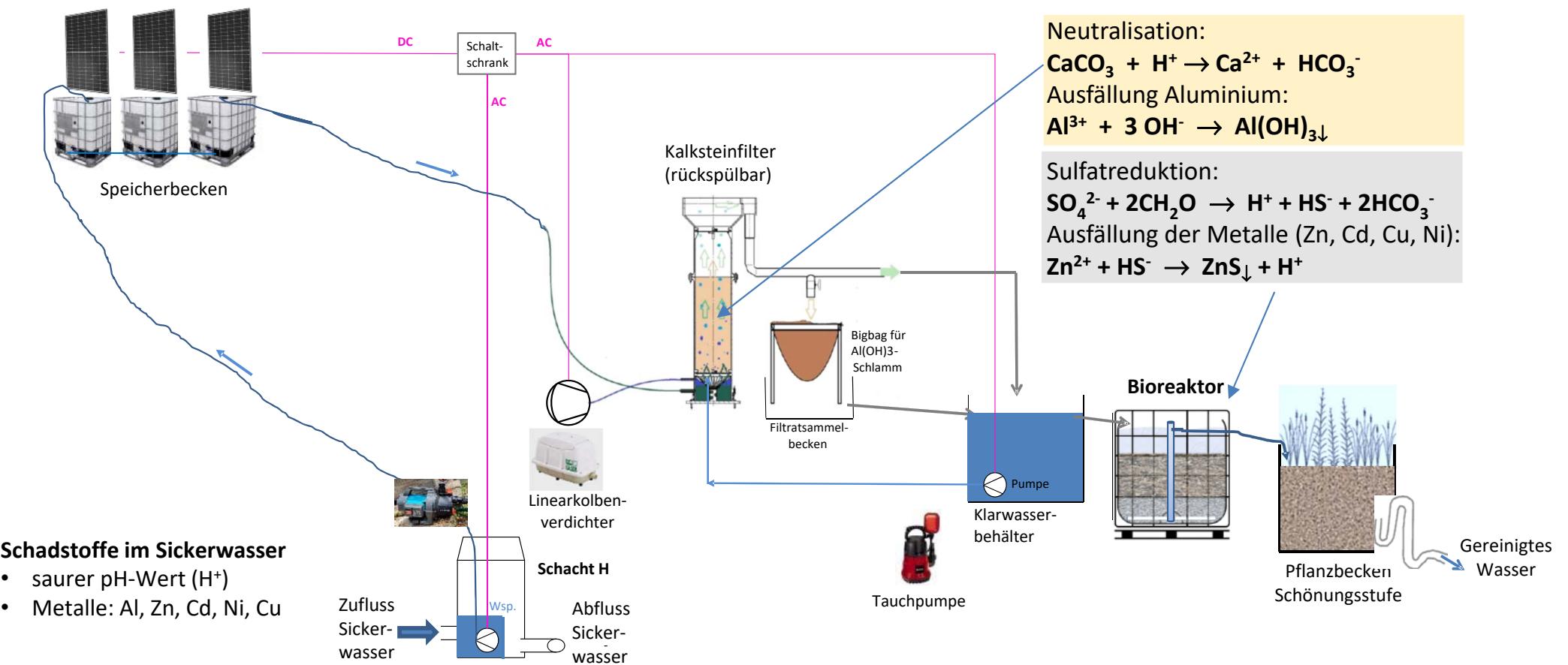
Laborversuche Sulfatreduktion

Biomix - Zn/Mn/Cd/Ni/Cu-Gehalt

