



Pyritverwitterung, Versauerung und Verockerung - ein Erfahrungsbericht aus der Lausitz.



Ringvorlesung des Wasser Cluster Lausitz e.V. Cottbus

Uhlmann, Wilfried:

Pyritverwitterung, Versauerung und Verockerung – Ein Erfahrungsbericht aus der Lausitz.

Cottbus, 11.10.2022



**Wasser Cluster
Lausitz e.V.**

Pyritverwitterung, Versauerung und Verockerung - ein Erfahrungsbericht aus der Lausitz.

Dr. Wilfried Uhlmann

Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann
Lungkwitzer Str. 12, 01259 Dresden





Agenda

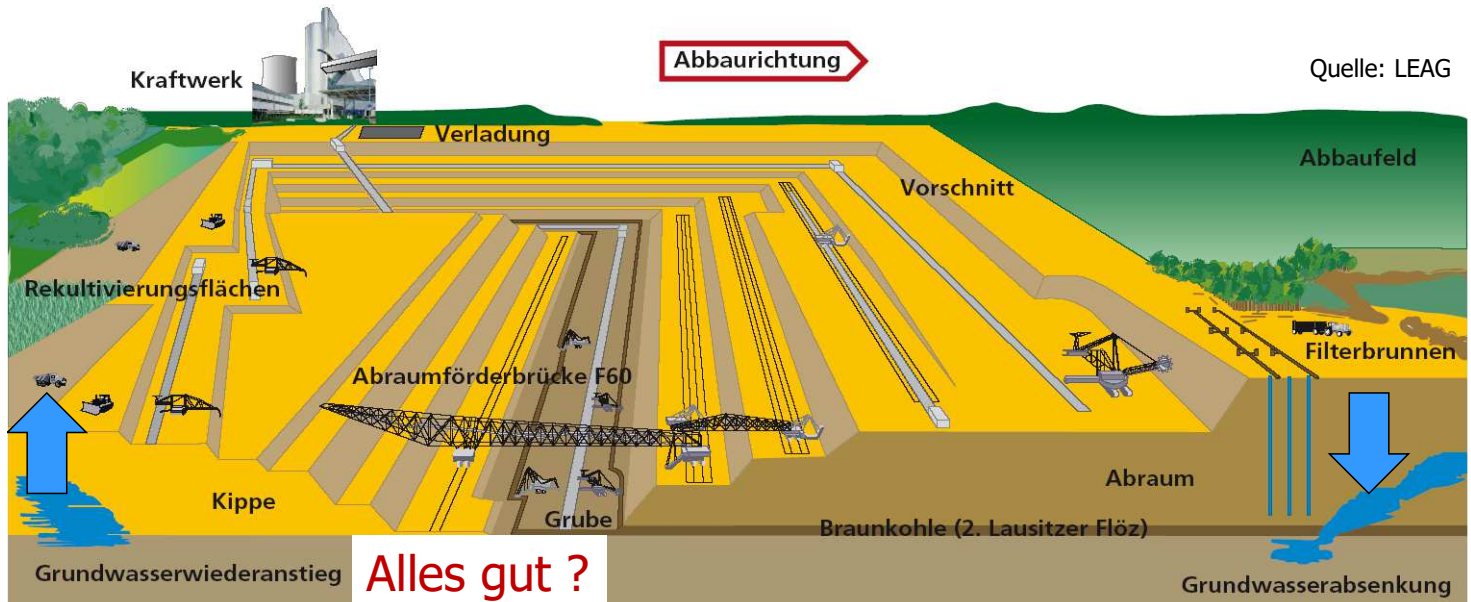
1. Pyritverwitterung im Tagebau
2. Versauerung von Bergbaufolgeseen
3. Pyritverwitterung im Grundwasserabsenkungstrichter
4. Pyritverwitterung in Niedermooren
5. Verockerung in Fließgewässern



