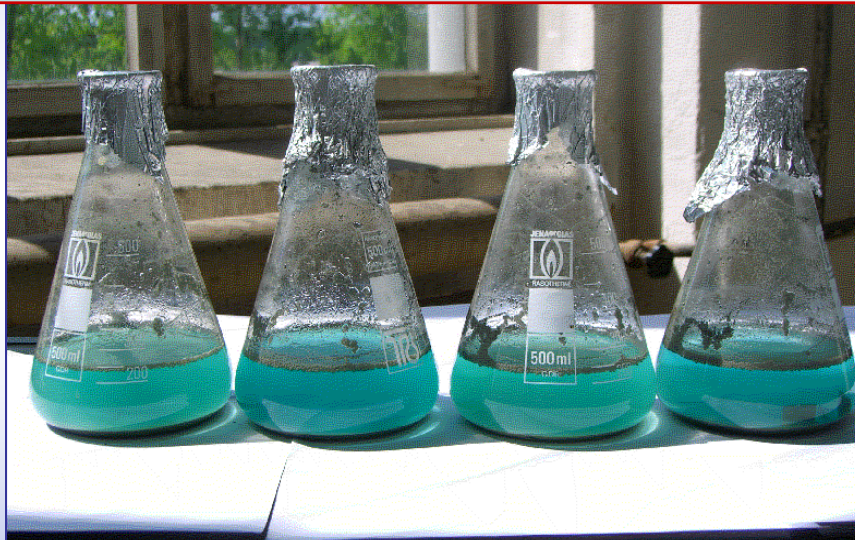


MIKROBIELLE LAUGUNG VON HALDEN- SUBSTRATEN UND INDUSTRIELLEN ROHSTOFFEN



Dr. S. Willscher, Technische Universität Dresden

Institut für Abfallwirtschaft und Altlasten



TU DRESDEN
*Institute of Waste Management
and Contaminated Site Treatment*

**3. Workshop
Innovationsforum
GEOBIOTECHNOLOGIE**

Inhalt

1. Beispiele für die Weltproduktion bedeutender Metalle
2. Vor- und Nachteile von Biolaugungsprozessen
3. Autotrophe und heterotrophe Laugungsprozesse – Überblick über international durchgeführte Arbeiten
4. Eigene Arbeiten auf dem Gebiet der Laugung von Haldenmaterialien und Reststoffen
5. Weitere eigene Arbeiten zur Biosorption
6. Ausblick



1. Heutige Weltbergbau-Produktion wichtiger Metalle

Weltproduktion von Cu (1000 metric tons)

Land	2005	2006	2007
Australia	927	859	860
Canada	567	607	585
Chile	5320	5360	5700
China	755	890	920
Indonesia	1070	816	780
Kazakhstan	402	457	460
Mexico	429	338	400
Peru	1010	1049	1200
Poland	523	512	470
Russia	700	725	730
Zambia	436	476	530
US	1140	1200	1190
Other Countries	1720	1835	1800
World	15000	15100	15600

Weltproduktion für Au (metric tons)

Land	2005	2006	2007
Australia	262	244	280
Canada	119	104	100
China	225	245	250
Indonesia	140	164	120
Peru	208	203	170
Russia	169	159	160
South Africa	295	272	270
US	256	252	240
Other Countries	793	818	920
World	2470	2460	2500



2. Vor- und Nachteile von Biolaugungsprozessen

Vorteile

Ökonomie

- Einfache Prozesse (Verfahren, Wartung, personalsparend, meist einfaches Wachstum der Organismen)

Umwelt

- Keine SO₂- Emissionen, geringerer Energieverbrauch (weniger CO₂- Emissionen) durch niedrige T und p, weniger Abwasserbelastung

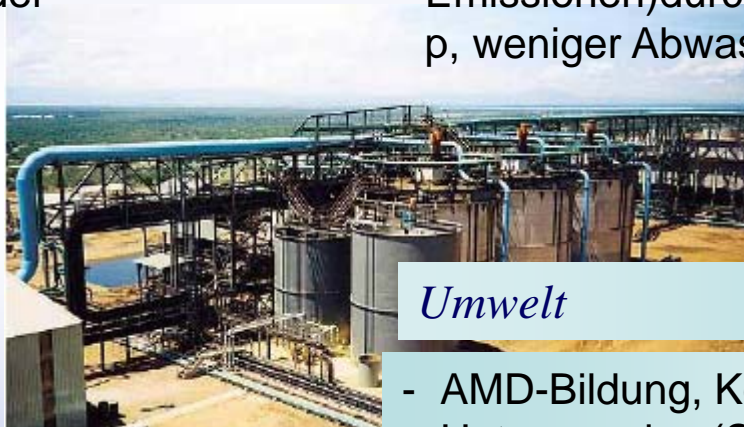
Nachteile

Ökonomie

- Langsame Prozesse im Vergleich zu anderen metallurgischen Verfahren (geringere Produktivität, geringere Profite, Verzögerung der Amortisation neuer Anlagen)

Umwelt

- AMD-Bildung, Kontamination des Untergrundes (Säure, Sulfat, Schwermetalle, As, Ockerbildung im Abstrom)
- Sorgfältige Planung notwendig



Technische Durchführung von Biolaugungsprozessen

Haldenlaugung



Preiswerte, relativ einfache
Konstruktion

v.a. für die Cu- Laugung aus Armerzen
sekundärer Sulfide (0.1-0.4%)