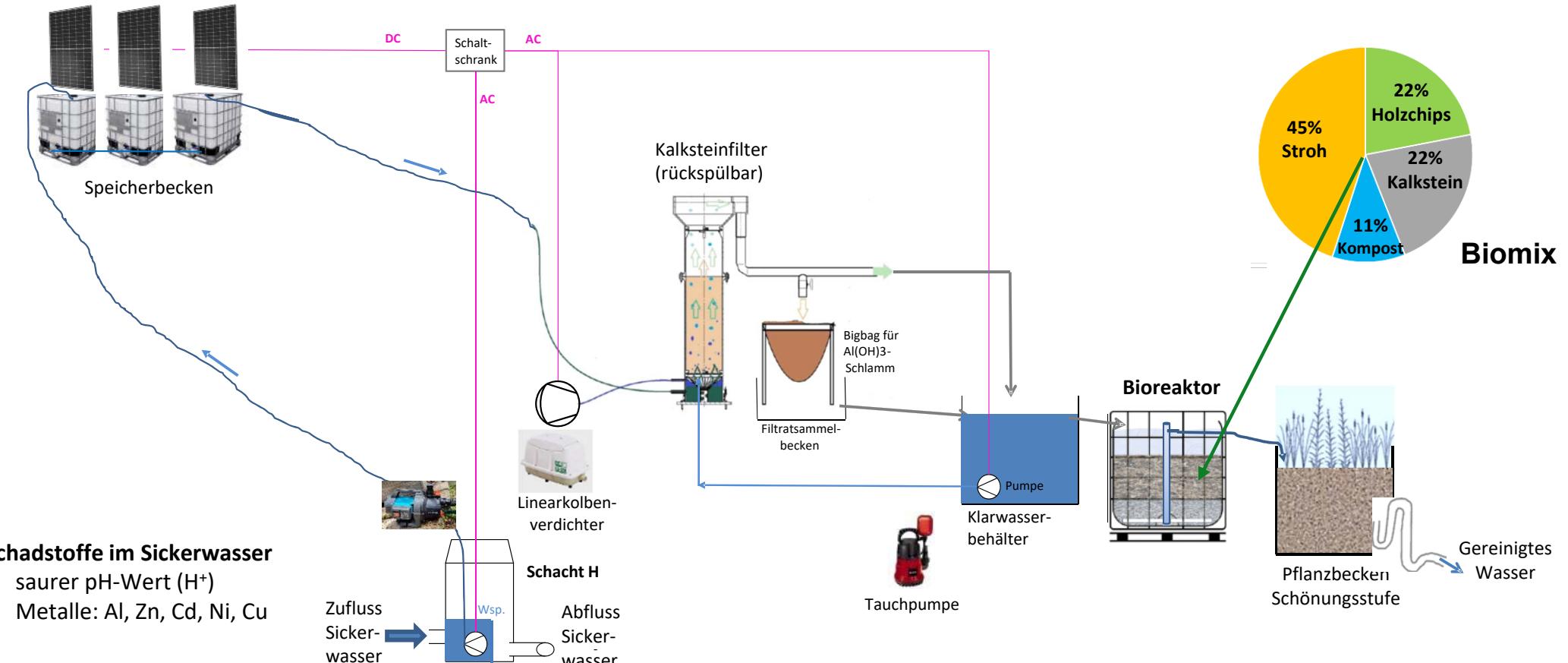


- Abtrennung aller Metalle (Mn, Cd, Cu, Ni, Zn) als Metallsulfide in den Sulfatreduktionssäulen

