

# Biomining von Bergbauhalden (mine tailings)

Axel Schippers

Arbeitsbereich Geomikrobiologie,  
Fachbereich Geochemie der Rohstoffe,  
BGR/ DERA



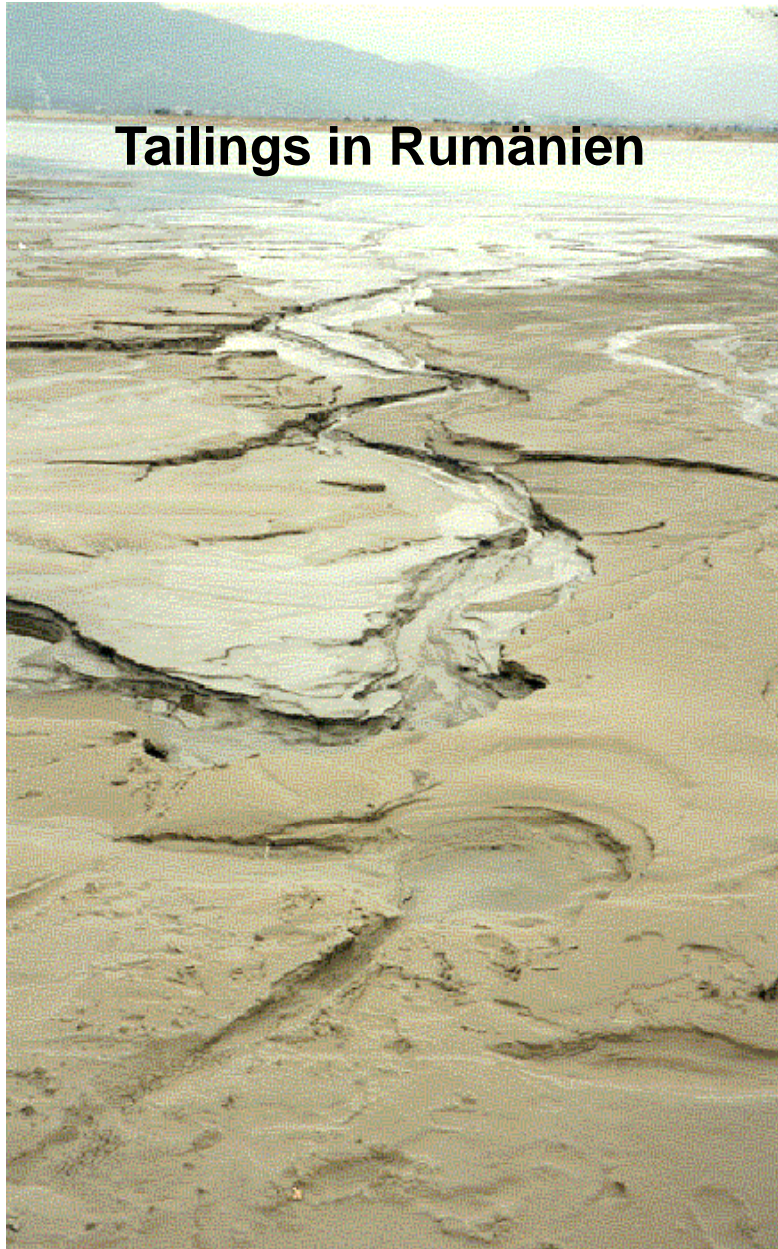
Bolivien

## Bergbauhalden (waste rock dumps) mit Sauerwässern (acid mine drainage)

Rumänien







## **Bergehalden (mine tailings): Flotationsrückstände der Erzaufbereitung**

**Tailings mit acid mine drainage, Peru**





# Sauerwasser (acid mine drainage) am Fuße einer Bergehalde aus Aufbereitungsabfällen, Schweden

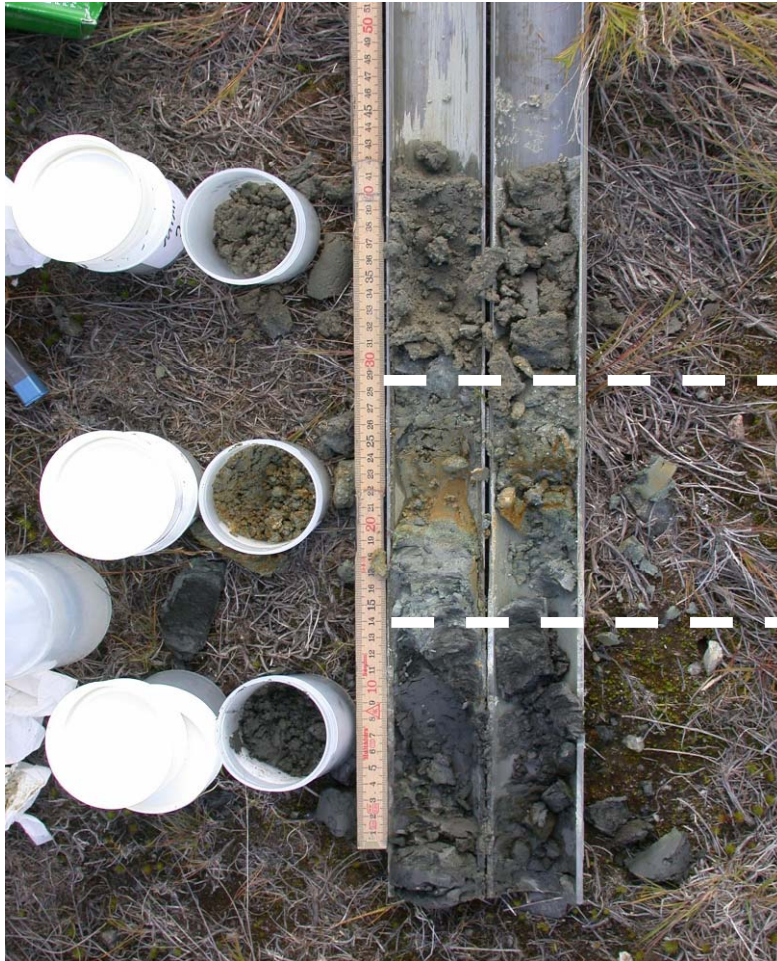




# Probenahme bis 6 m Tiefe auf der Bergehalde



# Bohrkern mit verschiedenen Zonen



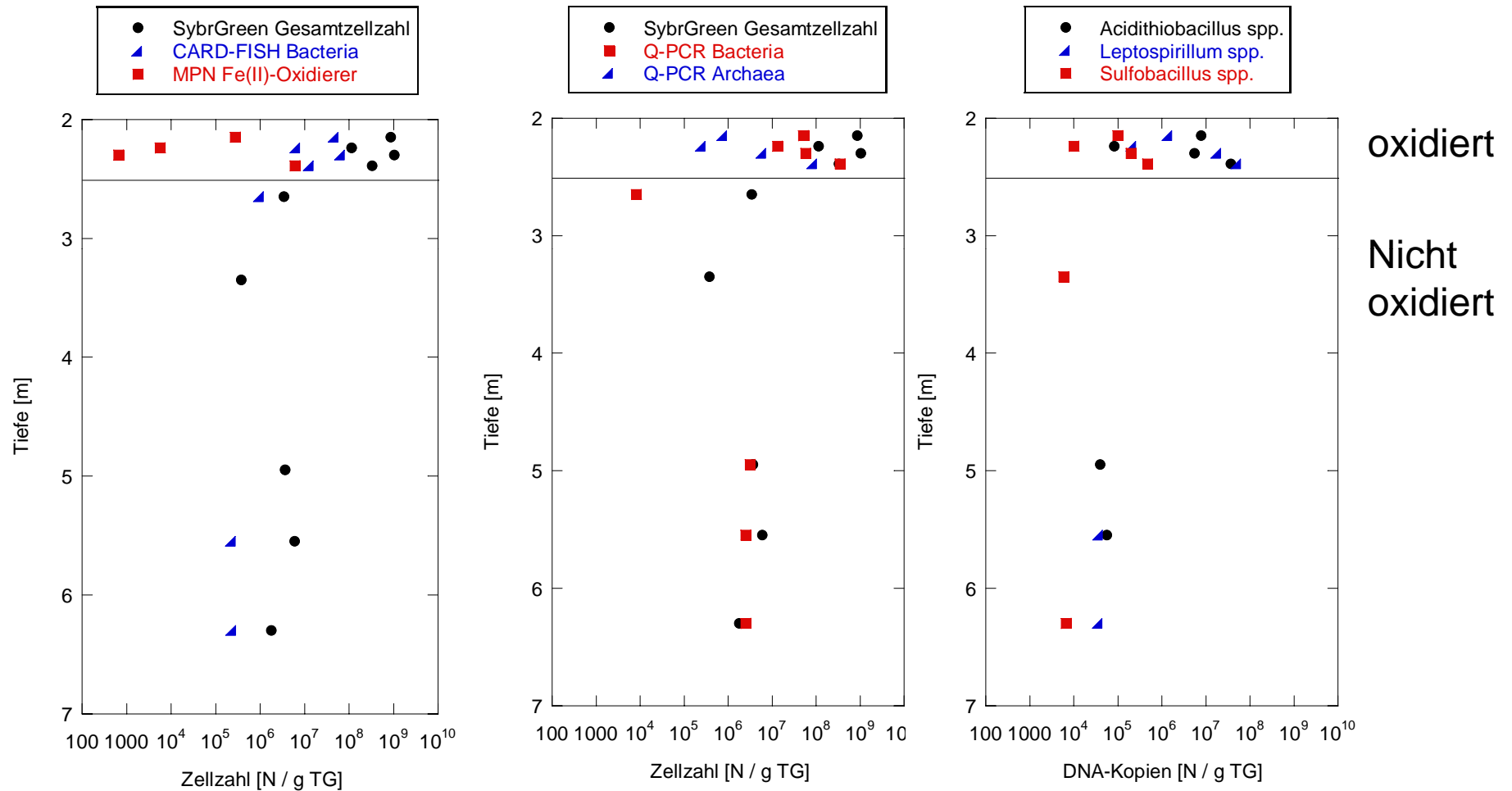
Erdabdeckung

oxidierte Zone, pH 3,5  
Pyrit-Oxidation

