



**TUBAF**  
Die Ressourcenuniversität  
Seit 1765



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Forschung, Technologie  
und Raumfahrt

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

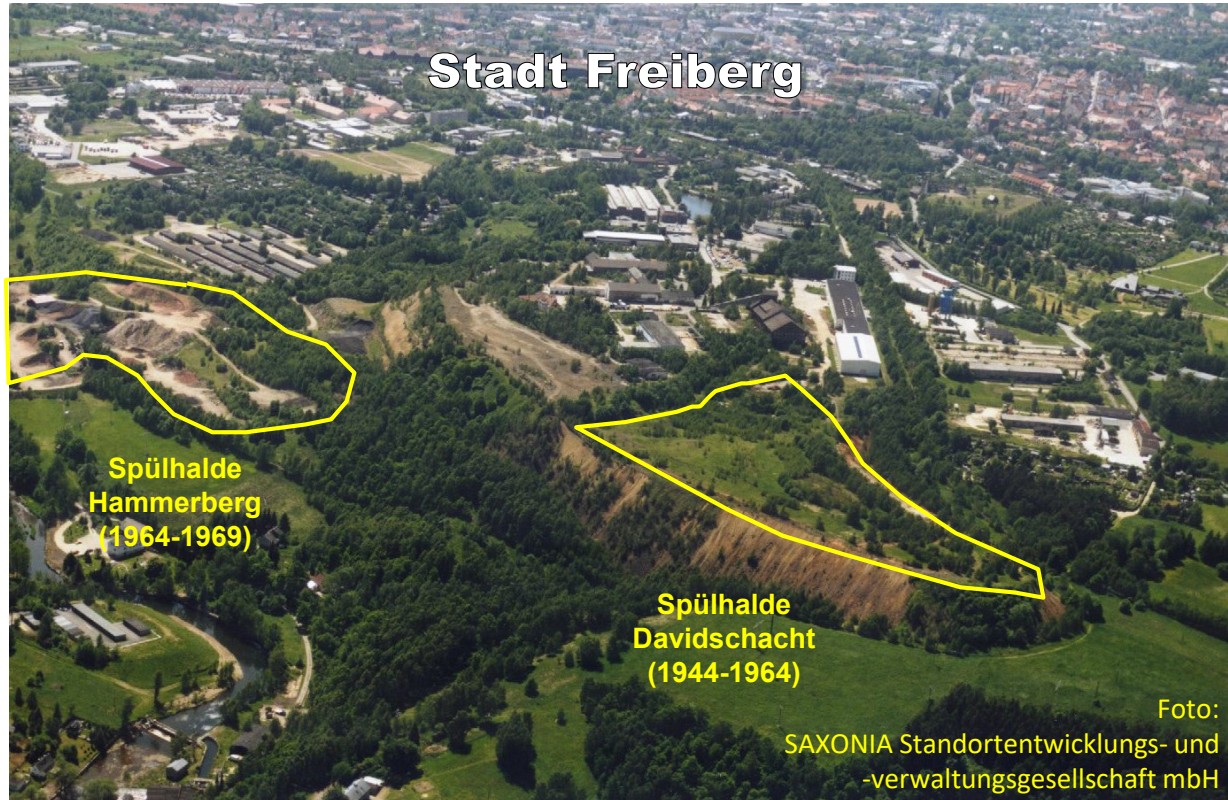


LANDESAMT FÜR UMWELT,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND GEOLOGIE



