

## Analyse eines Uranhaldenlaugungsprozesses, abgeleitete Erkenntnisse und Schlussfolgerungen

F. Glombitza<sup>1</sup>, J. Ondruschka<sup>2</sup>, J.Pinka<sup>1</sup>

GKZ Innovationsforum Geobiotechnologie

<sup>1</sup> G.E.O.S. Ingenieurgesellschaft mbH,  
Gewerbepark Schwarze Kiefern  
D 09633 Halsbrücke;

<sup>2</sup> SIB Sächsisches Institut für angewandte Biotechnologie,  
Permoser str. 15  
D 04318 Leipzig

3. Workshop  
15.12. 2011 BGR - Hannover

## Inhalt

**Analyse des Uranlaugungsprozesses Gessental**

**Grundlagen für die Blockierung von Laugungsprozessen**

**Ableitung von Vorhersagen / Leitfaden / Sickerwasserprognose**

## Haldenlaugung im Gessental

Gewinnung von Uran durch Laugung der Armerze des Ronneburger Reviers von 1970 – 1990 (vorwiegend silikatische Erze)

Aufbau einer Laugungshalde 52 m Höhe, ca. 6,8 Mio. m<sup>3</sup> ca. 14 Mio. t auf einer Lehmsperrschicht auf / in einem ehemaligen Lehmtagebau

### Aufbau

- |                           |                 |  |
|---------------------------|-----------------|--|
| 1.Scheibe S1              | 2,7 Mio. Tonnen | S1 = untere Graptolithenschiefer             |
| 2.Scheibe S1              | 1,3 Mio. Tonnen |  |
| 3.Scheibe Og <sub>3</sub> | 2,8 Mio. Tonnen | Og <sub>3</sub> = obere aleuolithische Folge |

untere Graptolithenschiefer: bestehen aus schwarzen Ton- und Kieselschiefern mit hohen Kohlenstoff- und Sulfidgehalten (Kiesel- und Alaunschiefer)

obere aleuolithische Folge: besteht aus dunkel- bis schwarzgrauen, sandigen, kohlenstoffhaltigen Tonschiefern, mit stärkerer Pyritführung

## Mittelwerte gesteinsbildender Elemente und Minerale der Lagerstätte Ronneburg nach Szurowski

Verbindung	Dimension	Og <sub>3</sub>	S1
SiO <sub>2</sub>	%	58,0	68,0
CaO	%	2,5	2,5
MgO	%	2,5	1,0
C <sub>org</sub>	%	0,5	9,5
SO <sub>3</sub>	%	0,5	0,2
S <sup>2-</sup>	%	1,0	3,0
CO <sub>2</sub>	%	2,5	1,0
Quarz	%	28,0	58,0
Hellglimmer	%	50,0	17,0
Dolomit	%	5,0	1,5
Kalzit	%	-	-
Pyrit	%	2,0	5,5

Die Haldenlaugung erfolgte mit Material, wie es aus den Tagebauen und Schächten gefördert wurde. Im Tagebau fielen dabei auch Blöcke mit einem Volumen von mehreren m<sup>3</sup> an. Beim Verkippen auf der Halde mit Etagenhöhen von ca. 10 m fand ein Klassierungsprozess statt. Die gröbereren Blöcke rollten bis zum Haldenfuß.

Urangehalt 0,01 – 0,03 % (Außerbilanzerze)

### Zusammensetzung 1990

mittlerer Gehalt an Pyrit	0,7 %	
mittlerer Gehalt an Uran	70 g/t	0,007 %
mittlerer Gehalt an Radium	< 3,40 Bq/g	

## Prozesstechnologie

Saure Laugung, pH Werte im Bereich  $<1$  – ca. 3

- Ablauf der Laugungslösung durch ein eingebautes Drainagesystem
- Sammlung des Drainagewassers in Becken
- Uranabtrennung in Sorptionskolonnen
- erneute Aufgabe nach Konditionierung ( $H_2SO_4$  Zugabe)

## Prozessdaten : Zeitraum – 1987 – 1990

Wasseraufgabe: ca. 7500 m<sup>3</sup>/d ( 310 m<sup>3</sup>/h)  
7000 m<sup>3</sup>/d + ca. 400 – 800 m<sup>3</sup>/d Niederschlagswasser

Spezifische Wasserdurchsatzmenge: 1,3 L/t d  
Berieselungsdichte: 17,6 L/m<sup>2</sup> d

Urankonzentration in der Reichlösung:

mittel	24 mg/L
max	38 mg/L
min	10 mg/L

Mittlere Tagesproduktion:	134 kg/d
Mittlere Monatsproduktion:	4 t / Monat
Mittlere Jahresproduktion:	49 T/a

## Prozessanalyse

Messung des Sauerstoffgehaltes

Messung des Fe<sup>3+</sup> Gehaltes

Messung des Gehaltes an Sulfat

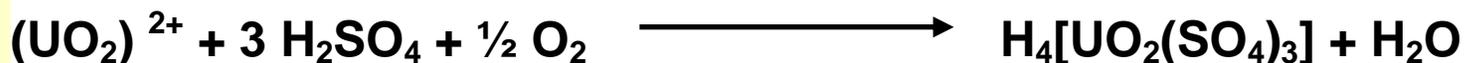
Messung des pH Wertes und des Redoxpotenziales

Messung der Urankonzentration

## Mechanismus des Prozesses

### Indirekter mikrobiell gestützter chemischer Prozess

Reaktionen:



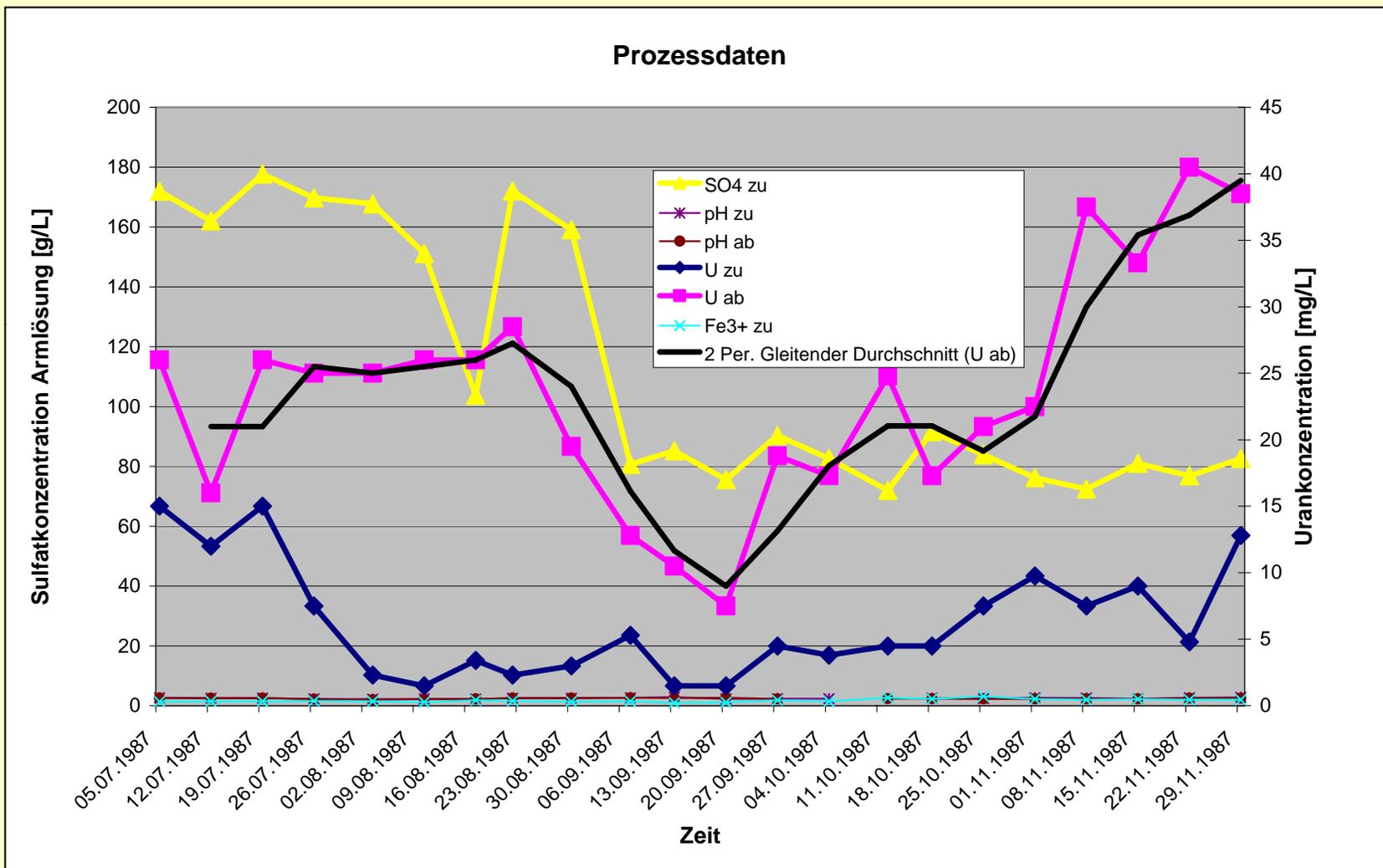
## Prozessanalyse

Wasserart	Meßort	pO <sub>2</sub> % der Sättigung
Armlösung S1 Zustrom zur Halde	Ableitung von Ionenaustauscher links	75
	Ableitung von Ionenaustauscher rechts	70
	Armlösungsteich 2000 m <sup>3</sup>	50
Reichlösung So Ablauf von der Halde	Sammelgraben Ende	30 - 35
	Rechter Abzugsgaben Haldenfuß	30 - 36
	Linker Abzugsgaben Haldenfuß	35 - 40
	Meßpunkt 12 Quelle und Haldenfuß	25

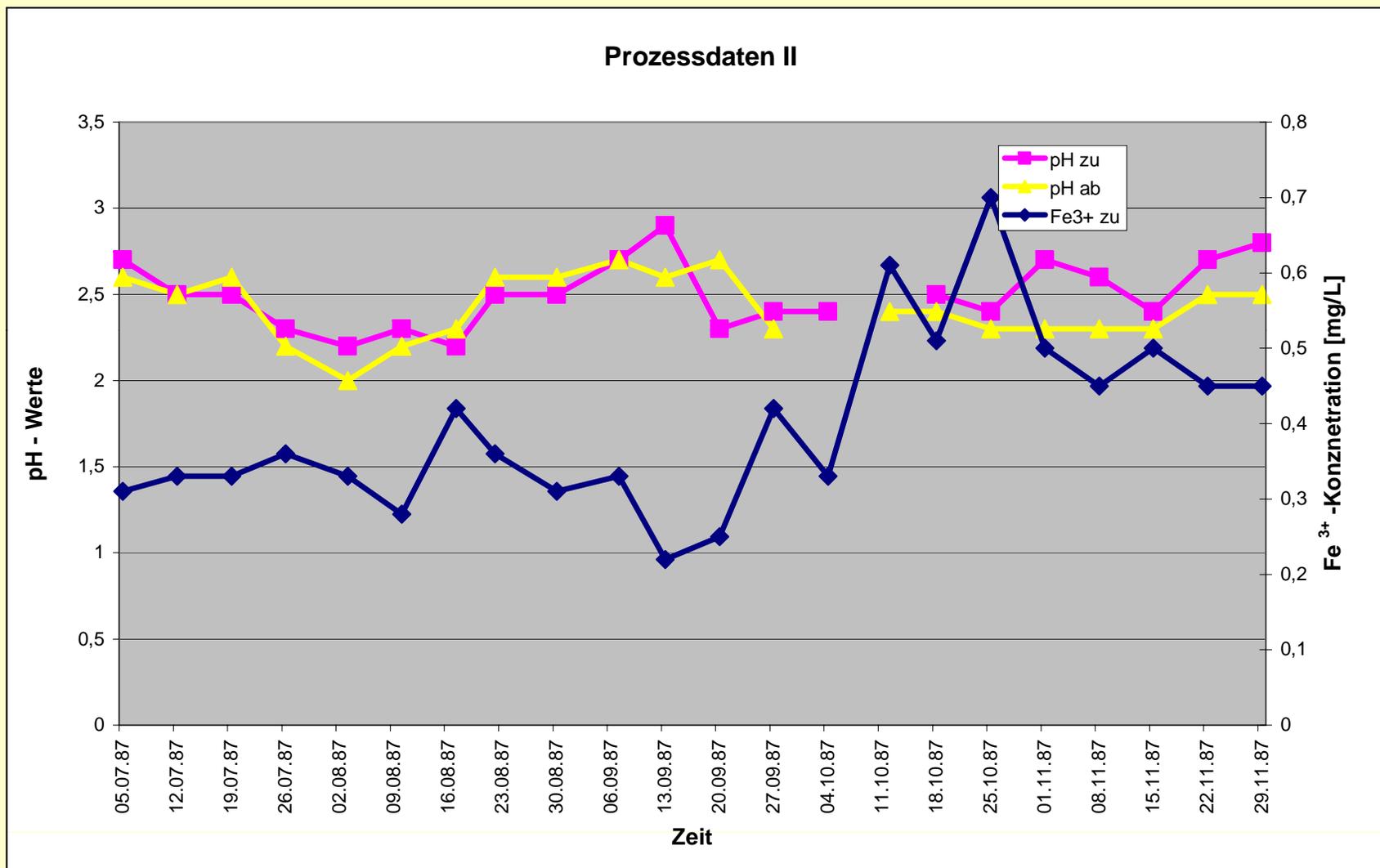
## Empfehlungen

Parameter	Größenordnung	Bemerkung
Eh Wert pH Wert	ca. 300 mV < 2	
Fe <sup>3+</sup>	≤ 10 g/L	vor Aufgabe
Fe <sup>2+</sup>	ca 0 g/L	nach Regenierung und vor Aufgabe
(SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup> NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (PO <sub>4</sub> ) <sup>3-</sup> Cl <sup>-</sup> F <sup>-</sup>	ca 50 g/L > 0 > 50 mg/L > 0 < 20 mg/L < 1 g/L 0 ( Minimum)	bis ca 90 - 100 g/L werden toleriert
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	??	nicht eindeutig bestimmt
pO <sub>2</sub> pCO <sub>2</sub> UO <sub>2</sub> <sup>2+</sup> Hg	> 0 < 20 % des Sättigungswertes > 0 < 20 % des Sättigungswertes < 500 mg/L 0,1 - 0,5 mg/L	in der Reichlösung  in der Reichlösung
Mikroorganismen	Maximum ( 1 g/L )	