nicht oxidierte Zone  
pH 4,9



# Besiedlung der Bergehalde mit Mikroorganismen, Zellzahlbestimmung mit verschiedenen Methoden: Gesamtzellzahl (SYBR Green), lebende Bakterien (CARD-FISH), kultivierbare Fe(II)-Oxidierer (MPN), Bakterien und Archaeen (Q-PCR)

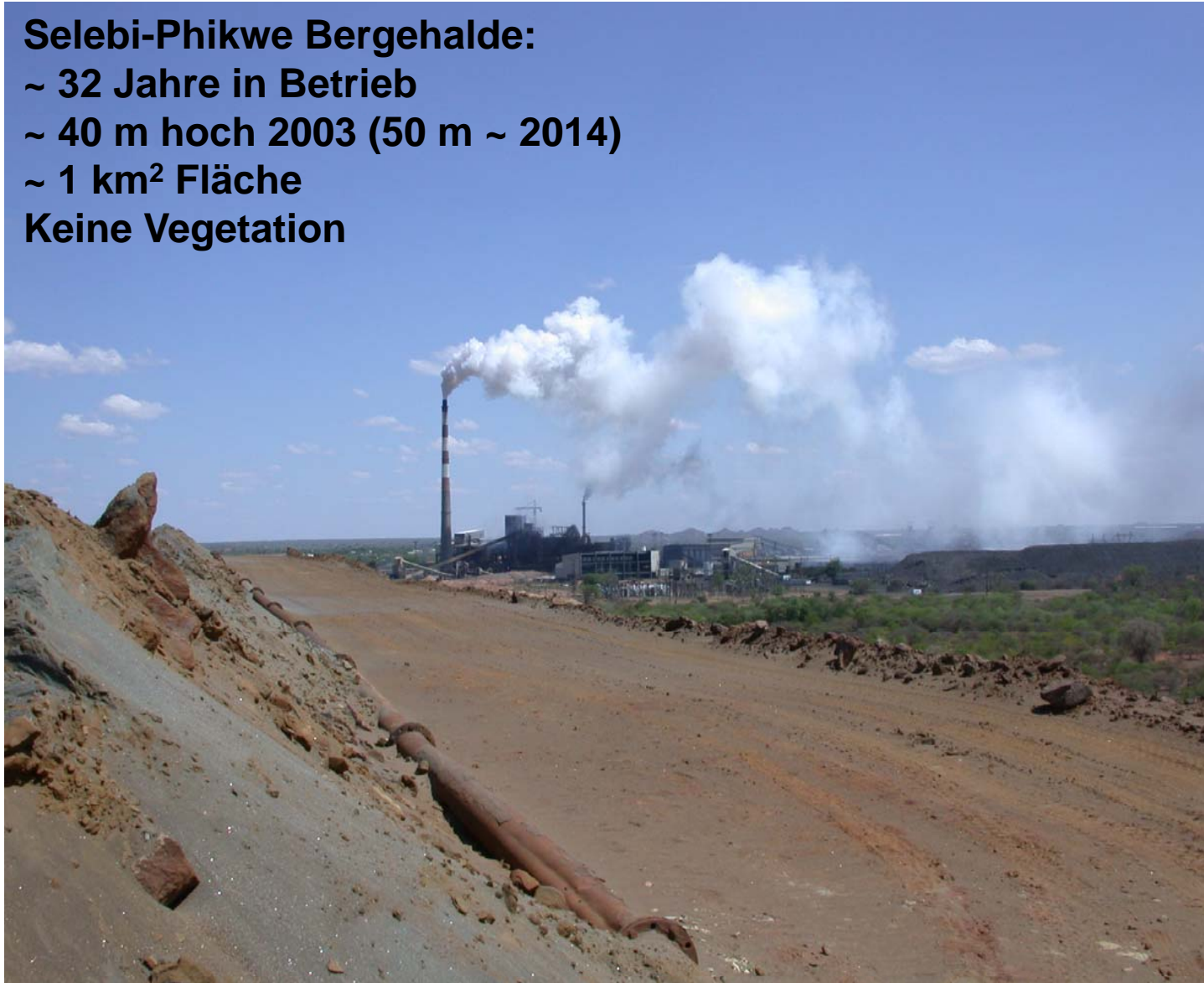


# Bergehalde aus Abfällen der Kupfer- und Zinkerzaufbereitung in Botswana, Afrika





**Selebi-Phikwe Bergehalde:**  
~ 32 Jahre in Betrieb  
~ 40 m hoch 2003 (50 m ~ 2014)  
~ 1 km<sup>2</sup> Fläche  
**Keine Vegetation**



## Frisch abgelagertes Berge-Material





## Verwittertes Berge-Material an der Oberfläche





**Sickerwasser (acid mine drainage):**  
**pH ~ 2,3**  
**4-4,5 g/L Sulfat**  
**0,5-0,9 g/L Eisen**  
**Andere Metalle**