LANDESDIREKTION  
SACHSEN







Video MindMontan

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

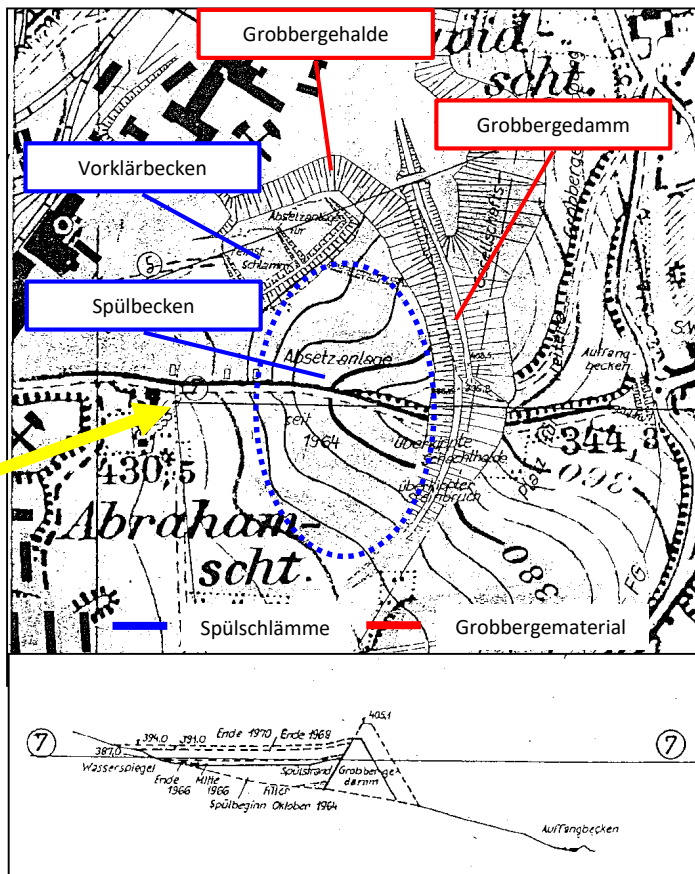


## MindMontan

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

Ein Film von Andreas Hiekel

1972

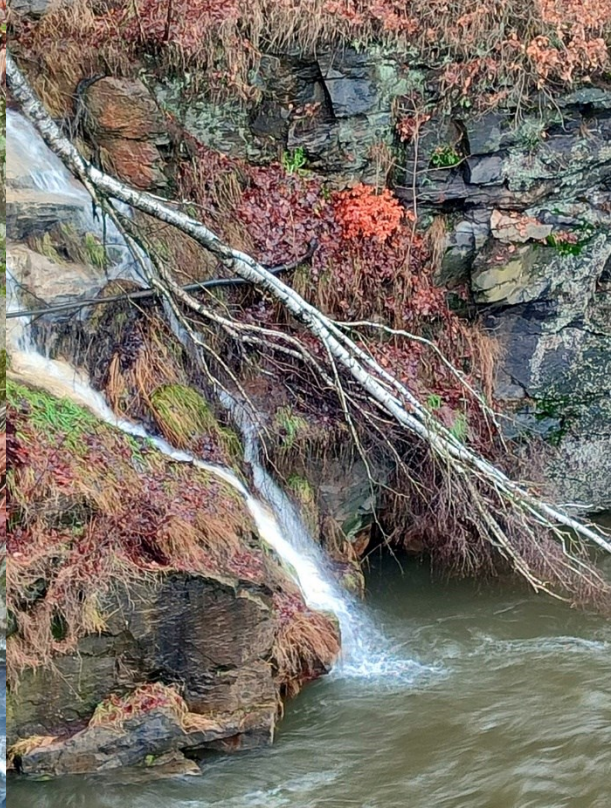
Spülhalde  
Davidschacht  
1944-1964Spülhalde  
Hammerberg  
1964-1969

### Teilflächen der Spülhalde Hammerberg (Grundlage historische Risskarte):

- 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, Felsersatz, Gneis
Einspül-volumen	Ca. 330.000 m <sup>3</sup>

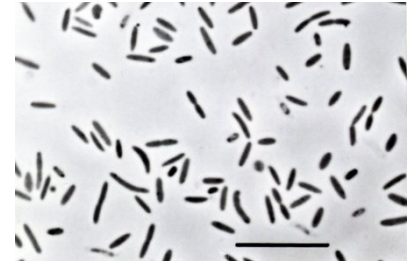




- Mikrobielle Sulfatreduktion → Umwandlung von Sulfat zu Sulfid (bzw.  $\text{H}_2\text{S}$ )
- Mikroorganismen benötigen dafür organischen Kohlenstoff oder Wasserstoff

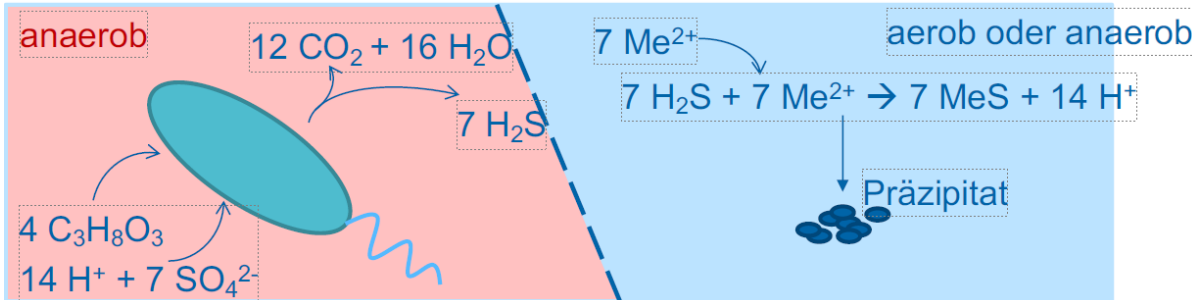
## Vorteile der mikrobiellen Sulfatreduktion:

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



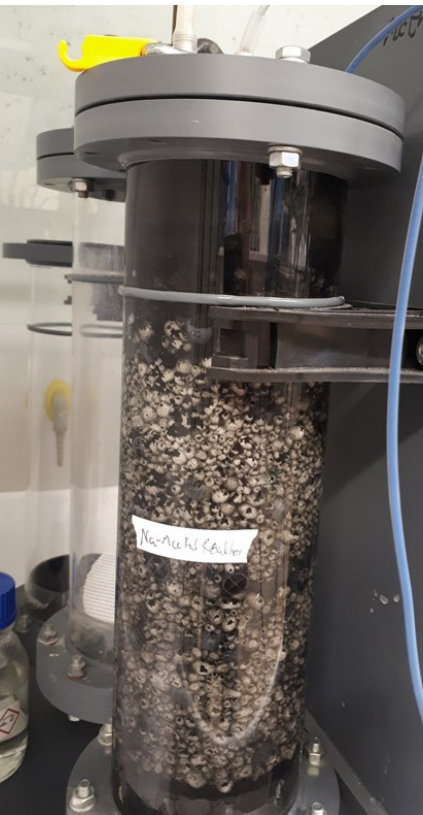
## Vorteile der mikrobiellen Sulfatreduktion:

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



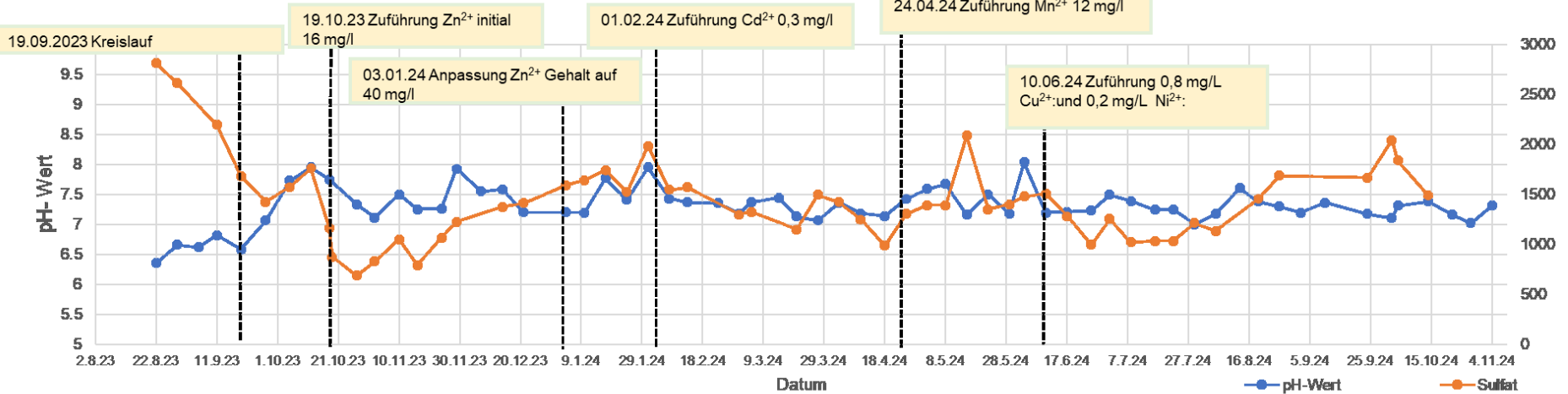
Metall	Löslichkeitsprodukt
$Cu^{2+}$	-35.9
$Cd^{2+}$	-28.9
$Zn^{2+}$	-24.5
$Ni^{2+}$	-21.0
$Mn^{2+}$	-13.3