Schema der Pilotanlage



Schema der Pilotanlage

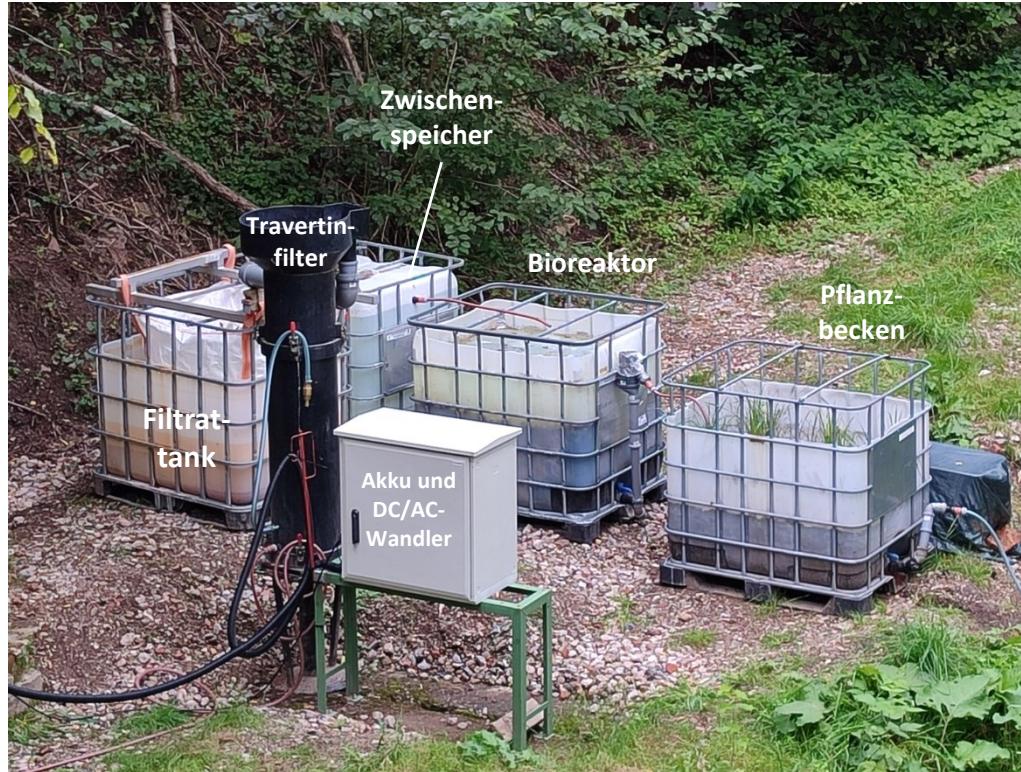


Chronik: Test / Aufbau / Inbetriebnahme / laufender Betrieb

- 2024:
 - April: Vorbereitung der Aufstellflächen
 - 05.08.2024: Start regulärer Betrieb
 - 21.11.2024: Betrieb eingestellt, Anlage winterfest gemacht
 - 27,4 m³ Wasser behandelt
- 2025:
 - 15.04.2025: Neustart Pilotanlage
 - 20.08.2025: „Einbruch“ der Zn-Abtrennung auf 84%
 - 22.08.2025: Wiederbelebung der Mikrobiologie
 - 24.11.2025: Betrieb eingestellt, Anlage winterfest gemacht
 - 89,8 m³ Wasser behandelt (Stand 12.11.2025)