# Haldenlaugung



# Haldenlaugung



## Gesamtansicht



# Haldenlaugung



# Haldenlaugung



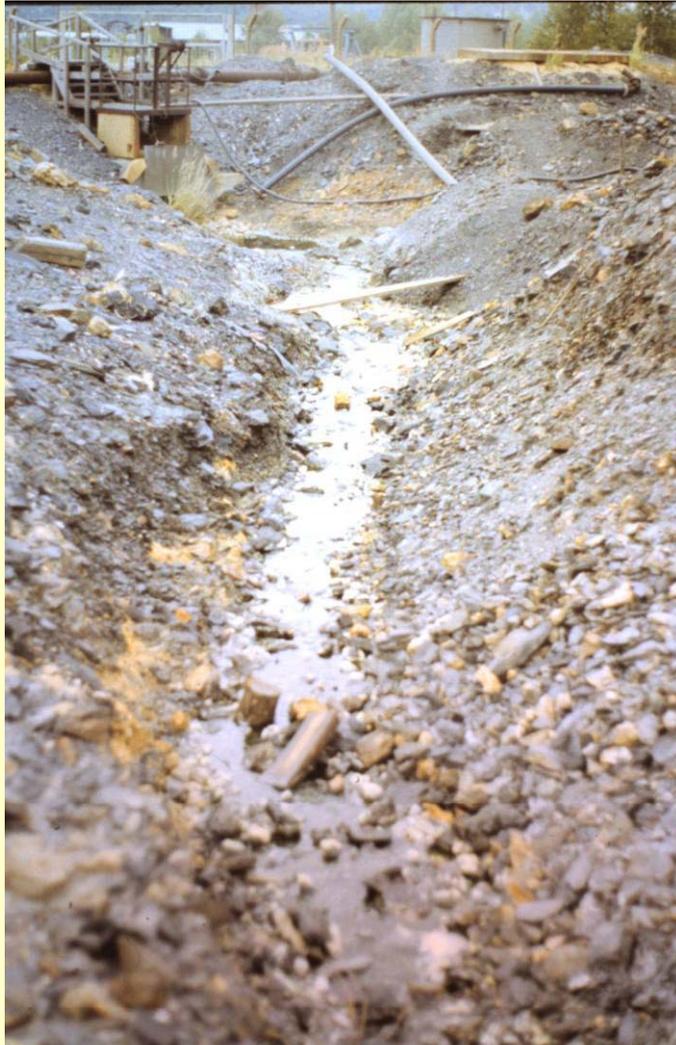
# Haldenlaugung



# Haldenlaugung



# Haldenlaugung



# Haldenlaugung



## Das Drainagesystem



## Blockierung von Laugungsprozessen

Ziel:

Beendigung der Laugungsprozesse und Verhinderung der Bildung von sauren Drainagewässern

Mehrmonatige Laugungsversuche in der Pilotanlage mit:

Abgedecktem Haldenmaterial,

Mit bakterizid wirkenden organischen Substanzen (Na – Alkyl - Sulfonat)

Mit anorganischen Zusätzen / Asche,

Mit Zusatz von Fluorid

## Sonderfall Fluorid:

Fluorid führen zu einer Wachstumshemmung und zu einem Blockieren des Laugungsprozesses

Reaktionen:

$\text{CaF}_2$  nahezu unlöslich ca. 16 mg/L

+  $\text{Fe}^{3+}$ , pH < 2,5

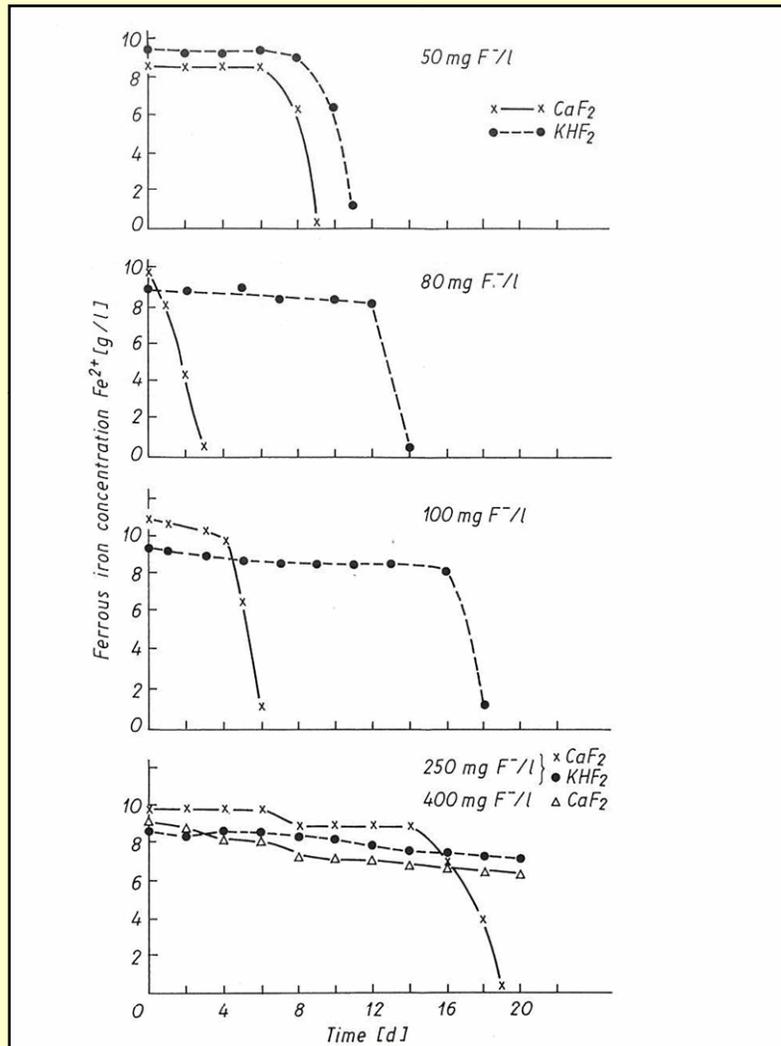
$[\text{FeF}_6]^{3-}$  /  $\text{Me}_3 [\text{FeF}_6]$  /  $\text{Ca}_3 [\text{FeF}_6]_2$ , (sehr gut löslich..)