Tanklaugung



Teurer durch Verfahrenstechnik und
Belüftung

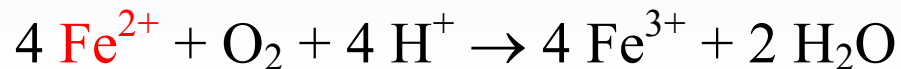
Meist für Au aus refraktären Konzentraten
als Vorbehandlungsstufe (10-150 g/t)



3. Biolaugungs- Prozesse

Allgemeiner Mechanismus autotropher mikrobieller Laugungsprozesse

Biooxidation von reduziertem Schwefel und Eisen



Chemische Redoxreaktion



auch biologische
Oxidation



Heterotrophe Biolaugungs- Prozesse

Allgemeiner Mechanismus heterotropher mikrobieller Verwitterungsprozesse

Organischer Kohlenstoff
Nährstoffe
Elektronenakzeptoren
(O_2 , Fe(III), Mn(IV))

+

Mikro-
organis-
men



Metabolite +
Biomasse (+
Fe(II)_{solv} / Mn(II)_{solv})

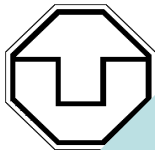
Festes Laugungs-
Material (Erze, Mine-
rale, Boden, Abfälle)

+

Metabo-
lite

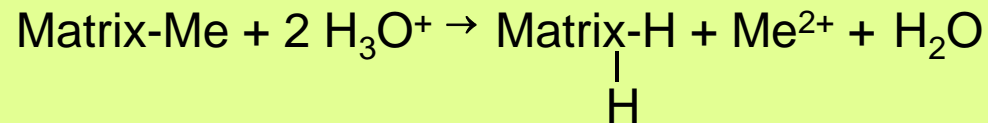


Gelöste
Verbindungen
(Ionen, Komplexe)

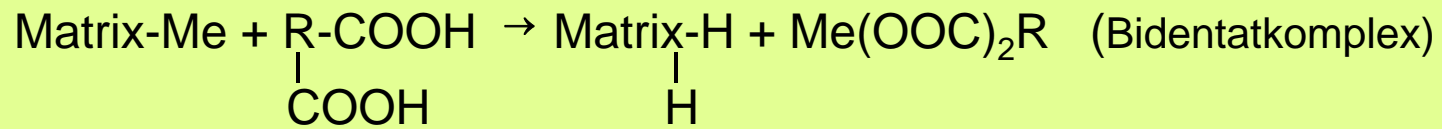


Wirkprinzipien heterotropher Biolaugungsprozesse

1. Ionenaustausch durch freigesetzte H_3O^+ -Ionen

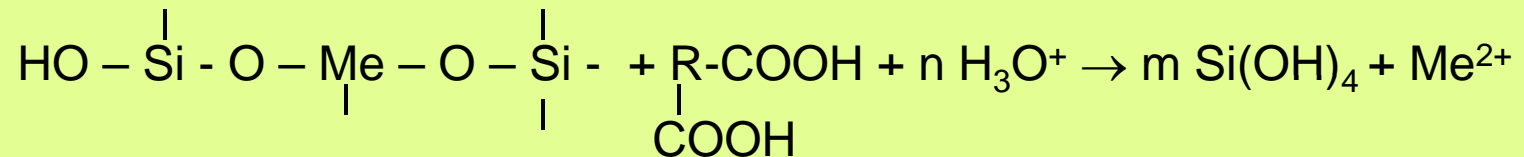


2. Komplexbildung durch freigesetzte organische Metabolite

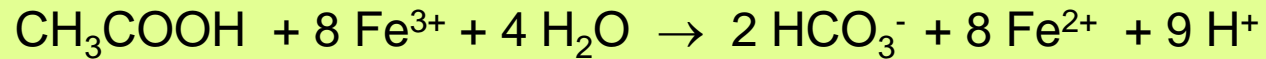
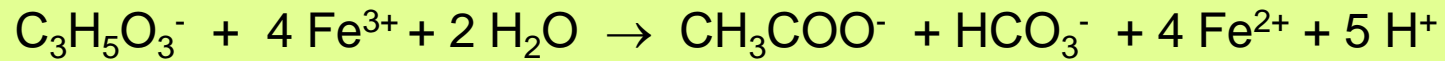


➡ Selektive Laugung ist möglich (Komplexbildungskonstante und –energie)

3. Hydrolyse des Laugungsgutes und Freisetzung der Metalle



4. Reduktion des Laugungsgutes und Freisetzung der Metalle



Σ: Laugung von Oxiden, Hydroxiden, Silikaten, Carbonaten, Phosphaten durch heterotrophe Laugung möglich



Überblick über international durchgeführte Arbeiten

(1) Mikrobielle Laugung von Schlacken und Aschen

- autotrophe und heterotrophe Laugung ist möglich
- am häufigsten gelaugte Metalle: Cu, jetzt auch Ga, V, Ti
- z.B. Schlacken aus der Metallurgie (autotroph)
- Aus Aschen mit Hilfe von Silikat-Bakterien (heterotroph)