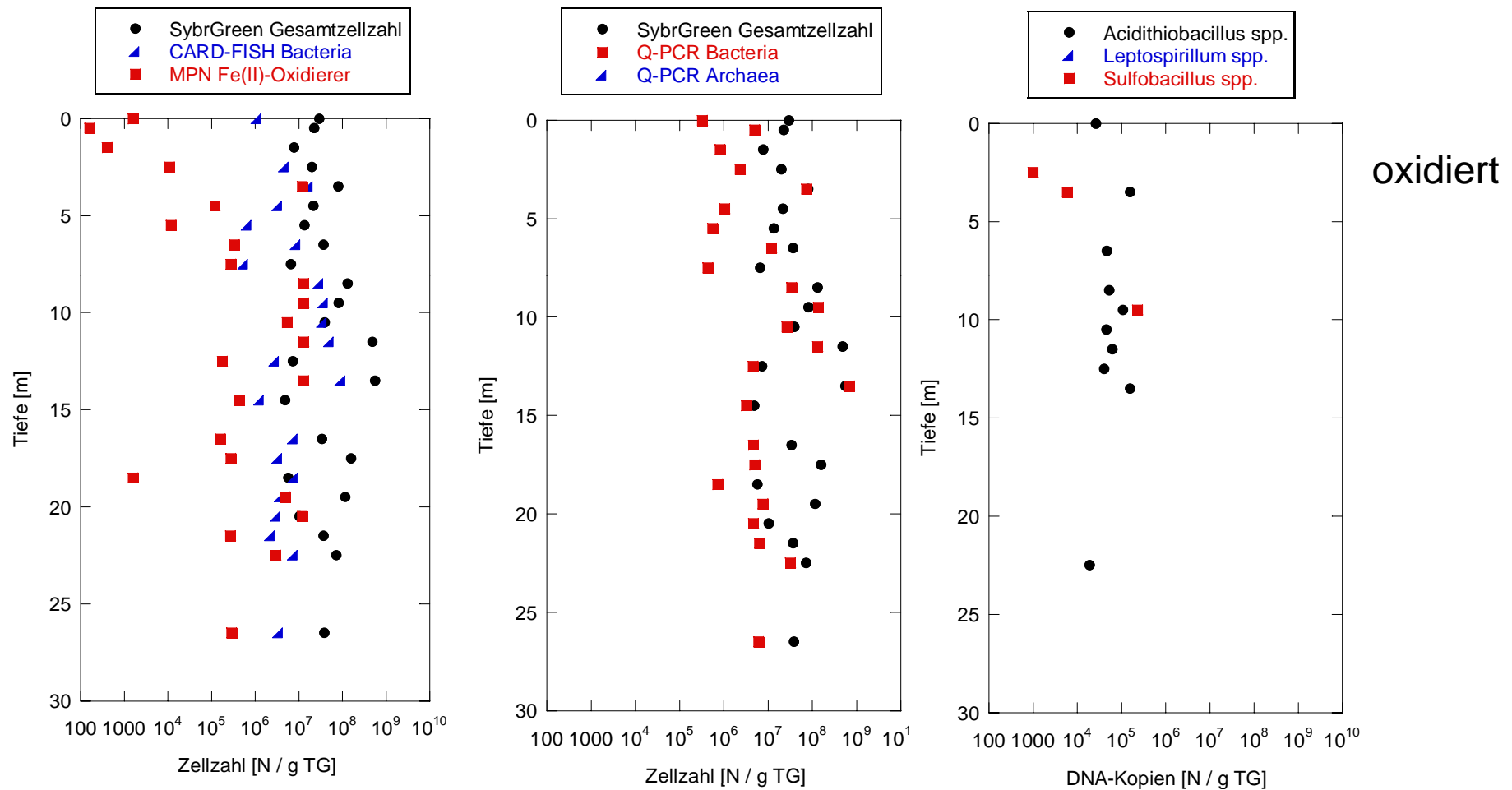




**Probenahme bis 25 m Tiefe  
(Nov. 2003, Geol. Dienst Botswana)**



# Besiedlung der Bergehalde mit Mikroorganismen, Zellzahlbestimmung mit verschiedenen Methoden: Gesamtzellzahl (SYBR Green), lebende Bakterien (CARD-FISH), kultivierbare Fe(II)-Oxidierer (MPN), Bakterien und Archaeen (Q-PCR)