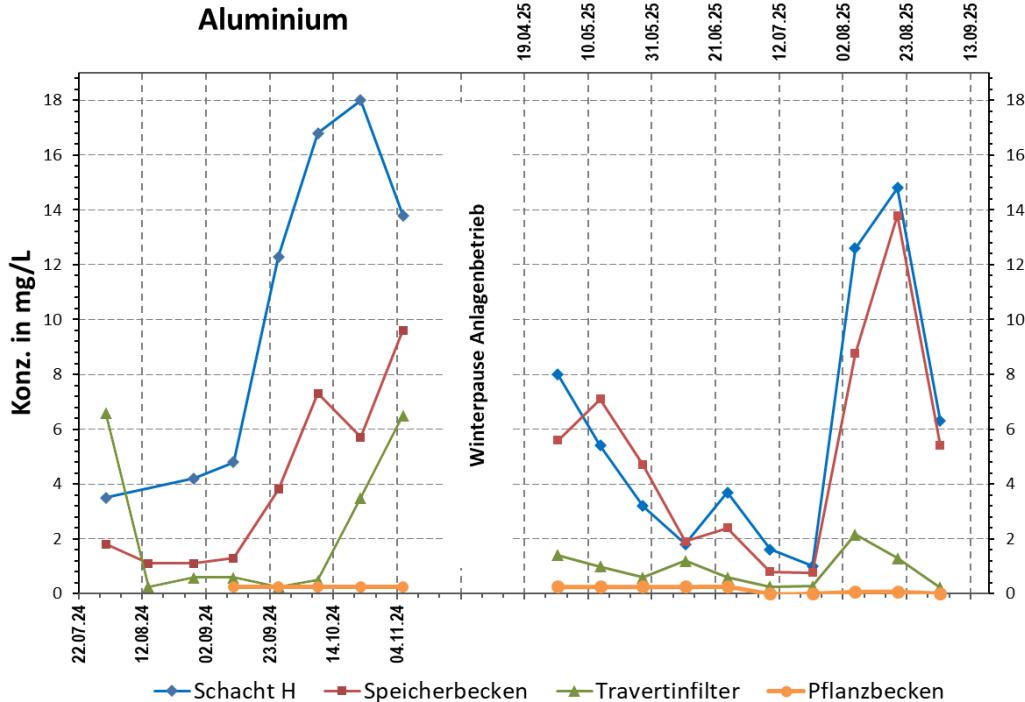
Aufbau der Pilotanlage

PV Module und Speicher IBC



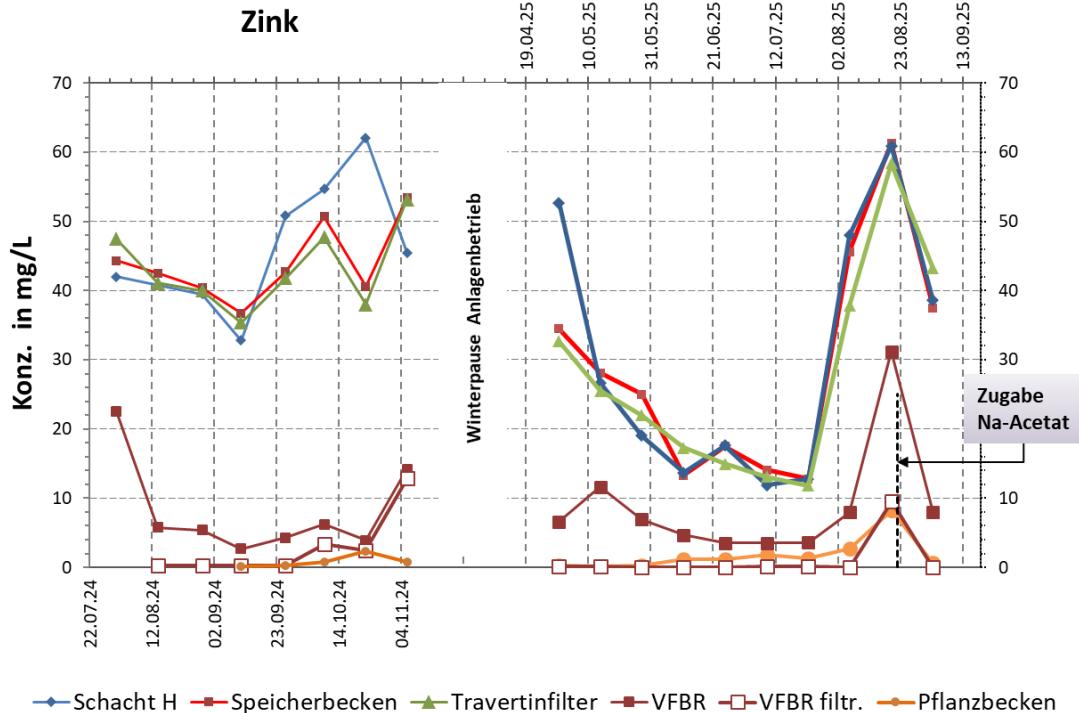
Ergebnisse Al-Abtrennung

Speicher IBC und PV-Module



Ergebnisse Zn-Abtrennung

Weiße Ausfällungen auf dem Pflanzbecken (ZnS)