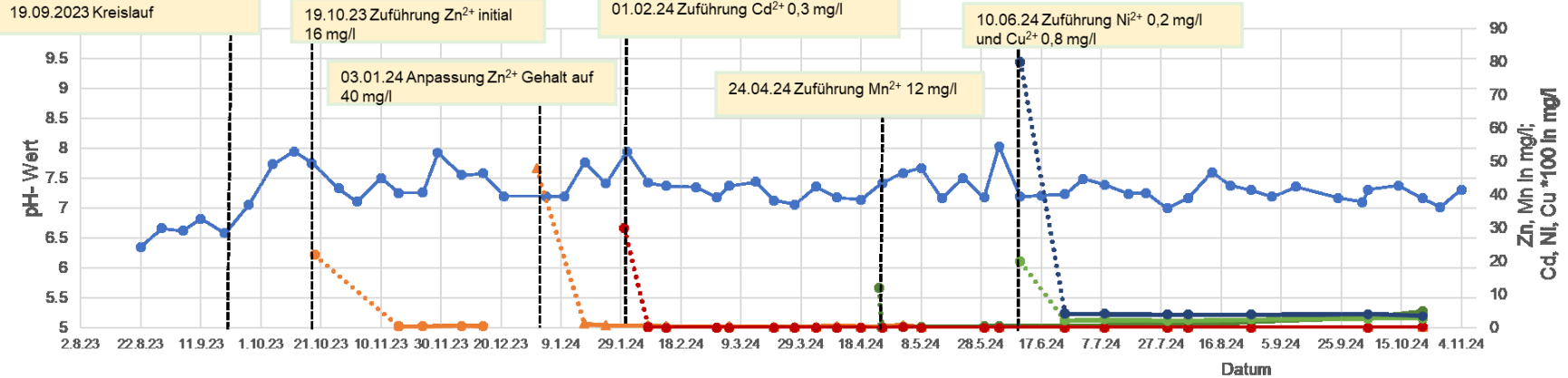


## Biomix - Sulfat



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

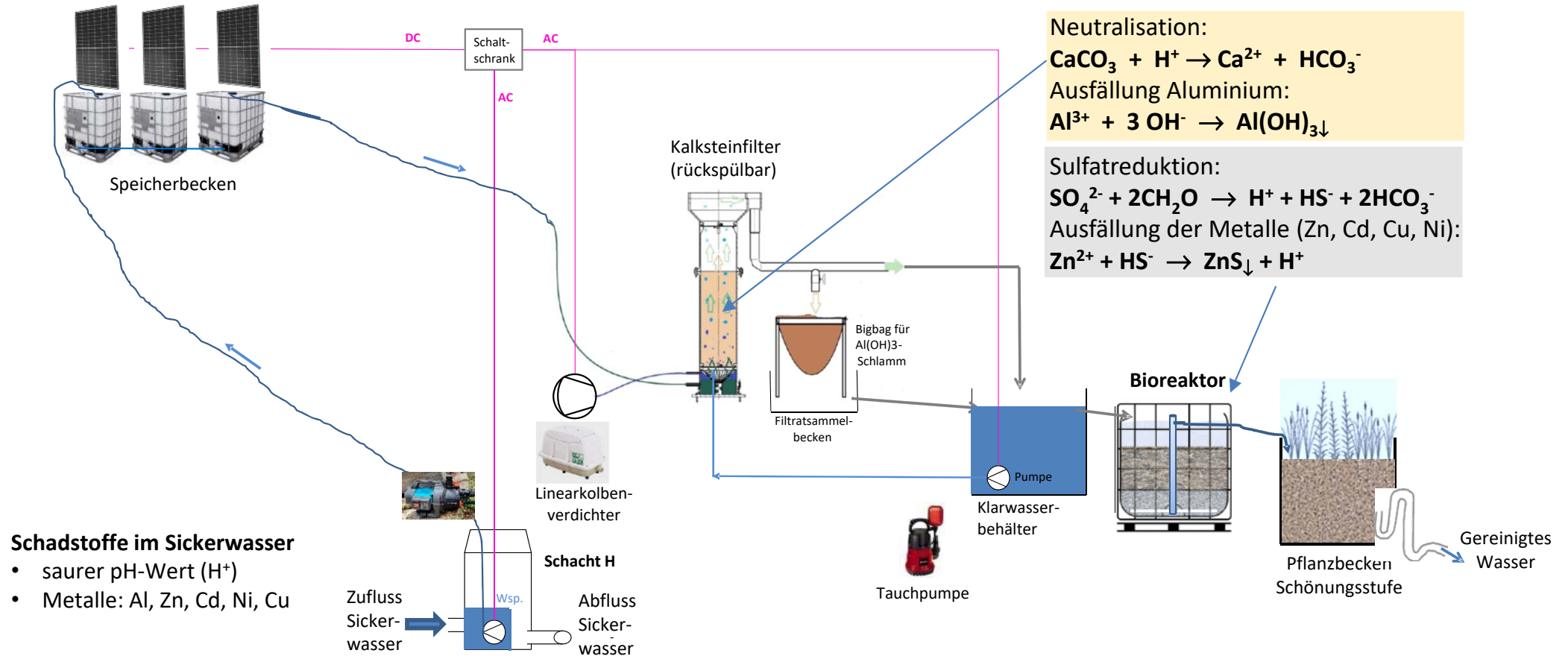