# **Geomicrobiology of a high saline Mine Tailings Dump in the desert Atacama, Chile**

**Hananeh Korehi<sup>1</sup>, Bernhard Dold<sup>2</sup>, Axel Schippers<sup>1\*</sup>**

**1 BGR, Hannover**

**2. FCFM-Universidad de Chile, Departamento de Geología, Santiago de Chile.**

**Laufendes Projekt der DFG (SCHI 535/ 9-1)**

# ● Chañaral Bucht in der Atacama- Wüste

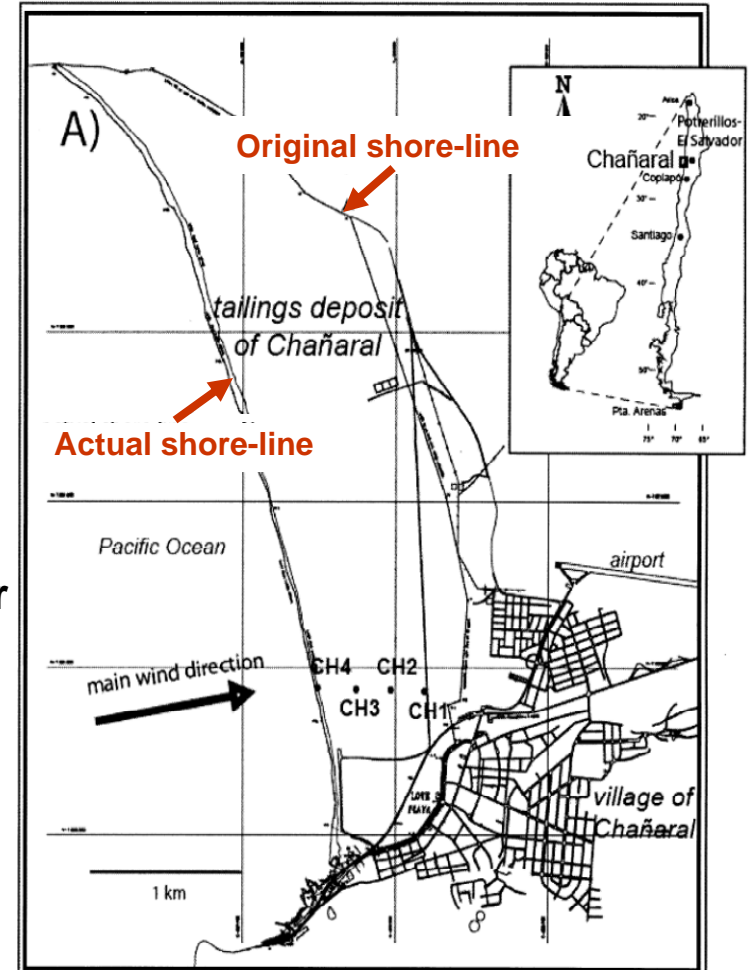


<http://www.travelbygps.com>

**> 220 Mt sulfidische tailings wurden in der Bucht zwischen 1938 und 1975 abgelagert**

**4 km<sup>2</sup> in 10-15 m Höhe werden von den tailings bedeckt**

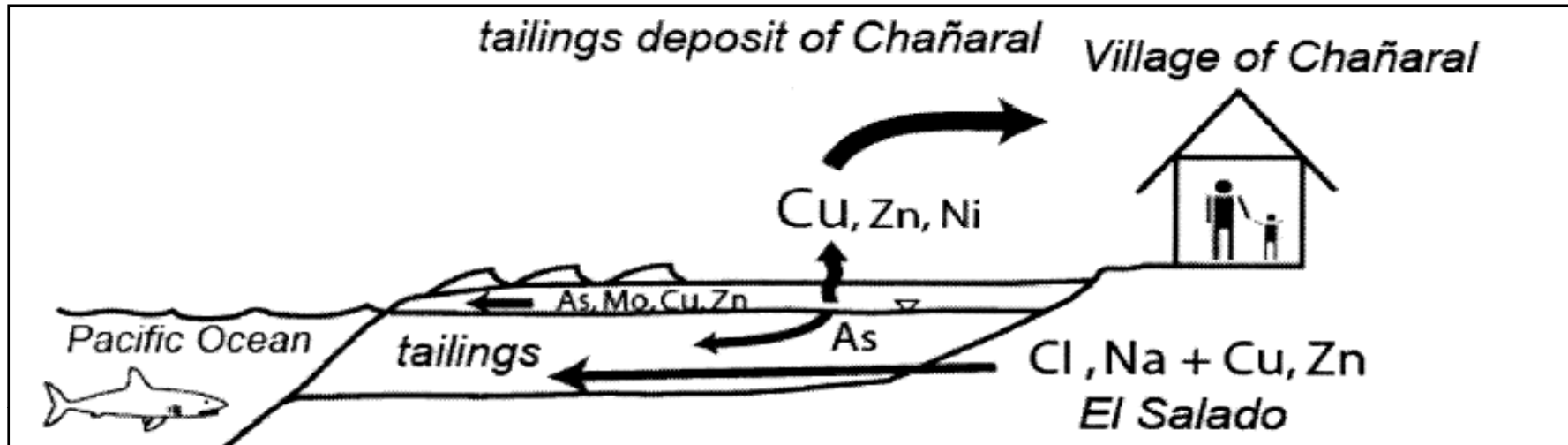
**1 km Verschiebung der Küstenlinie**



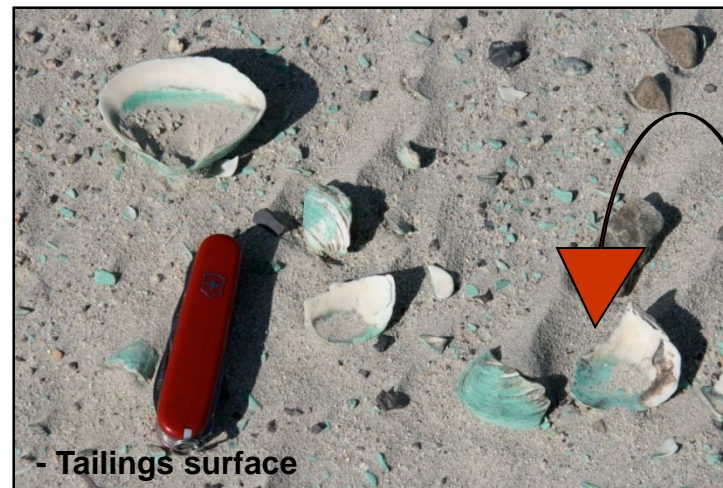
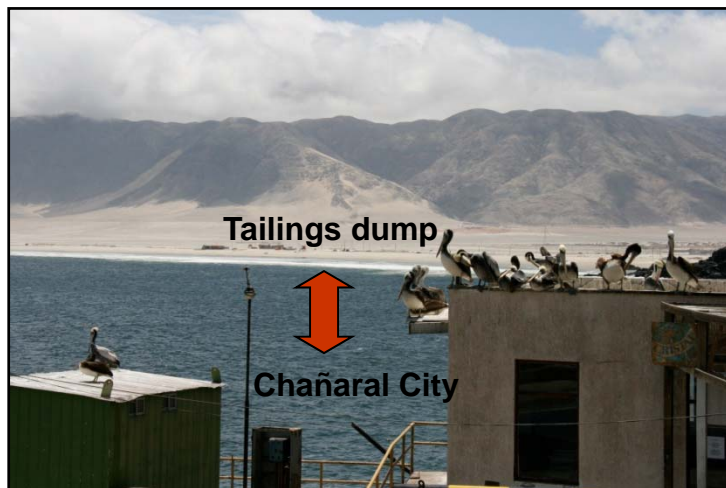
- Dold, 2007, AMR



# ● Umweltaspekte und Bildung von Kupfermineralen



Dold, 2006, ES&T



Kupfer-  
Anreicherung  
und Mineral-  
bildung

# **Biotechnologische Aufbereitung von Bergehalden oder -teichen**

- **Zur Verhinderung der Entstehung von Sauerwässern (acid mine drainage)**
- **Zur Wertmetallgewinnung**



# **Biotechnologische Aufbereitung von Bergehalden oder –teichen im Labormaßstab**

**Cu-Biolaugung sulfidischer tailings mit *Acidithiobacillus ferrooxidans*, Usbekistan:**

**--> Ausbringen von 56 % Cu (Sagdieva et al. 2007)**

**Ni-Biolaugung sulfidischer and lateritischer tailings mit *Acidithiobacillus thiooxidans* und heterotrophen Mikroorganismen wie *Bacillus subtilis* und *Aspergillus niger*, Kuba und Südafrika (Coto et al. 2007; Fosso-Kankeu et al. 2011)**

**Au- und Ag-Biolaugung sulfidischer tailings mit *Acidithiobacillus ferrooxidans* und *At. thiooxidans*, Peru (Nagy et al. 2008; Schippers et al. 2008)**