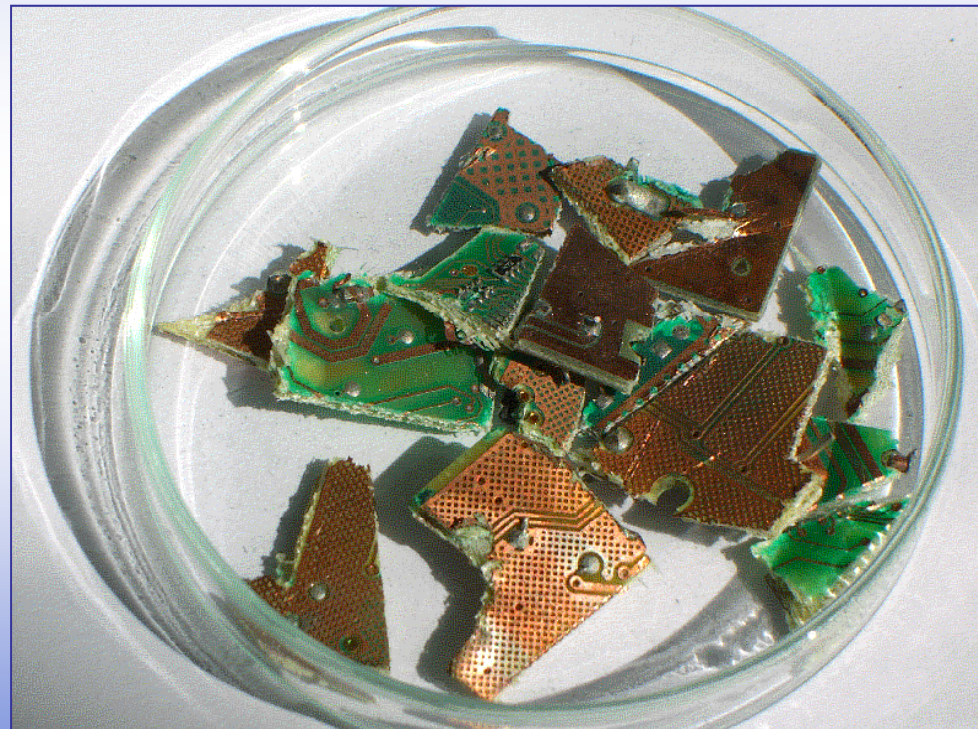
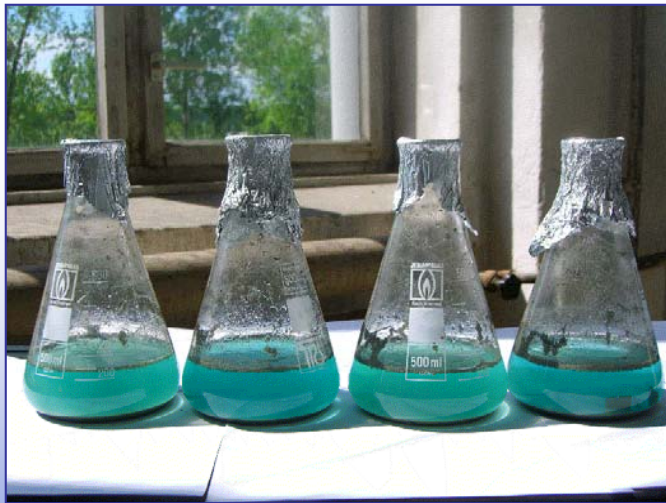
(2) Laugung von älteren Tailings mit höheren Metallgehalten

- Meist autotrophe Laugung (sulfidische Erze)
- Bevorzugte Metalle: Cu, Ni
- Auch Laugung von Tailings aus der Fe-Gewinnung (Revers-Flotations-Tailings)
- z. B. Laugung im Rührtank (Cu, Au)
- auch Einsatz alkalitoleranter MO bekannt (pH 8.9)



(3) Mikrobielle Laugung von Elektronikschrott

- v.a. die Laugung mit Acidophilen wird angewandt
- Durchführung in verschiedenen Reaktortypen, noch in der Versuchsphase
- Gelaugte Metalle: Cu, Cr, Ni, Pb, Zn



(4) Laugung von metallhaltigen Abprodukten

- Einsatz z.B. von Altbatterien (Co, Li)
- Gewinnung von Mn aus Mn-haltigen Rückständen
- Laugung aus Rückständen der Cu-, Stahl- und Recyclingindustrie

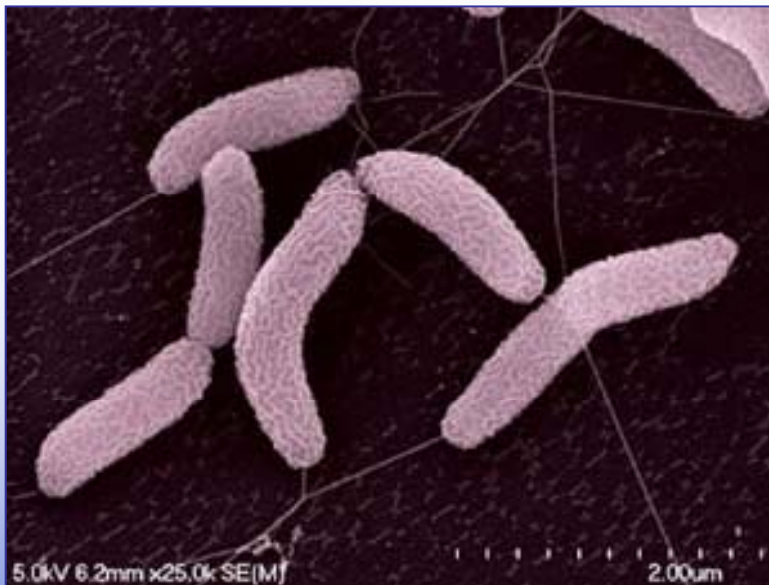


- z.B. Durchführung von Rührtank-experimenten



(5) Reduktionsprozesse mit Hilfe Fe-reduzierender Bakterien

- Laugung von Chromit-Bergematerial (große Tonnagen vorhanden)
- V.a. Gewinnung von Ni und Co als Alternative zur Pyrometallurgie