## Biomix – Zn/Mn/Cd/Ni/Cu-Gehalt



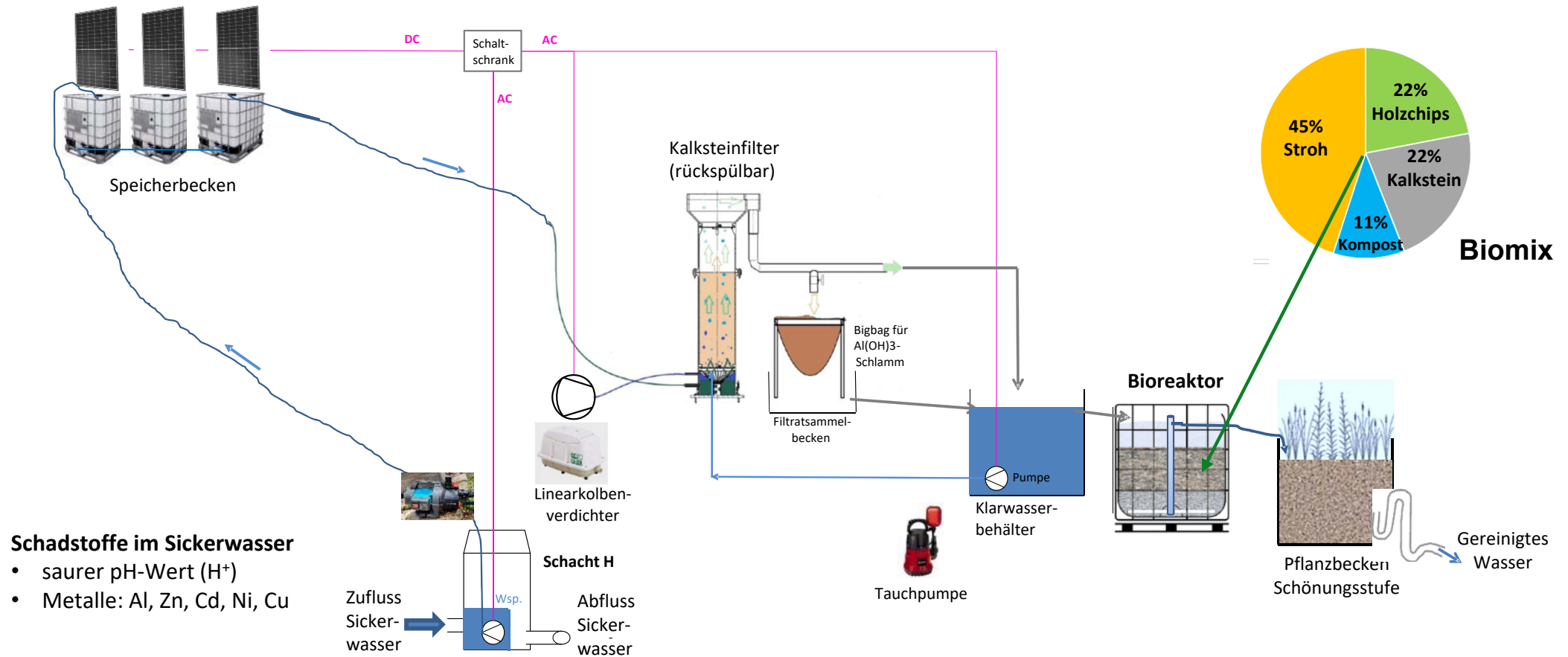
- Abtrennung aller Metalle (Mn, Cd, Cu, Ni, Zn) als Metallsulfide in den Sulfatreduktionssäulen