Winterfestmachung / Kennziffern

Stilllegung der Anlage und Winterfestmachung



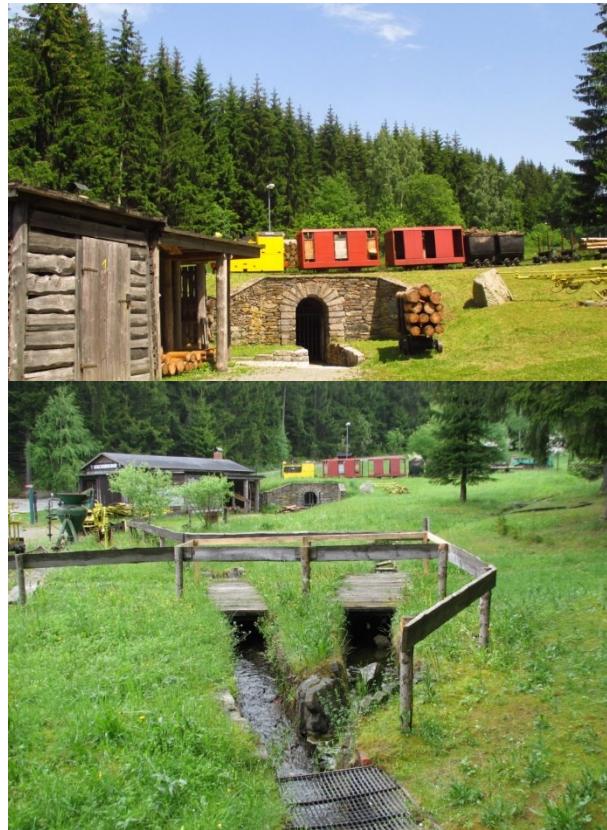
Wasserdurchsatz		2024	2025
Start Betrieb		18.07.2024	04.04.2025
bis		13.11.2024	15.09.2025
Wasserdurchsatz, kumulativ	m^3	27,4	71,6
Wasserdurchsatz pro Tag	m^3/d	0,23	0,44
Mittlere Konzentration im Zulauf			
Aluminium	mg/L	10,5	5,8
Zink	mg/L	45,6	30,2
Cadmium	mg/L	0,34	0,23
Mittelwert Behandlungseffizienz			
Aluminium	%	94,0	96,2
Zink	%	98,5	93,6
Cadmium	%	98,5	98,3
Abgetrennte Metallmengen			
Aluminium	g	270	402
Zink	g	1232	2024
Cadmium	g	9,2	16,1
Volumetrische Abtrennrate Zn (im Bioreaktor)		$\text{g Zn}/(\text{m}^3 \times \text{d})$	21,0

Selected study sites in Saxony

...for development of passive treatment systems

	Unit	St. Christoph adit, Breitenbrunn
Q	L/s	4-6
pH	-	7.1
SO4	mg/L	40
Al	mg/L	0.066
Mn	mg/L	0.013
Zn	mg/L	2.4
As	µg/L	41.1
Cd	µg/L	16.2
Cu	µg/L	6
Fe	µg/L	<0.03
Ni	µg/L	3.1
Pb	µg/L	<0.5