(6) Laugung aus kontaminierten Sedimenten

- Laugung von Cu, Zn, Mn
- Sowohl autotrophe als auch heterotrophe Laugung sind möglich



(7) Laugung von edelmetallhaltigen Abfällen

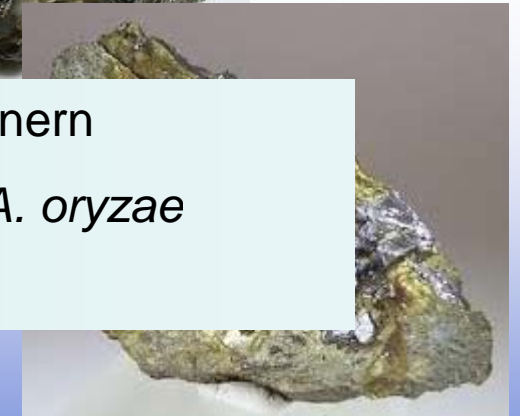
(a) Laugung von Ag, Au und Pt aus festen Materialien durch HCN- bildende MO

- Einsatz von *Chromobacterium violaceum*, *Pseudomonas fluorescens*, *P. plecoglossicida*
- Laugung von Abfallmaterial (Pt, Pt- Katalysatoren, Abfälle der Schmuckverarbeitung)
- Fo- Land: Schweiz



(b) Laugung von Au mit N- haltigen biogenen Komplexbildnern

- Fällung von gelöstem oder kolloidalen Au mit *A. niger*, *A. oryzae*
- Bioflotation von Au- Mineralen mit *Bac. fastidiosus*



(8) Fällung von Wertmetallen aus Abwässern

- Einsatz der mikrobiellen Sulfatreduktion
- Seit längerem technischer Einsatz im Cu-Bergbau
- Jetzt auch Anwendung acidophiler Sulfatreduzierer, selektive Metallrückgewinnung (z.B. Cu, Zn)

(9) Biosorption und Rückgewinnung von Wertmetallen

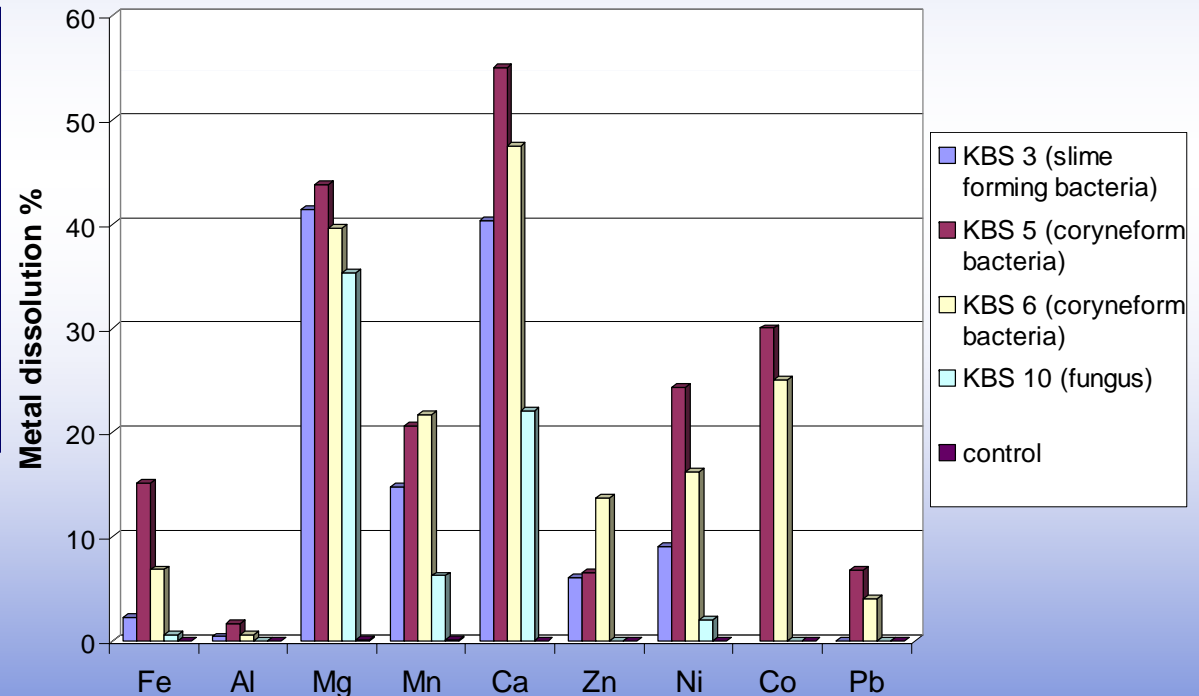
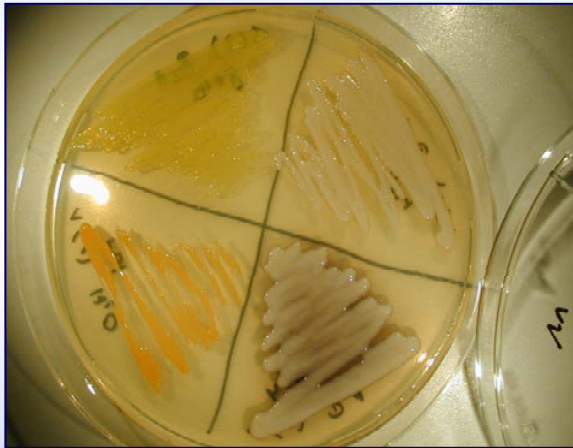
- Biosorption von Edelmetallen an Bakterien und Algen
- Herstellung von Nanopartikeln durch anschließende Umwandlung
(bisher v.a. Experimente mit Katalysatormaterial)