MO / Thiobazillen ? werden inhibiert, pH Wert steigt > 2,5 durch Rückgang der Oxidation,



Der Laugungsvorgang wird gestoppt

# Haldenlaugung



**Einfluss von Fluoridkonzentrationen auf die Oxidation von Fe<sup>2+</sup>**

**Die Wirkung ist von dem pH - Wert, dem Fluoridmineral, der Eisenkonzentration und der Anwesenheit von Komplexbildnern abhängig.**

**Bei einem pH Wert von 1,8 und einer Fe Konzentration von 3,3 g/L wurden 2500 mg F<sup>-</sup>/L aufgelöst.**

## Daten Blockierung

2000 t Armerz Pilotanlage  
Laugungszeit 2 Jahre,  
Beginn der Blockierung im Juli 1989  
Monitoring der Konzentrationen bis April 1990

Bedingungen:  
Wassermenge / Aufgabe ca. 7,5 m<sup>3</sup>/d  
Konzentration  
2500 mg/L Fluorid als CaF<sub>2</sub>  
3,3 g Fe<sup>3+</sup> /L  
pH Wert 1,8

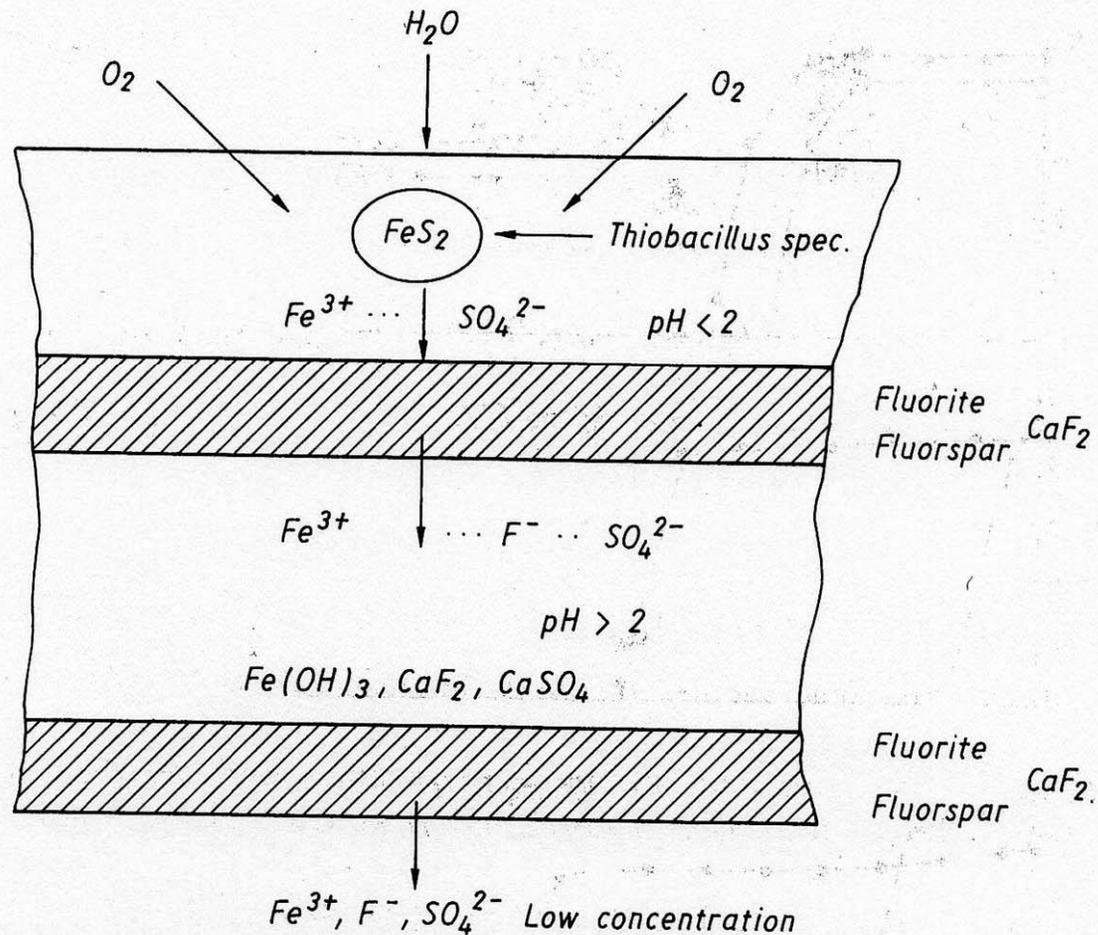
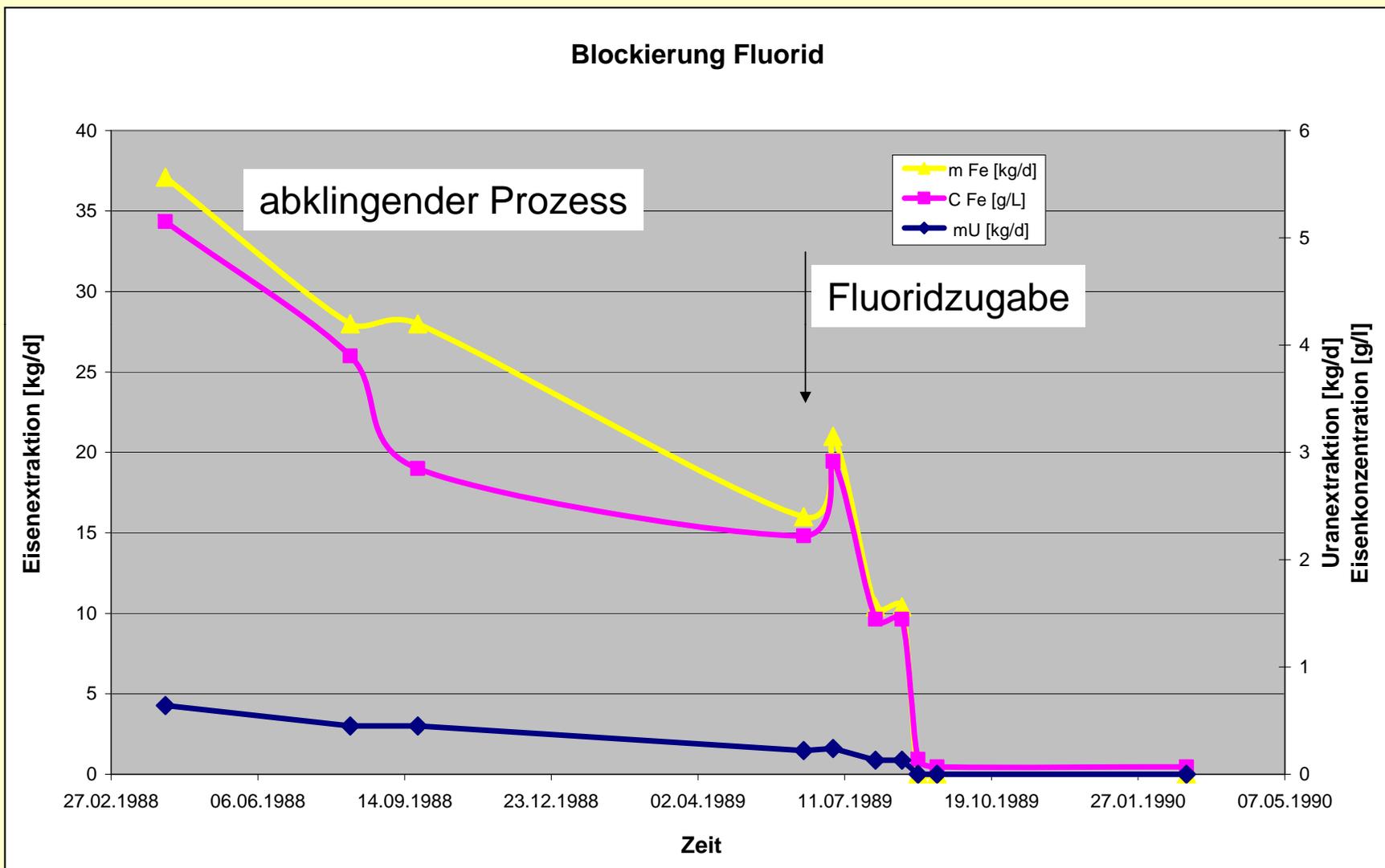