# Schema der Pilotanlage



# Schema der Pilotanlage



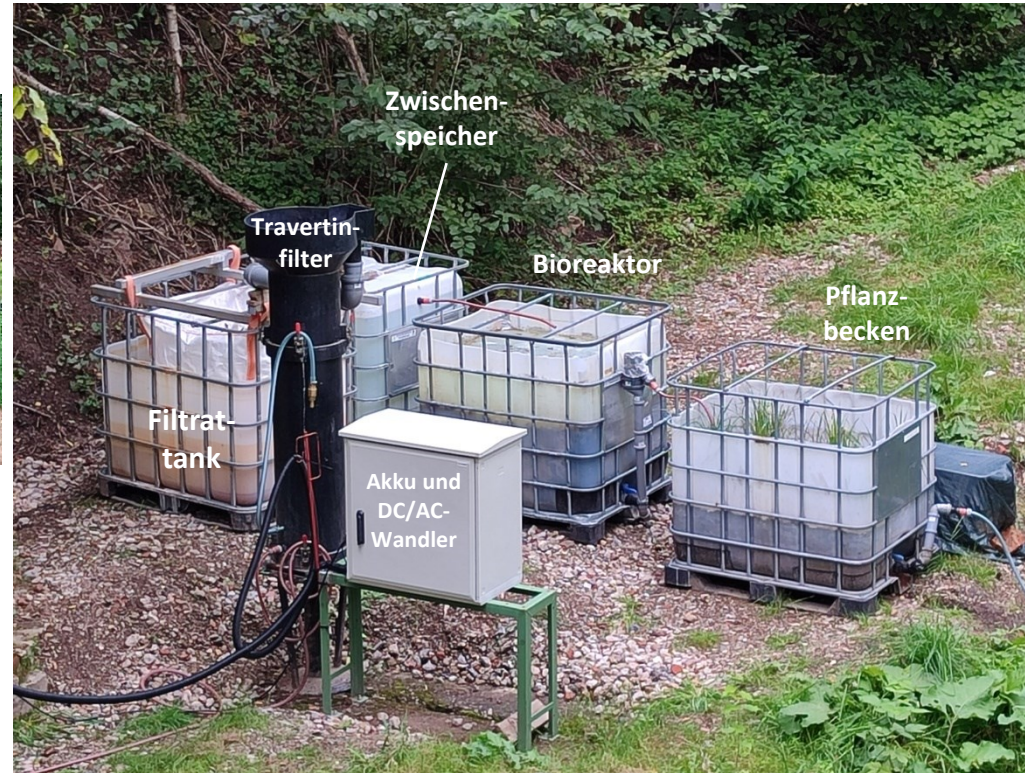


## Chronik: Test / Aufbau / Inbetriebnahme / laufender Betrieb

- 2024:
  - April: Vorbereitung der Aufstellflächen
  - 05.08.2024: Start regulärer Betrieb
  - 21.11.2024: Betrieb eingestellt, Anlage winterfest gemacht
  - 27,4 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup> Wasser behandelt (Stand 12.11.2025)

# Aufbau der Pilotanlage

## PV Module und Speicher IBC





# Ergebnisse Al-Abtrennung

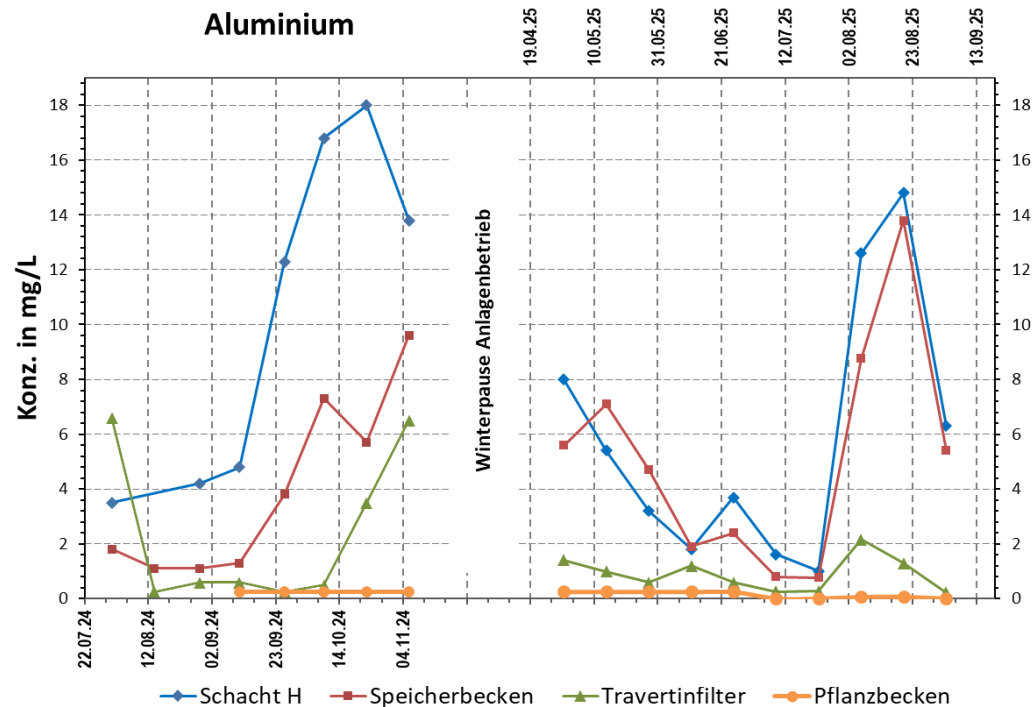


G.E.O.S.



TUBAF  
Die Ressourcenuniversität  
Seit 1765.