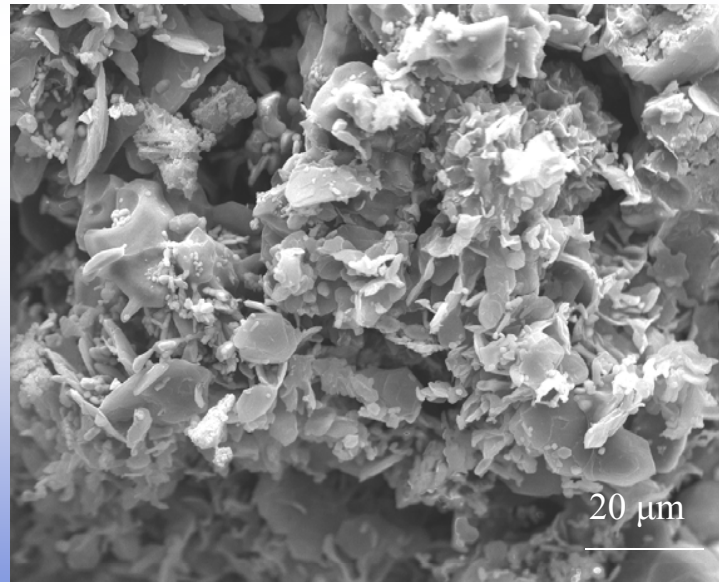
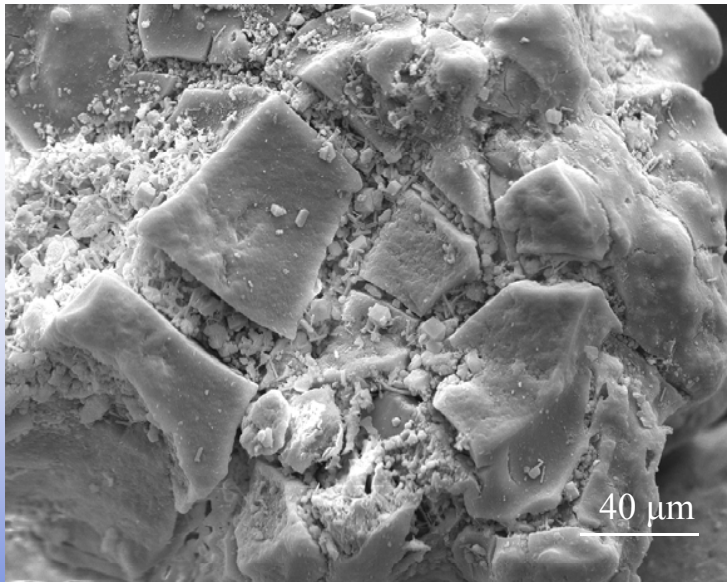
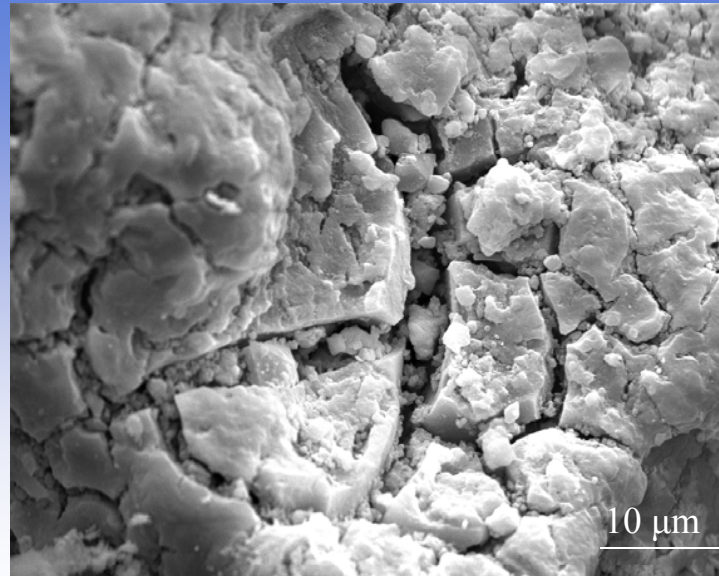
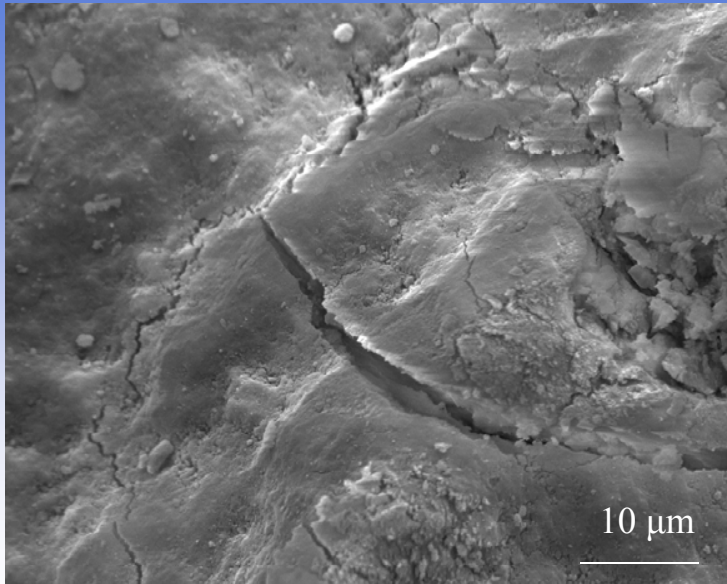