Fig. 4. Schematic representation of blocking by means of a sandwich structure



**Pilotlaugungsanlage**

**fluoridhaltige Aufgabelösung**

**eisenhaltige Laugungslösung**



# Haldenlaugung



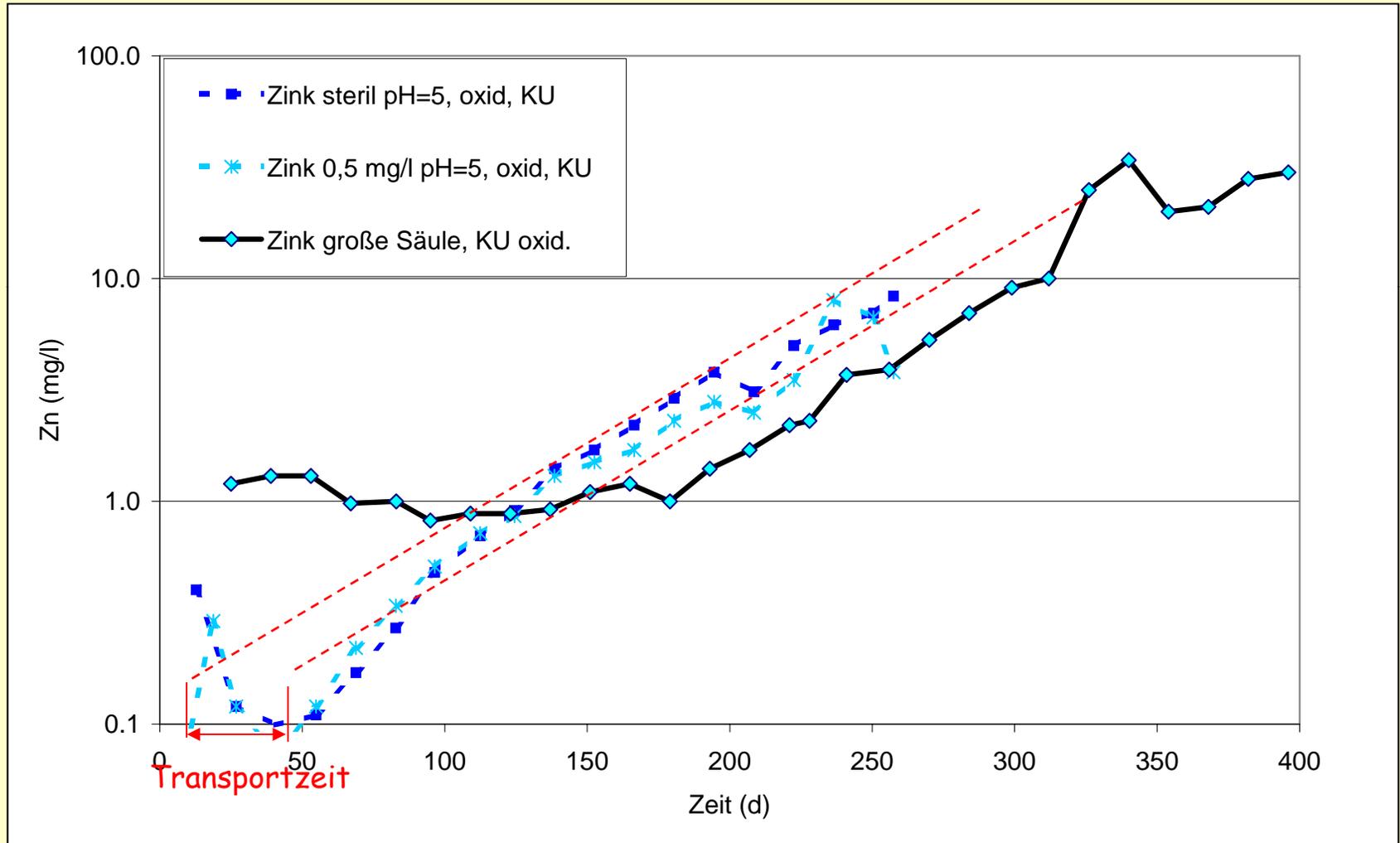
### Sickerwasserprognose

*„Analyse mikrobiologischer Prozesse und Wechselwirkungen mit anorganischem Material zur Freisetzung und Fixierung von anorganischen Schadstoffen und modellhafte Darstellung der Ergebnisse zur Vervollständigung der Sickerwasserprognose“*

Vorhersage der (Grund)wasserqualität bei anorganischen Kontaminationen ( Schwermetallen ) im Boden zur frühzeitigen Erkennung möglicher Schäden