# **Biotechnologische Aufbereitung von Bergehalden oder –teichen im Labormaßstab**

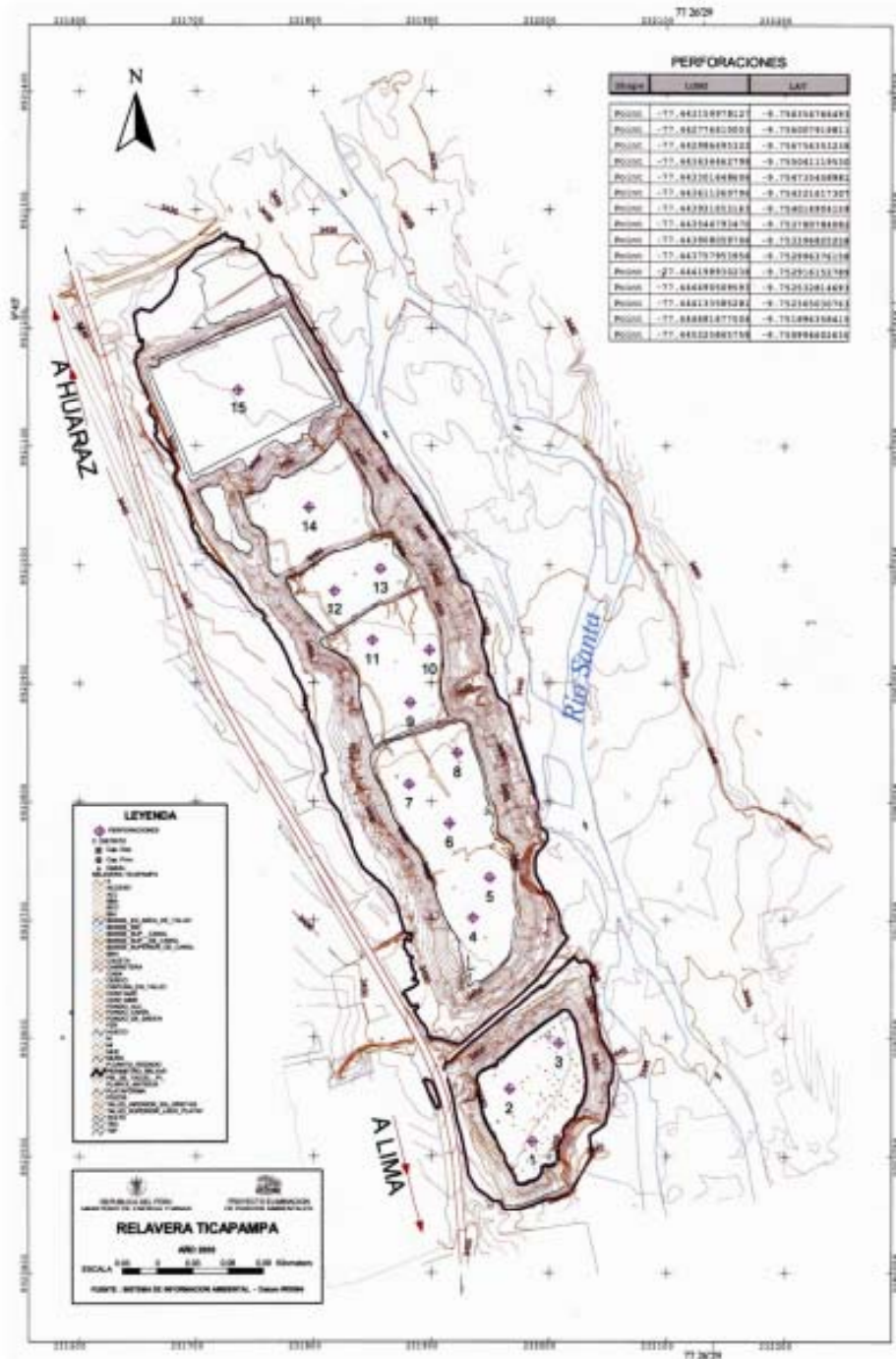
**Eisensulfatkristalle aus Kohle-tailings, Brasilien (Colling et al. 2011; Viganico et al. 2011)**

**Spezieller Bioreaktor für tailings, Schweden  
(Rzhepishevskaja et al. 2005)**



# Bergehalde der Pb- and Zn-Erzaufbereitung, Ticapampa, Peru, mit acid mine drainage





## Ablagerungsplan des Bergeteiches (Spülhalde) Ticapampa, Peru, im Überschwemmungsgebiet des Flusses Rio Santa



# **Konzept zur Aufbereitung der Bergehalde Ticapampa, Peru, zur Sanierung und Gold- und Silber-Gewinnung**

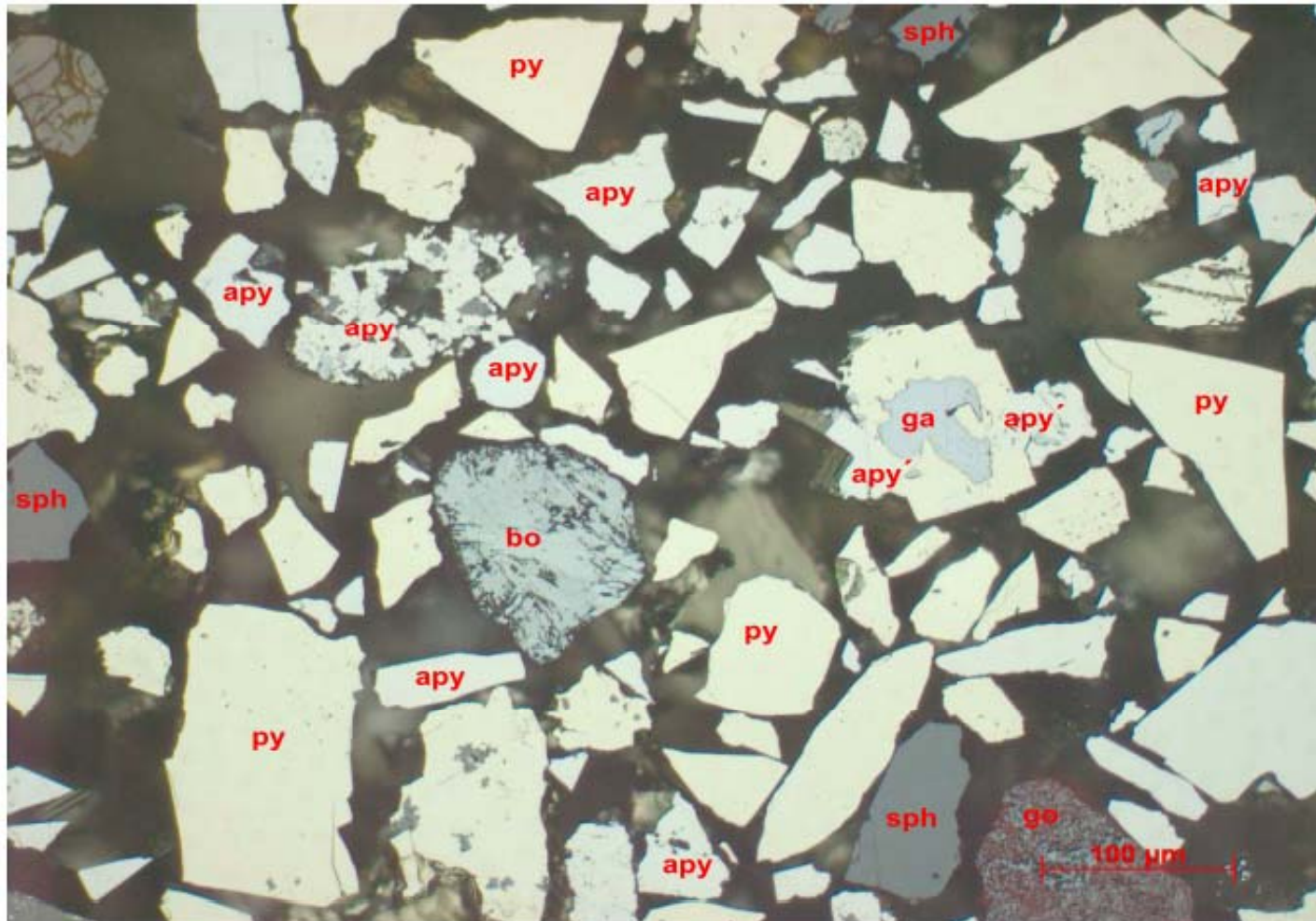
- **Bergehalde: 1,6 Mio. t insgesamt,  
4,6 t Gold und 135 t Silber in Metallsulfiden**
- **Mechanische Abtrennung eines Metallsulfid-reichen  
Konzentrats (Feinfraktion), unbelastete Grobfraktion**
- **Biolaugung des Konzentrats zur Auflösung der  
Metallsulfide**
- **Gold- und Silbergewinnung mittels Cyanidlaugung  
nach Neutralisation**