4. Eigene Arbeiten auf dem Gebiet der Laugung von Haldenmaterialien und Reststoffen

(1) Laugung von alkalischem Schlackenmaterial aus der Metallurgie

- Untersuchung der heterotrophen Laugungsaktivität von 11 verschiedenen MO-Stämmen (*Micrococcus*, *Dietzia natronolimnaea*, *Nocardiopsis metallica*), darunter 9 Bakterien, 1 Hefe, 1 Pilz





TU DRESDEN
*Institute of Waste Management
and Contaminated Site Treatment*

**Workshop Innovationsforum
GEOBIOTECHNOLOGIE**

(2) Laugung von saurem fluvialem Material aus dem historischen Goldbergbau

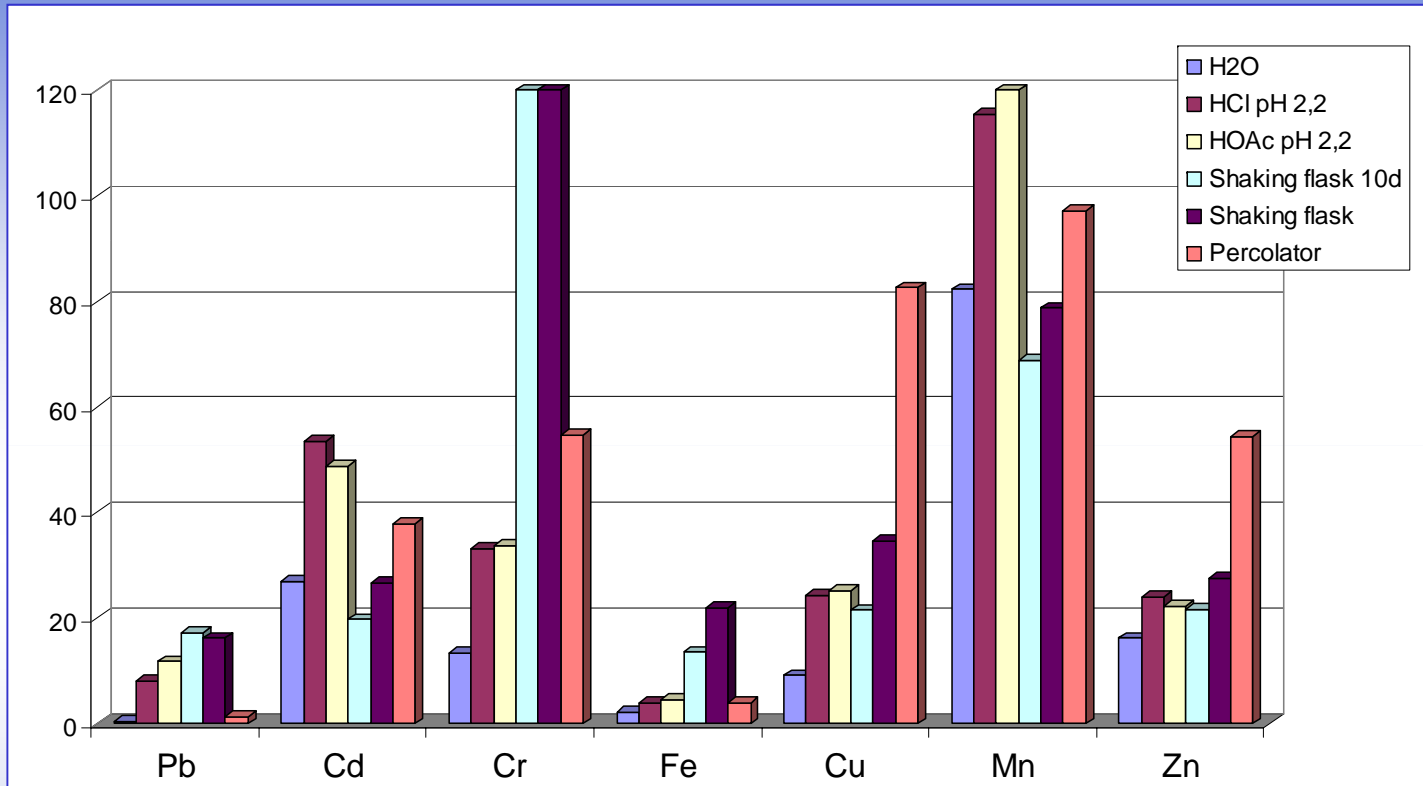


- Pyrit, Sphalerit, Chalkopyrit,
- Silikate
- bis 12% Plumbojarosit

- Autotrophe und heterotrophe Laugung des fluvialen Materials



Vergleich der chemischen und heterotrophen Laugung des Materials



Acidophile Autotrophe	Acidophile heterotrophe Bakterien	Acidophile Pilze
$10^4 - 10^5$ /ml	$10^5 - 10^7$	$10^3 - 10^5$



TU DRESDEN
*Institute of Waste Management
 and Contaminated Site Treatment*

**Workshop Innovationsforum
 GEBIOTECHNOLOGIE**

Mechanismen der Solubilisierung der Elemente aus dem fluvialen Tailingmaterial

Biooxidation von Sulfiden

Fe, S, As, Cu
(Cd, Zn)