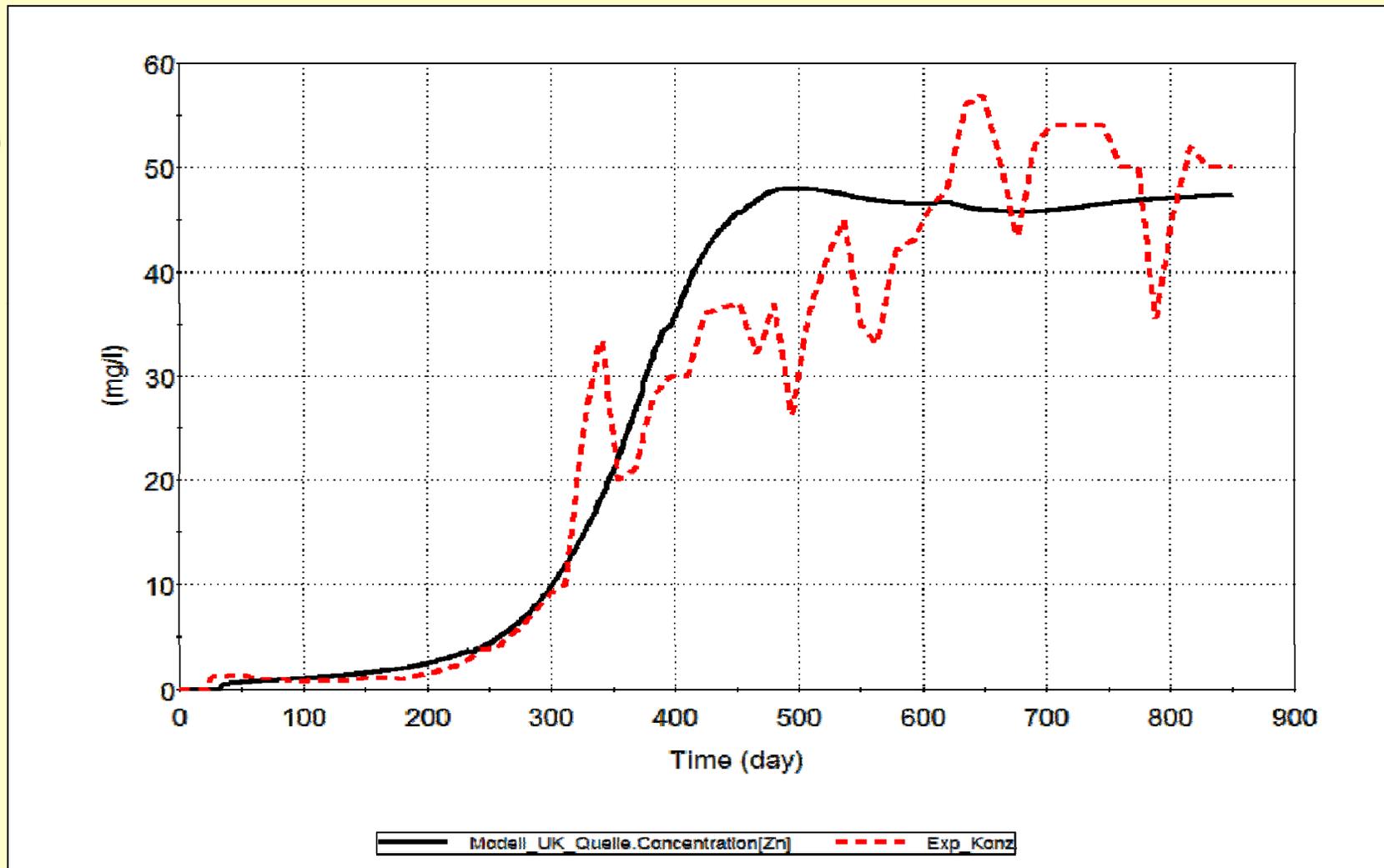
Prognose

## Säulenversuche - Maßstabsübertragung



## Nachrechnung Säulenversuche mit Parametern aus Schüttelversuchen

Prognose



## Prognose

### Modellansatz für Populationsentwicklung

$$-\frac{ds}{dt} = \underbrace{\mu_{\max} * \frac{s}{K_s + s}}_{\text{Zunahme Biomasse}} * \underbrace{\frac{1}{Y} * (x_0 + (s_0 - s))}_{\text{Substratbedarf für Biomasse gesamt}} = \mu_{\max} * s * \frac{\frac{x_0}{Y} + s_0 - s}{K_s + s}$$

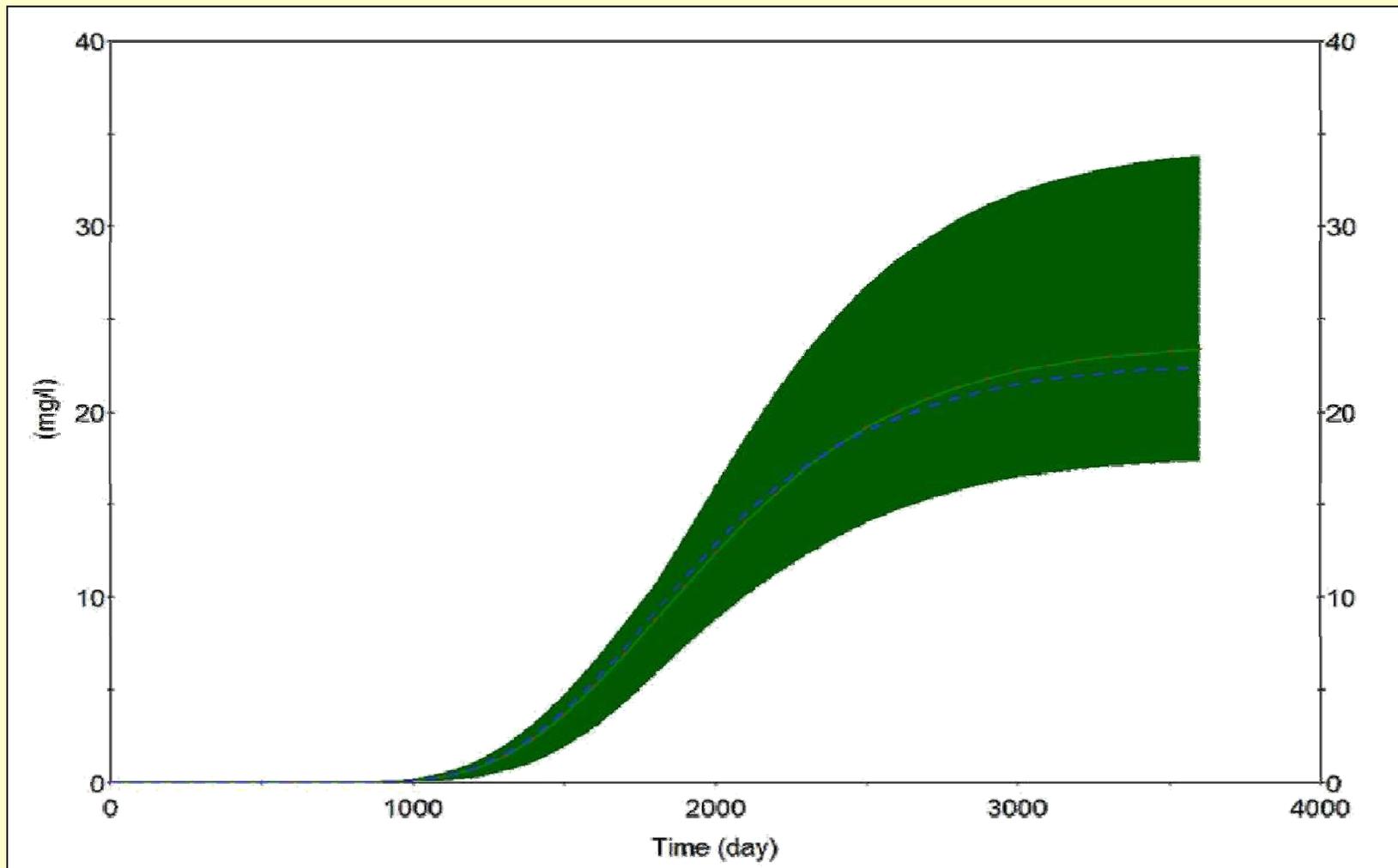
Zunahme Biomasse    Substratbedarf für Biomasse gesamt

Parameter	Wert
$\mu_{\max}$	0.0005 h <sup>-1</sup>
$K_s$	30 ppm
$Y$	1
$x_0$ - steril	15
$x_0$ - unbeimpft	50
$x_0$ - beimpft	200

- $\mu_{\max}$  - maximale Stoffabbaurate
- $K_s$  - Halbsättigungskonstante
- $s$  - Stoffkonzentration bzw. Stoffgehalt ( $s_0$  – Stoffausgangskonzentration)
- $x_0$  - Ausgangspopulationsdichte
- $Y$  - Ertragskoeffizient