## Speicher IBC und PV-Module



# Ergebnisse Zn-Abtrennung

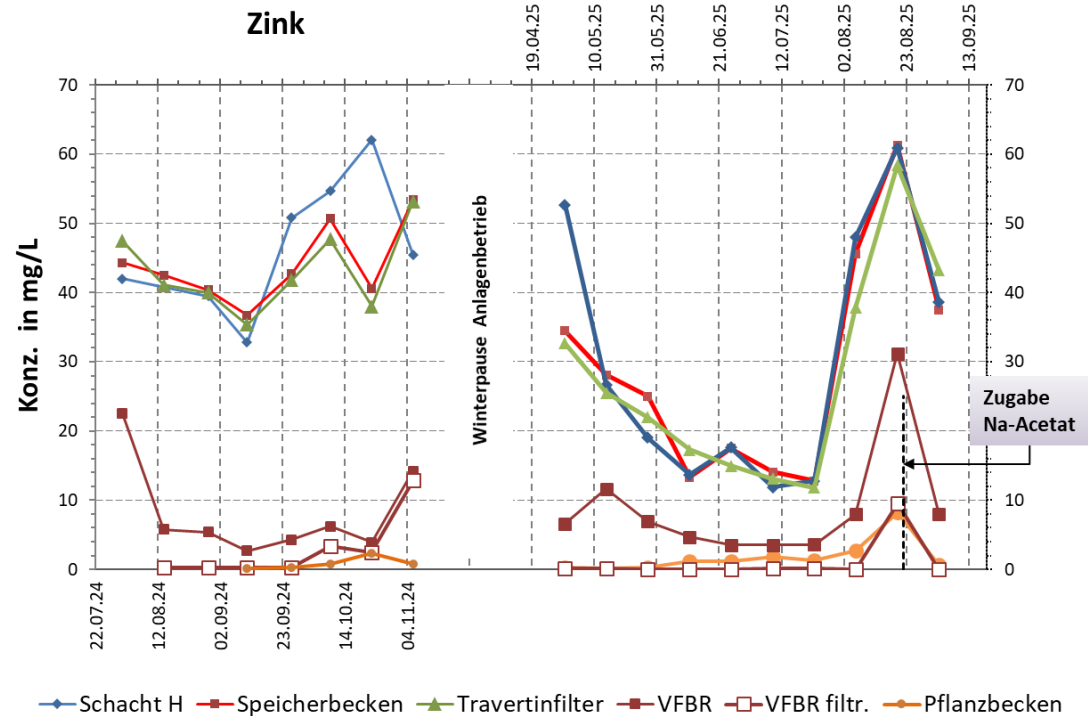


G.E.O.S.



TUBAF  
Die Ressourcenuniversität  
Seit 1765

Weißer Ausfällungen auf dem Pflanzbecken (ZnS)



## Stilllegung der Anlage und Winterfestmachung



<b>Wasserdurchsatz</b>			<b>2024</b>	<b>2025</b>
	Start Betrieb		18.07.2024	04.04.2025
	bis		13.11.2024	15.09.2025
	Wasserdurchsatz, kumulativ	m <sup>3</sup>	27,4	71,6
	Wasserdurchsatz pro Tag	m <sup>3</sup> /d	0,23	0,44
<b>Mittlere Konzentration im Zulauf</b>				
	Aluminium	mg/L	10,5	5,8
	Zink	mg/L	45,6	30,2
	Cadmium	mg/L	0,34	0,23
<b>Mittelwert Behandlungseffizienz</b>				
	Aluminium	%	94,0	96,2
	Zink	%	98,5	93,6
	Cadmium	%	98,5	98,3
<b>Abgetrennte Metallmengen</b>				
	Aluminium	g	270	402
	Zink	g	1232	2024
	Cadmium	g	9,2	16,1
<b>Volumetrische Abtrennrage Zn (im Bioreaktor)</b>		g Zn/(m <sup>3</sup> × d)	18,5	21,0



# Selected study sites in Saxony

...for development of passive treatment systems

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

Vorfluter: Schwarzwasser



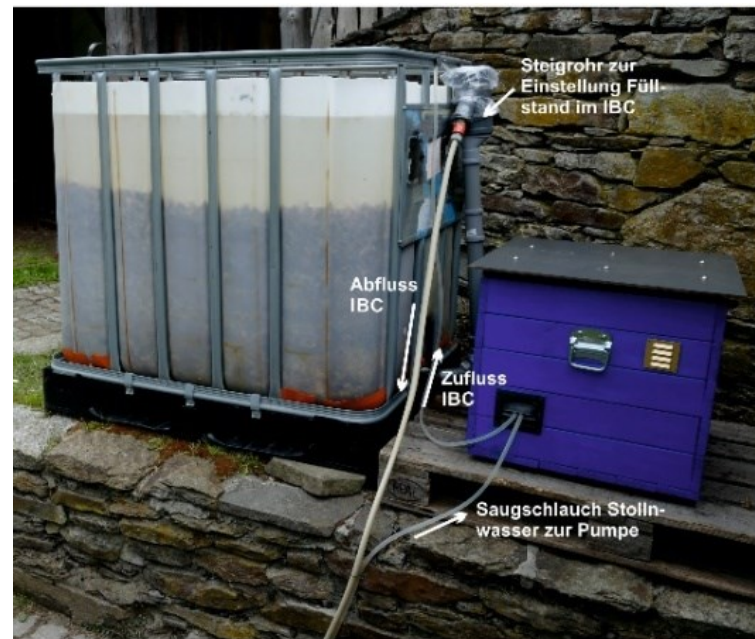
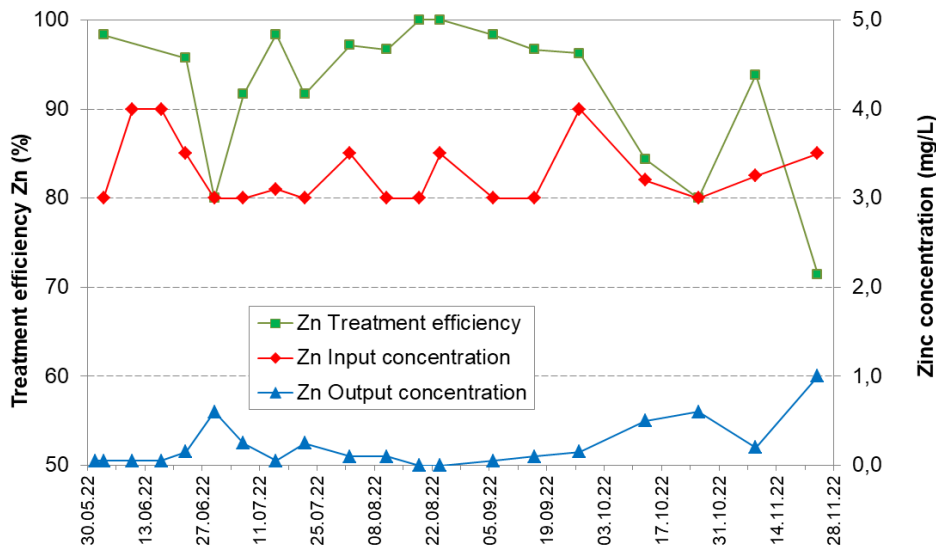
## St. Christoph Grube