Solubilisierung durch Ionenaustausch

Zn, Al, Mg, Cu, Cd, Mn,
Cr

Lösung von Oxiden

Cr

Solubilisierung durch Komplexbildung

Zn, Al, Mn, Mg, Cu, Cd,

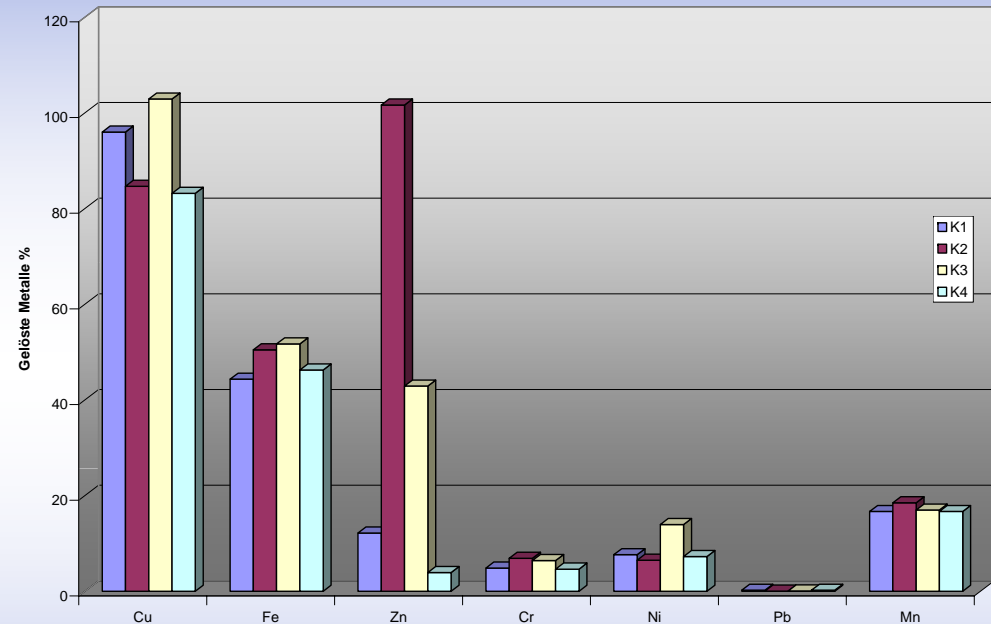
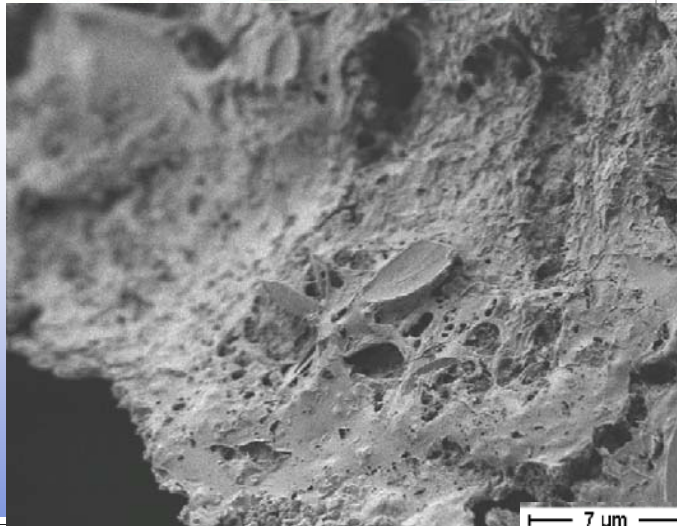
Reduktion

Mn



(3) Laugung von Tailingmaterial aus dem Kupferbergbau

(4) Laugung buntmetallhaltiger Verarbeitungsrückstände aus der Industrie

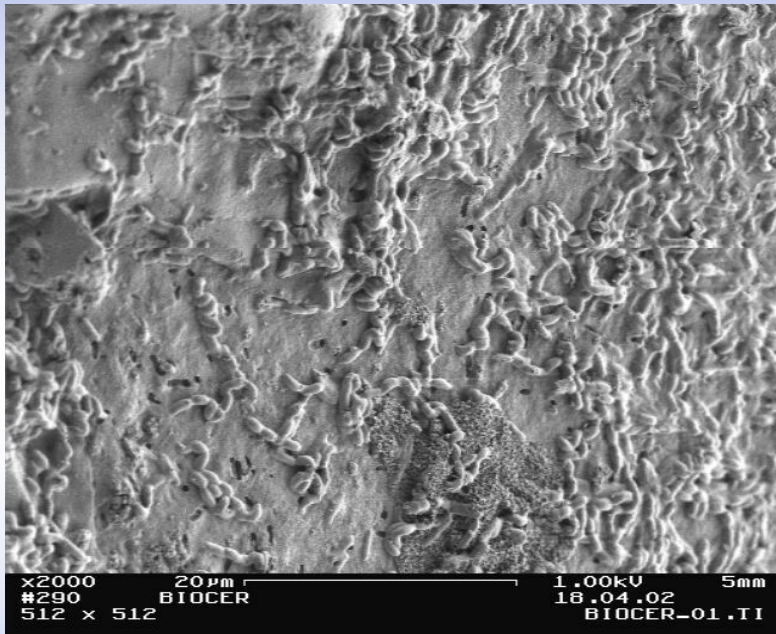


- relativ selektive Cu-Laugung, Zn als Begleitmetall in Lösung
- Fällung anderer Metalle mit Jarositen