**Prognose**

**Prognoserechnung – Zn Grundwasserkonzentration, z. B. mit GoldSim**

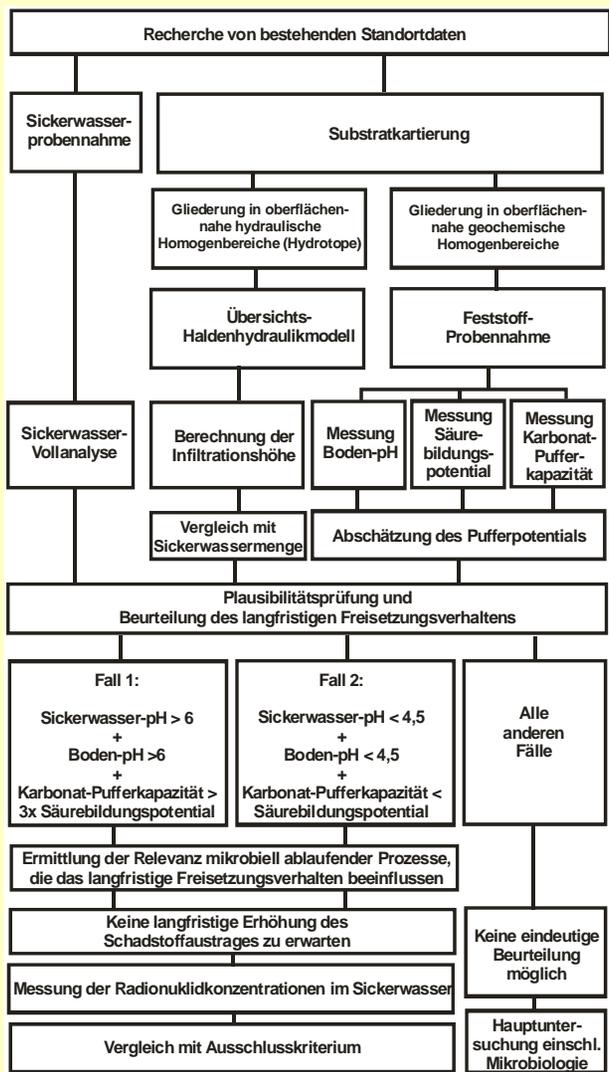


Leitfaden zur radiologischen Untersuchung und Bewertung  
bergbaulicher Altlasten

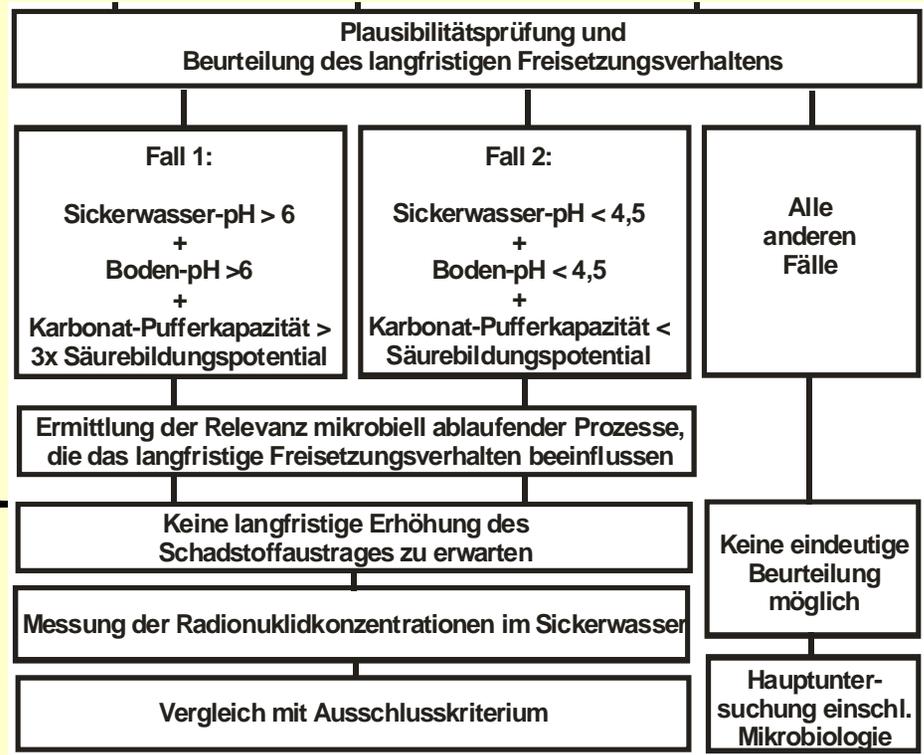
- Mikrobiologisch induzierte Freisetzung  
von natürlichen Radionukliden aus  
Halden mit dem Sickerwasser

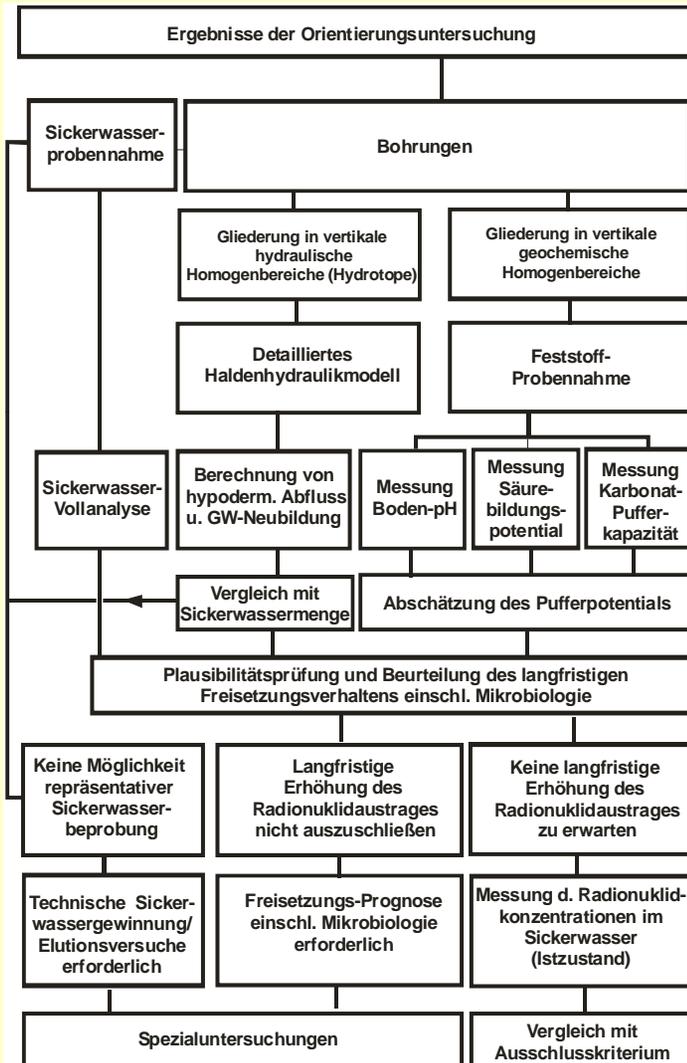
**Ziel: Bestimmung der Rolle von Mikroorganismen an der  
Freisetzung und Fixierung von Radionukliden in  
Bergbauhalden des Uranerzbergbaues**