- 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 Ehrenfriedersdorf
Q	L/s	4
pH	-	7.1
SO <sub>4</sub>	mg/L	1050
Al	mg/L	0.2
Mn	mg/L	7.5
Zn	mg/L	<b>4.5</b>
As	µg/L	<b>1500</b>
Cd	µg/L	8.3
Cu	µg/L	2.6
Fe	µg/L	<b>9000</b>
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

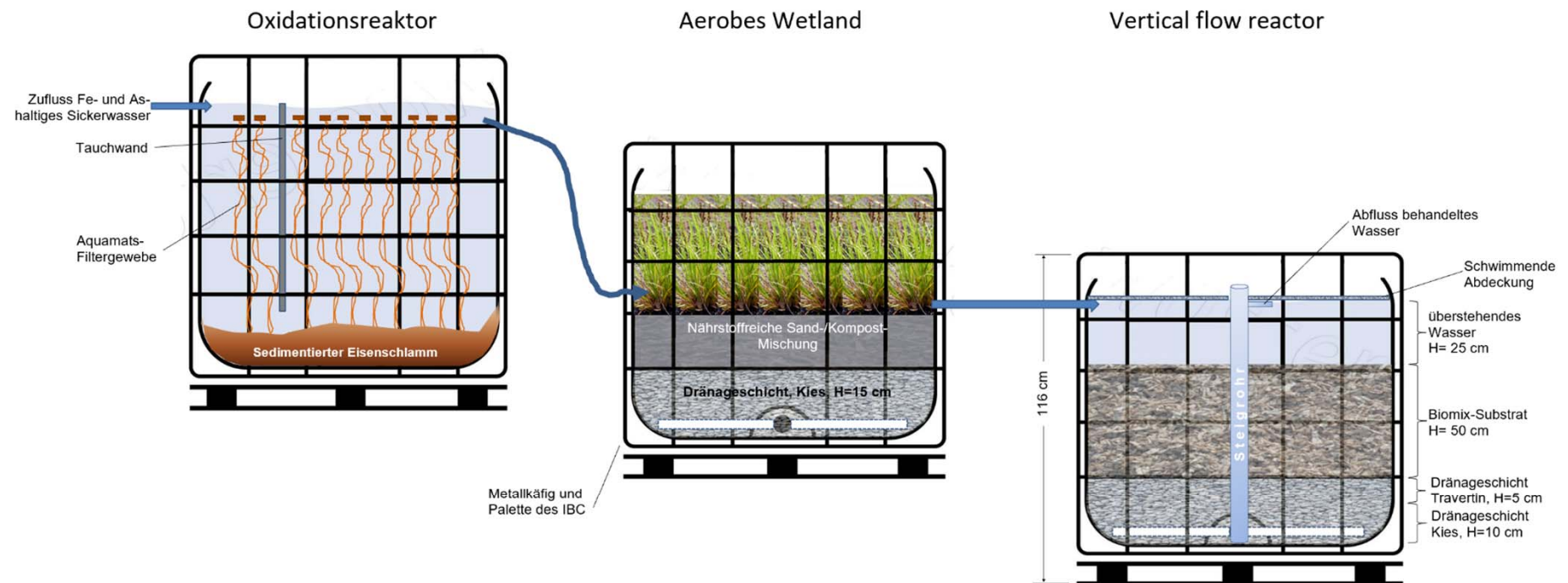


# Selected study sites in Saxony

...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





# 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](mailto: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](mailto:sabrina.hedrich@bio.tu-freiberg.de)  
<https://tu-freiberg.de/fakultaet2/bio/biohydrometallurgie-mikrobiologie>