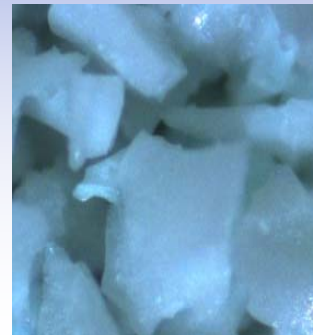


(5) Heterotrophe Laugung von Fe-Oxid-Schlamm

(6) Biosorption von U und Buntmetallen an biokeramischem Trägermaterial

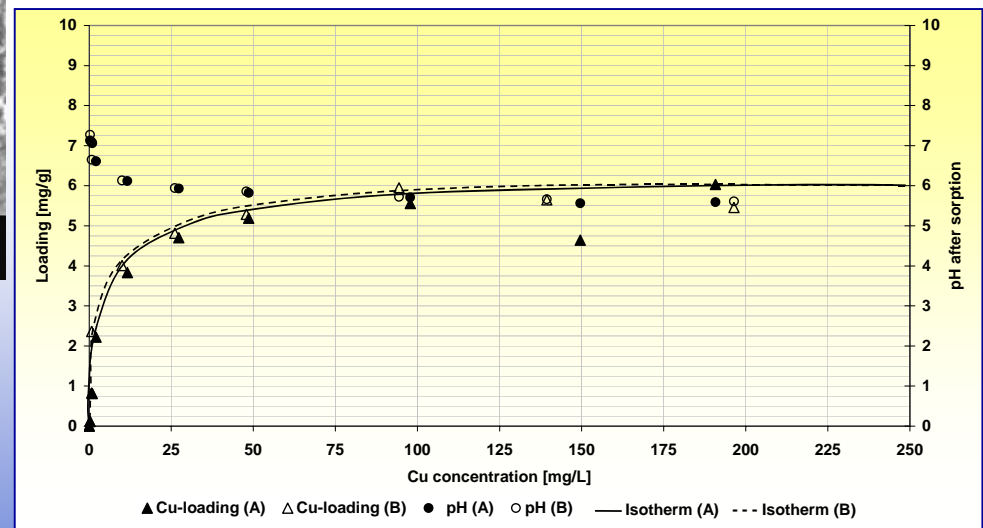


REM- Aufnahme der
Metrialoberfläche



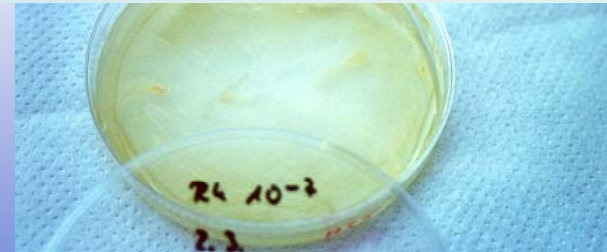
Isotherme für die
Biosorption von Cu

$$q_{eq} = 5.71 \text{ mg/g}$$

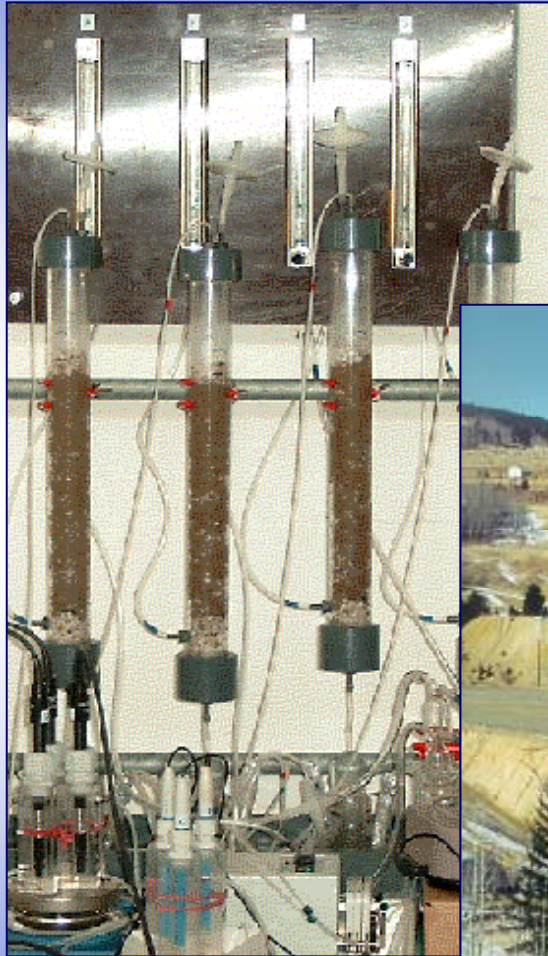


5. Ausblick

- Vielfältige Prozesse der Laugung von Metallen aus Rückständen von Bergbau und Metallurgie, sowie metallhaltigen Reststoffen
- Anwendung richtet sich nach Art der Metalle, dessen Speziation und Chemismus
- Mikrobielle Prozesse sind energie- und ressourcensparende Prozesse, da auch geringe Metallgehalte noch zu verarbeiten sind (v.a. Armerze, aber auch Rückstände wie z.B. Jarosite)
- Neben heterotrophen und autotrophen Laugungsprozessen bietet die Biosorption Möglichkeiten zur Abtrennung von Metallen
- Biohydrometallurgische Prozesse insgesamt bieten interessante Perspektiven für eine zukünftige Gewinnung von Metallen aus Abfallströmen und Rückständen von Bergbau und Metallurgie



Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



TU DRESDEN
*Institute of Waste Management
and Contaminated Site Treatment*

**Workshop Innovationsforum
GEOBIOTECHNOLOGIE**