# Mineralbestand des Bergeteichmaterials, und des Konzentrats

Mineral	Chemische Formel	Abkürzungen
Pyrit	FeS <sub>2</sub> (kubisch)	py
Markasit	FeS <sub>2</sub> (orthorhombisch, dipyramidal)	ma
Arsenopyrit	FeAsS	apy
Sphalerit	(Zn,Fe)S	sph
Chalkopyrit	CuFeS <sub>2</sub>	cpy
Galenit	PbS	ga
Boulangerit	Pb <sub>5</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>11</sub>	bo
Fahlerz	(Cu,Ag,Fe,Zn) <sub>12</sub> As <sub>4</sub> S <sub>13</sub> -(Cu,Fe,Ag,Zn) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>	fz
Pyrrhotin	Fe <sub>1-x</sub> S	pyth
Rutil	TiO <sub>2</sub> (tetragonal)	ru
Goethit	FeO(OH)	go

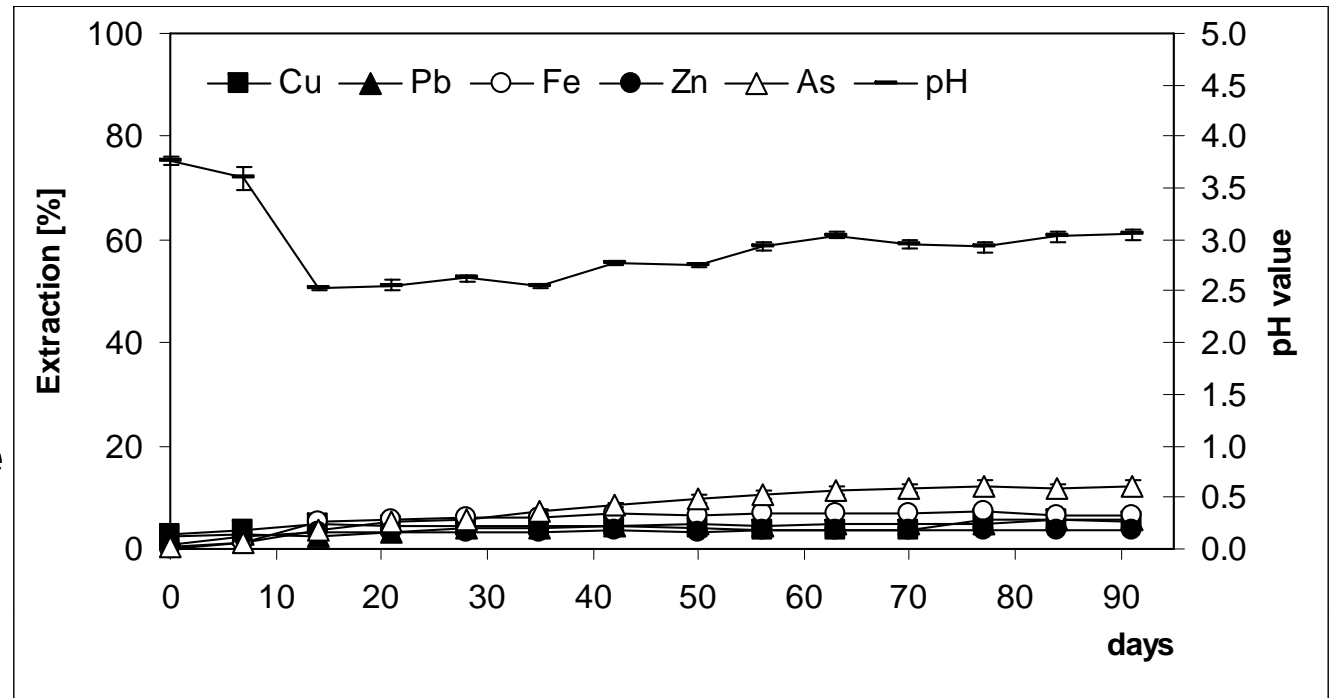


**Erzmikroskopische Aufnahme eines durch Dichtentrennung erzeugten Konzentrats;  
lange Bildkante: 1450  $\mu\text{m}$ , Anschliff des Konzentrats**