## Leitfaden



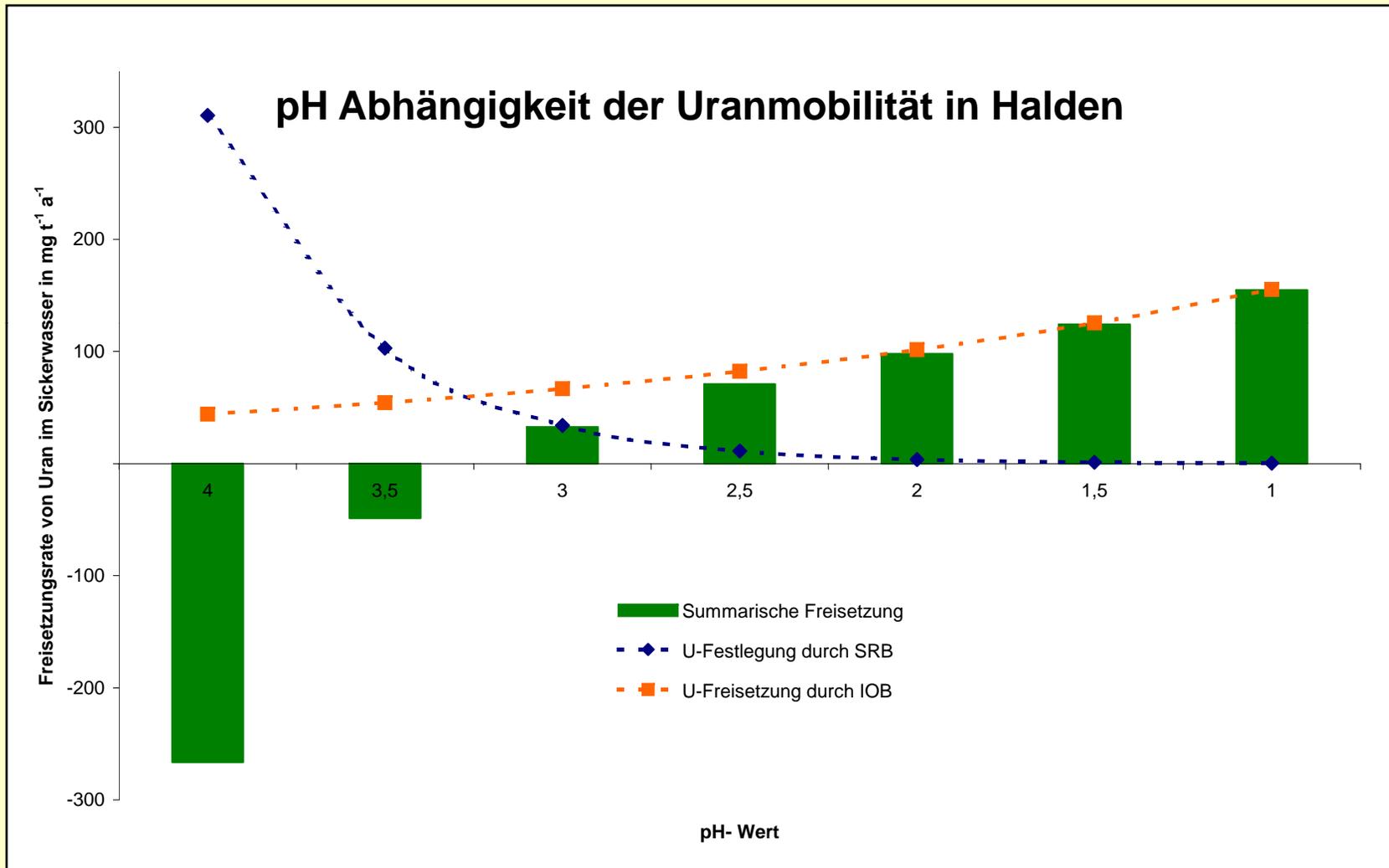
## Schema zur Methodik der Orientierungsuntersuchung zum Sickerwasserpfad

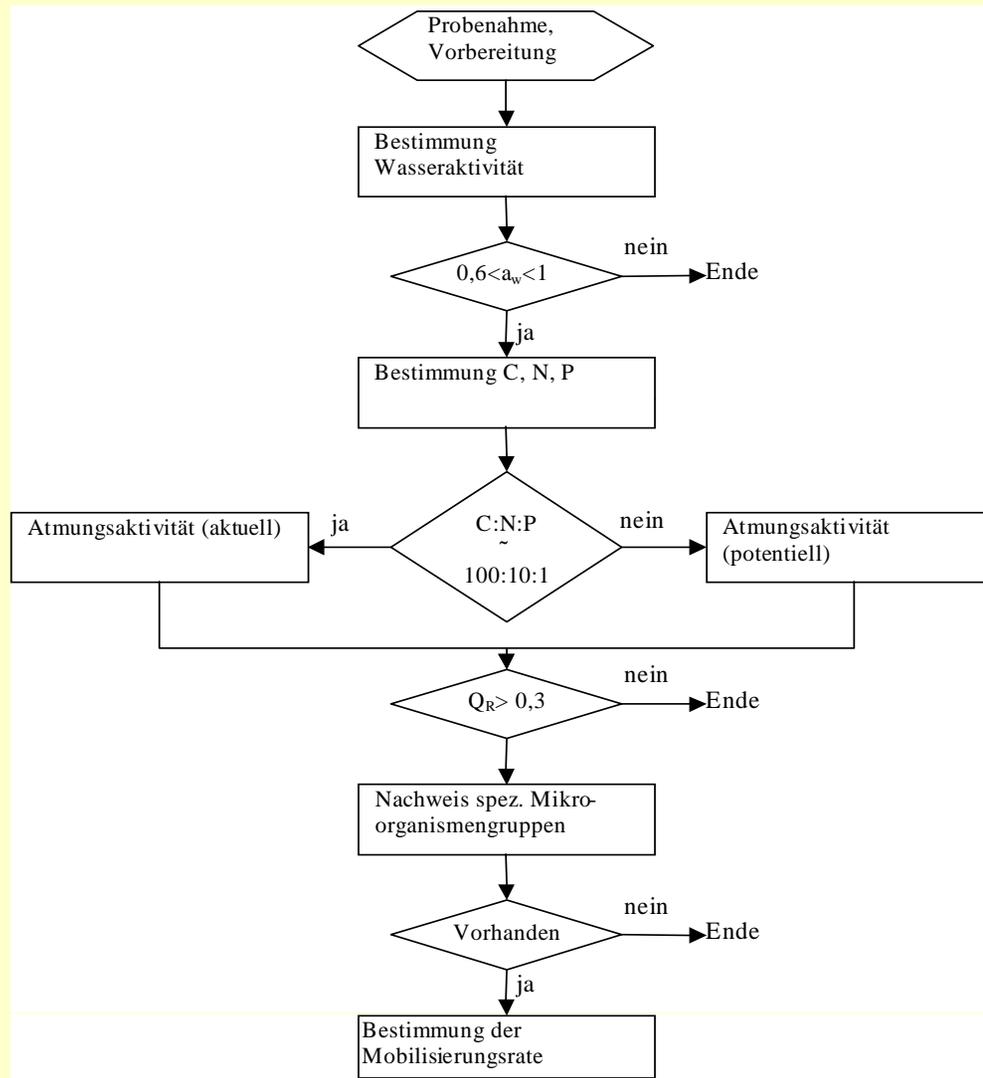




**Schema zur Methodik der Hauptuntersuchung zum Sickerwasserpfad**

**Plausibilitätsprüfung und Beurteilung des langfristigen Freisetzungsverhaltens einschl. Mikrobiologie**





**Vorschlag für einen  
Behandlungsalgorithmus  
bei aeroben Zuständen**

## Danke

### Laugungsprozesse:

Dr. Uwe Iske  
Dr. Jelka Ondruschka  
Dr. Eva Maria Stichel  
DC Maud Bullmann

Prof. K. O. Stetter

Finanziert durch Wismut

### Sickerwasserprognose:

Dr. Jana Pinka  
Dr. Rene Kahnt  
Dipl. Geol. Jan Richter  
Dr. Eberhard Janneck

durch BMBF

### BfS Leitfaden:

Dr. Jana Pinka  
Dr. Rene Kahnt  
Dr. Sabine Kutschke

durch BFS

**.... und Ihnen Dank für die Aufmerksamkeit**