Vorfluter: Schwarzwasser



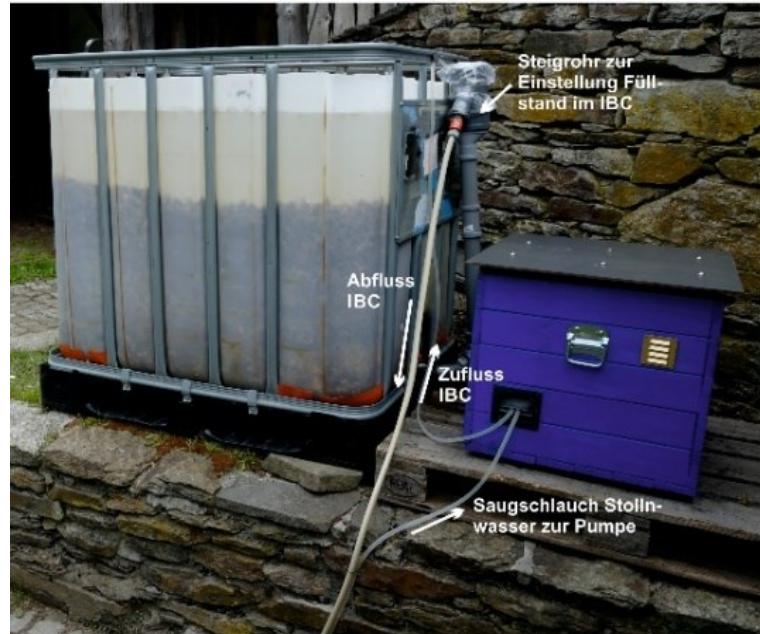
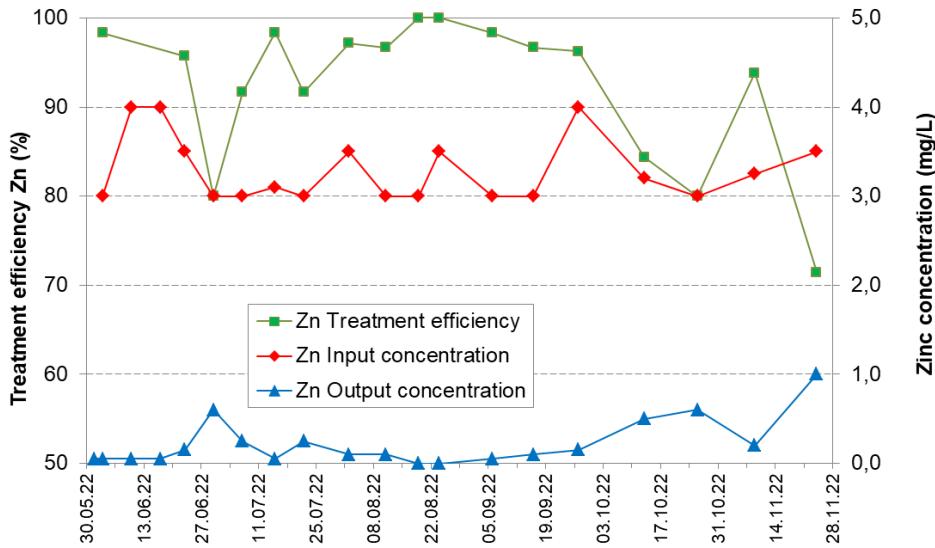
St. Christoph Grube

- Westerzgebirge (Breitenbrunn)
- Bergbau seit 1870
- Minerale:
Magnetite, Arsenopyrit, Sphalerit, Cassiterit, Uraninit (Pechblende).
- Grube geschlossen seit: 1950
- Heute: Besucherbergwerk

Selected study sites in Saxony

Pilot study at St. Christoph Mine

Ergebnisse Pilotversuch 2022 zur Zn-Abtrennung im VFBR



Zurzeit: Wasserrechtliche Genehmigung VFP Breitenbrunn

Realisierung: 1. Q 2026, Betrieb bis Ende 2029

VMRR für Zn: $2,43 \text{ g}/(\text{m}^3 \cdot \text{d})$

Selected study sites in Saxony

...for development of passive treatment systems

	Unit	Spoil heap leachate Ehrenfrieders- dorf
Q	L/s	4
pH	-	7.1
SO ₄	mg/L	1050
Al	mg/L	0.2
Mn	mg/L	7.5
Zn	mg/L	4.5
As	µg/L	1500
Cd	µg/L	8.3
Cu	µg/L	2.6
Fe	µg/L	9000
Ni	µg/L	270
Pb	µg/L	<0.5