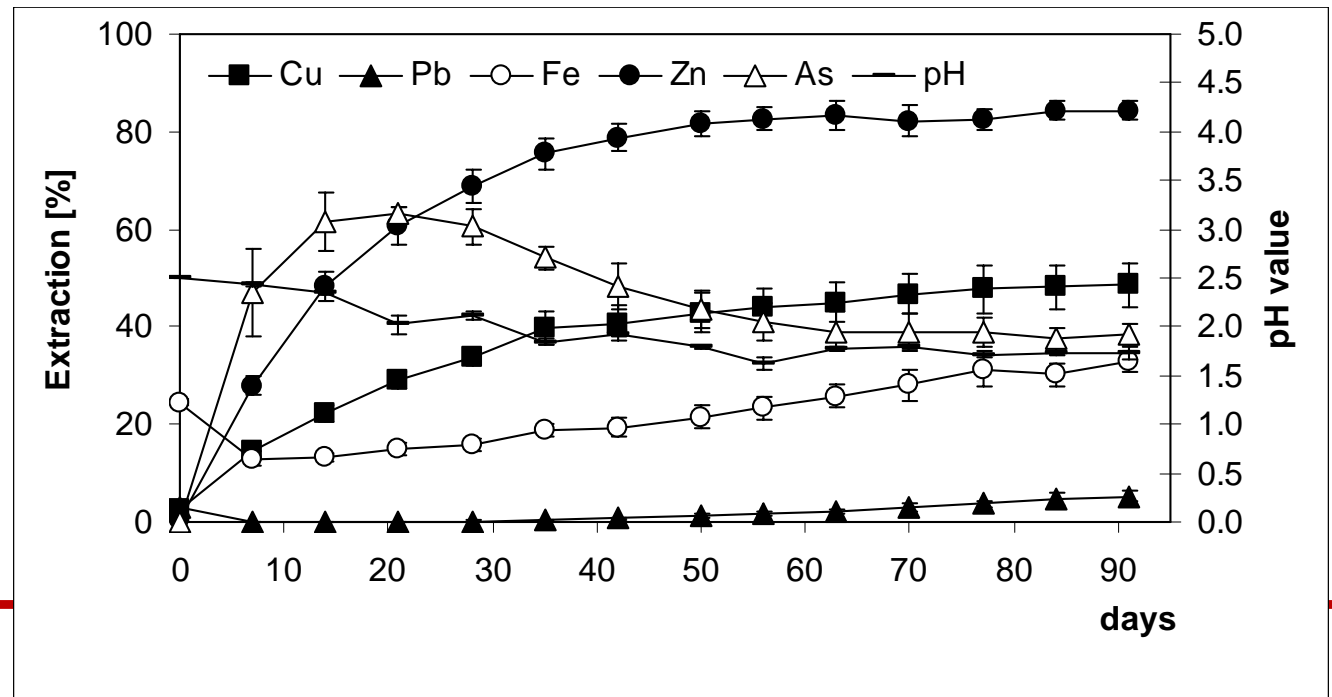


# Biolaugung des Berge- Konzentrats

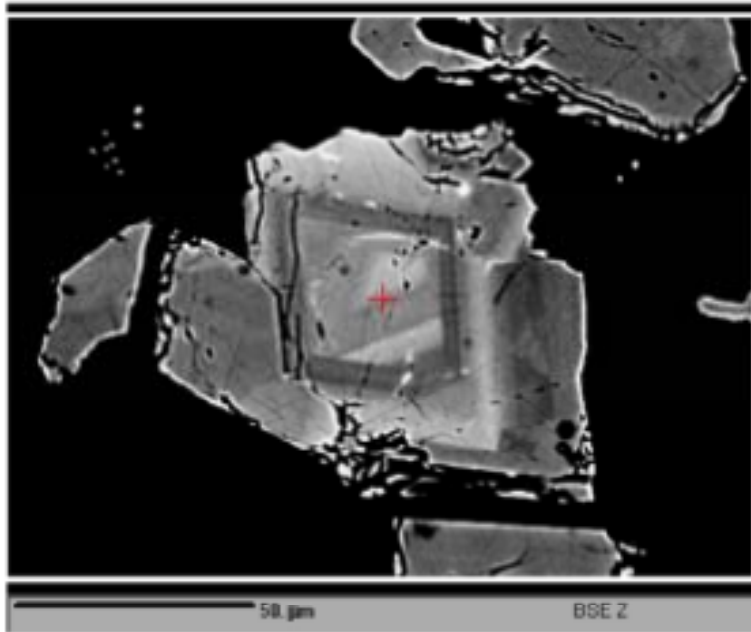
## Chemische Kontrolle



## Mischkultur von *Acidithiobacillus ferrooxidans*, *Acidithiobacillus thiooxidans* und *Leptospirillum ferrooxidans*

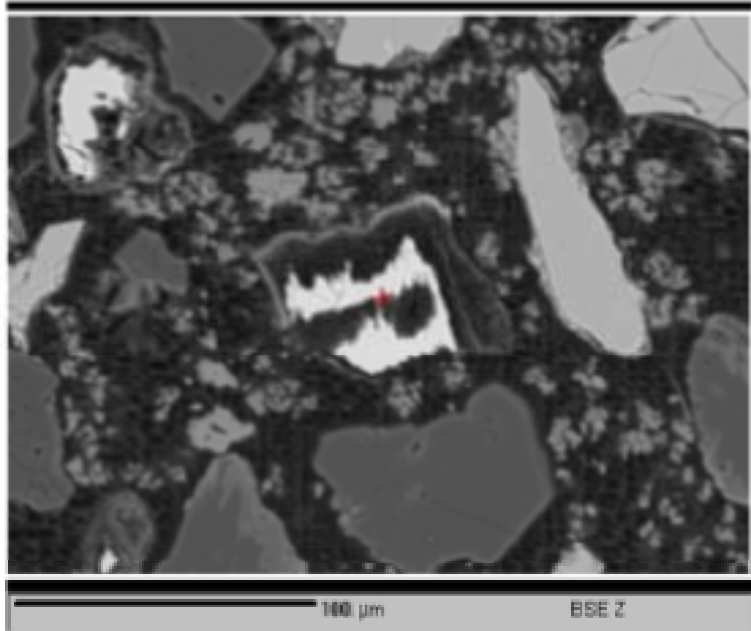






## Mikrosondenaufnahme eines Gold-haltigen Arsenopyrit-Kristalls

oben: unbehandelt

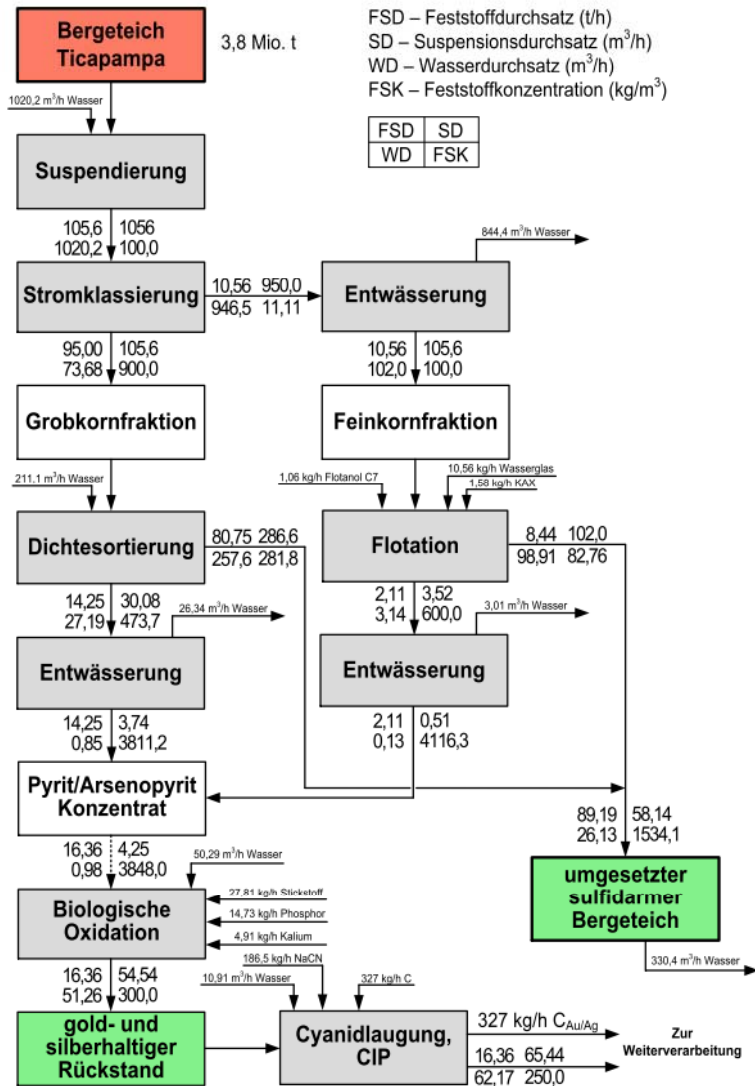


unten: teilweise aufgelöst  
durch Bakterien

# Cyanidlaugung des Bergekonzentrats zum Gold- und Silberausbringen

Berge-Konzentrat	Na-Cyanid-Verbrauch (kg/t)	Gold-Ausbringen (%)	Silber-Ausbringen (%)
biooxidiert	3,6	97	50
unbehandelt	2,8	56	18





# Bilanzierung der Stoffströme zur Bergeteich-Aufbereitung

Bild 12: Bilanzierung der Stoffströme der Aufbereitung des Bergeteichmaterials aus Ticapampa

# Ermittlung des Erlöspotentials für das gewonnene Konzentrat bei der Aufbereitung des gesamten Bergeteichmaterials aus Ticapampa, Peru

Metall	Gold <sup>(1)</sup>	Silber
Inhalt	4,6 t	134,5 t
Aufbereitungsausbringen	90 %	20 %
Aufbereitungskonzentrat	0,48 Mio. t	
Metallgehalt des Konzentrats	8,7 ppm	56,5 ppm
Edelmetallpreise <sup>(2)</sup>	930,7 USD/XAU	17,77 USD/XAG
Wert der Edelmetalle im Konzentrat	77,98 Mio.€	7,74 Mio.€
Erlöspotential des Konzentrats	85,72 Mio.€	
Erlöspotential pro Tonne Bergeteichmaterial	22,56 €/t	

<sup>(1)</sup> Der Goldinhalt wurde mit dem niedrigsten analysierten Goldgehalt von 1,21ppm ermittelt

<sup>(2)</sup> Stand 25.09.2008

# BIOX® Tankbiolaugungs-Anlage zur Biooxidation Gold haltiger Erze in Peru



Foto: Gold Fields Ltd.



# Biomining von Kupferschiefer

## Ergebnisse für Biolaugungsexperimente mit Kupferschiefer:

- **In Perkolatoren (pilot plant; 1.4 t Erz) als Model für Haldenbiolaugung:**  
Ein hoher Ca- und  $MgCO_3$  Gehalt erforderte eine Säure-Vorbehandlung um den pH bei 2 zu halten für eine effiziente Laugung und um das Ausfällen von Gips zu verhindern. Unter optimalen Bedingungen wurden 70 % Cu and 80 % Zn extrahiert (Bosecker et al. 1978, BGR, Krupp Forschungsinstitut, 1973-1976)
- **In Schüttelkolben mit fein gemahlenem Erz als Model für Tank-Biolaugung:** Mehr als 80% Cu-Extraktion bei niedrigem pH (Bosecker et al. 1978, BGR, 1973-1976; Groudev et al. 2007, BIO SHALE)
- **In Schüttelkolben und einem Laborreaktor:** Biolaugung bei höherem pH 4 – 6 ist möglich um die Lösung von Karbonaten zu verringern (Glombitza & Pinka 2006, G.E.O.S. Freiberg, Institut für Biotechnologie der DDR, 1987-1990)

# BIO SHALE Ergebnisse für Lubin Kupferschiefer, Polen



Lab-scale Tank-Bielaugungs Tests, BRGM,  
France

**Bis zu 98 % Cu-Ausbringen  
bei Biolaugung von Lubin  
Kupferschiefer “middlings”  
und Konzentraten  
(Temperatur 30-78°C)**

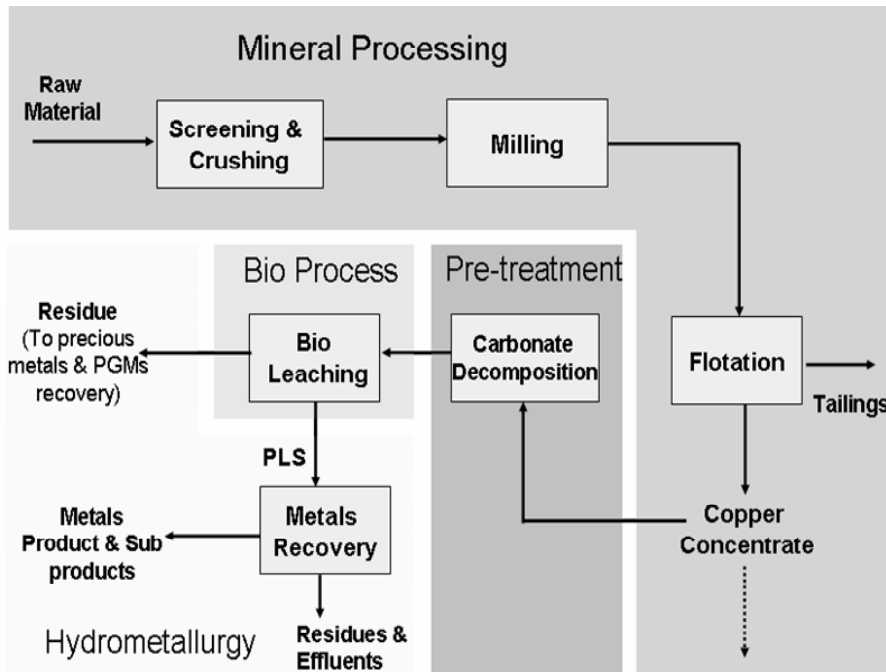
**Kontinuierliche Biolaugung  
von Konzentraten in Tank-  
Reaktoren ergab 92 % Cu  
und 92 % Ag Ausbringen  
(“Bioshale process”)**

**“Bioshale process”- Kosten sind denen existierender Aufbereitungs-  
verfahren vergleichbar bei geringeren Investitionskosten im Vergleich  
zur Pyrometallurgie**

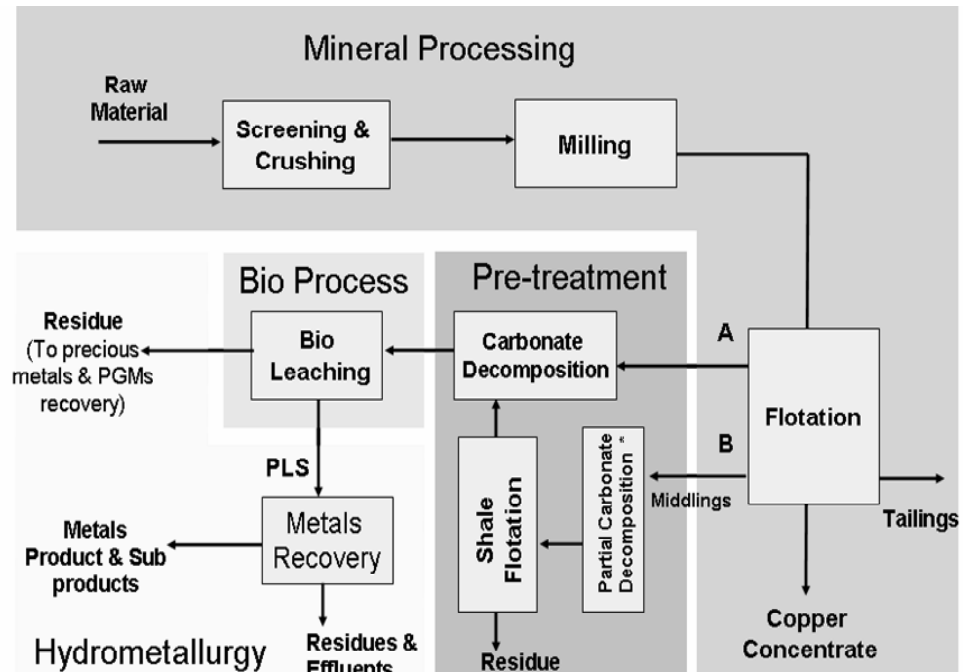
<http://bioshale.brgm.fr/index.asp>



# BIO SHALE Prozess Optionen für Lubin Proben



**Biolaugung von Kupferkonzentraten**



**Biolaugung von Lubin Middlings**



# Biomining von Kupferschiefer

## Neue Ergebnisse zur Biolaugung von Halden des Kupferschiefers, BGR/DERA 2011:

- Schüttelkolben-Experimente mit fein gemahlenem Material von Halden des Mansfelder Kupferschiefers.
- Ein hoher Ca- und  $\text{MgCO}_3$  Gehalt erforderte eine Säure-Vorbehandlung.
- Bis zu 95 % Ausbringen von Cu und 85 % Ausbringen von Zn laut Rückstandsanalysen (Ausbringen etwas höher laut Lösungsgehalten, siehe nachfolgende Grafiken).

# Biomining von Bergbauhalden

- **Fazit**
  - **Biolaugung von tailings und Abraumhalden ist mit autotrophen (*Acidithiobacillus*) und heterotrophen Mikroorganismen möglich**
- **Elektronikmetalle wie Indium, Gallium und Germanium, werden zukünftig stärker nachgefragt (BGR Commodity Top News Nr. 33)**
  - **Biolaugung von Sulfiden (Torma & Bosecker, 1982; Bowers-Irons et al., 1991; Coto et al., 1996)**

# Geobiotechnologie – wie geht es weiter...

- **19. Dezember 2011 Frankfurt a.M.: Gründungssitzung DECHEMA-TAK Geobiotechnologie**
- **März 2012 Freiberg: Innovationsforum Geobiotechnologie – Mikrobiologische Verfahren für Bergbau und Umweltschutz**
- **11.-13. September 2012 Karlsruhe: DECHEMA-Jahrestagung der der Biotechnologen**
- **1.-4. Oktober 2012 Hannover: GeoHannover, Session “Geomicrobiology and Biohydrometallurgy”  
[/www.geohannover-2012.de](http://www.geohannover-2012.de)**