Ehrenfriedersdorf Zinnbergwerk

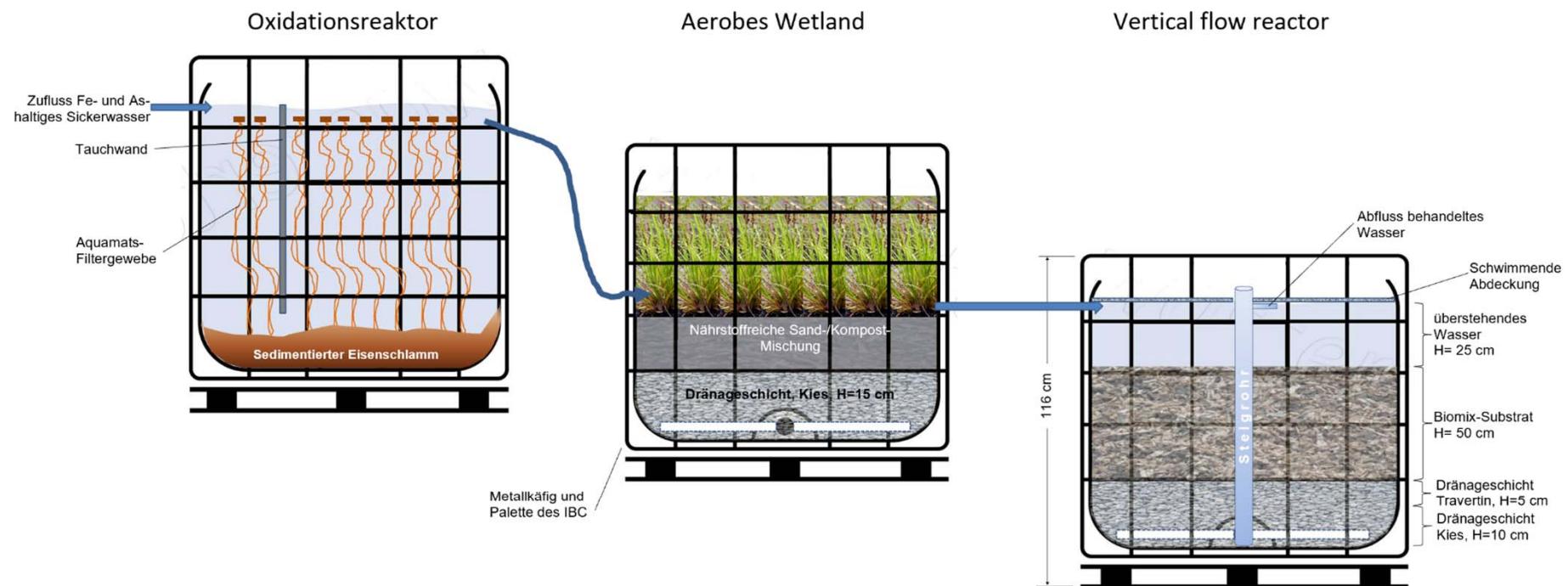
- Mittleres Erzgebirge
- Bergbau seit dem Mittelalter
- Wertmetalle: Zinn, Wolfram
- 1936: Bau einer modernen Aufbereitungsanlage
- 2 Abraumhalden (26 ha) mit Aufbereitungsrückständen (Spülsand)
- Grubenschließung: 1990
- Heute: Besucherbergwerk

Selected study sites in Saxony



. . .for development of passive treatment systems

Schema Pilotanlage Ehrenfriedersdorf



Funktionen: Fe(II)- und As(III)-Oxidation,
FeOOH-Ausfällung
As-Adsorption

Filtrationsstufe zum Rückhalt
Restmengen FeOOH

Mikrobiologische Sulfatreduktion
Ausfällung von ZnS, CdS, NiS



04.11.2025 12:29



04.11.2025 12:29

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Die Autoren danken dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie für die Finanzierung der Untersuchungen an der St. Christoph Grube in Breitenbrunn, dem BMBF für die Förderung der Arbeiten in Ehrenfriedersdorf (Projekt TERZinn, FKZ 03WIR1906B) und am Hammerberg (Projekt MindMontan FKZ 03WIR1920B).

Der SAXONIA Standortentwicklungs- und -verwaltungsgesellschaft mbH danken wir für die Bereitstellung umfangreicher Monitoringdaten vom Standort Hammerberg sowie für die tatkräftige Unterstützung beim Aufbau der Pilotanlage.

Dr. Eberhard Janneck
Telefon: +49 3731 369 129
E-Mail: e.janneck@geosfreiberg.de
<https://www.geosfreiberg.de/de/>

Prof. Dr. Sabrina Hedrich
Telefon: +49 3731 39 2330
E-Mail: sabrina.hedrich@bio.tu-freiberg.de
<https://tu-freiberg.de/fakultaet2/bio/biohydrometallurgie-mikrobiologie>