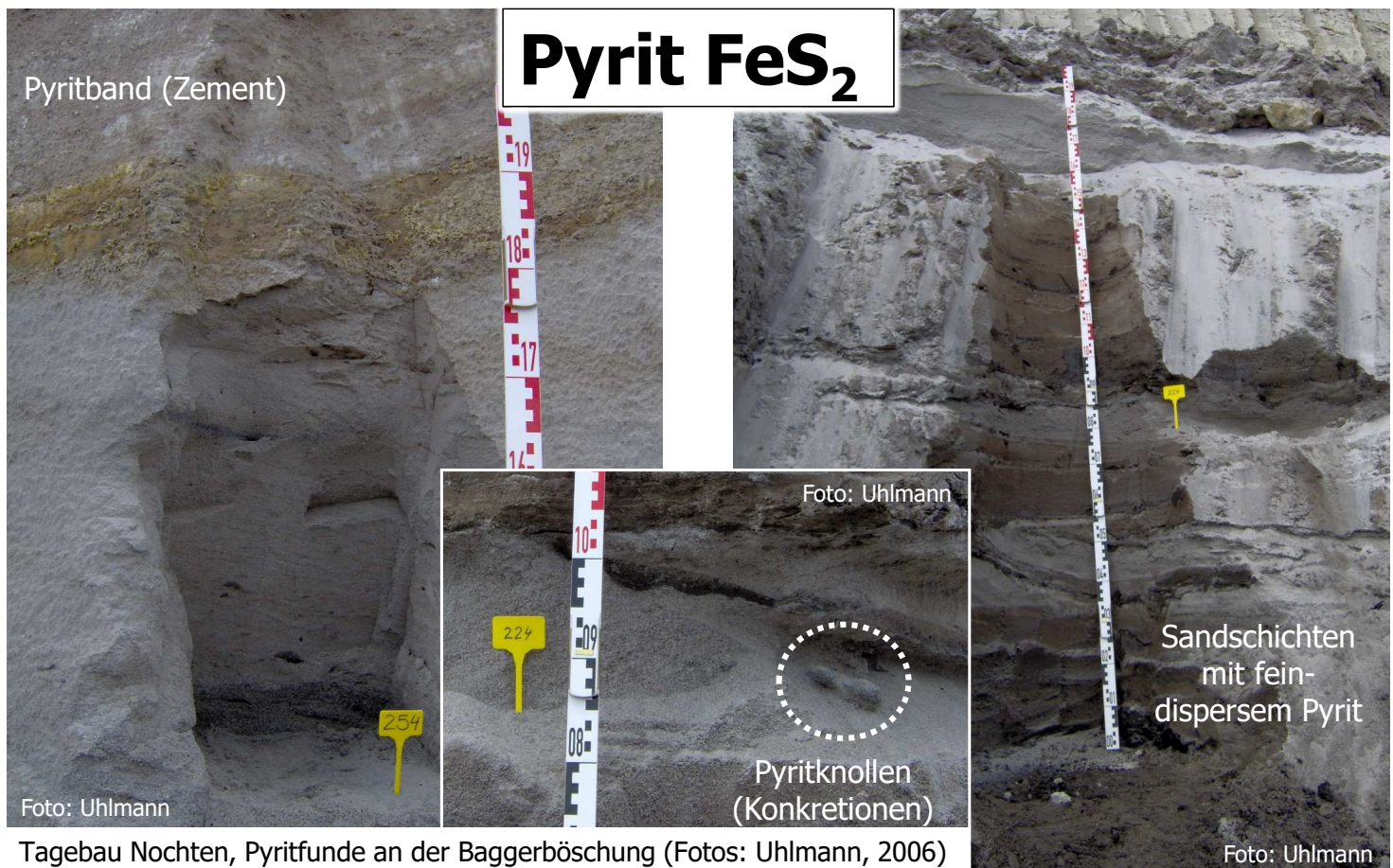
1. Pyritverwitterung im Tagebau



Braunkohlentagebau mit Förderbrückenbetrieb



Pyrite im tertiären Deckgebirge





Pyrite im tertiären Deckgebirge

Pyritband (Zement)

Pyrit FeS_2

Typ	Erscheinungsform	Stratigraphie	Pyrit	Anteil im Deckgebirge
			Masse-%	
A	feindispers in tertiären Sanden	G255 G31/G321/G322 G4241/G43	0,2...0,8	64 %
B.1	feindispers in tertiären Schluffen	MF1.5 Lgd.-U UBGL 1.LF Lgd.-U OBGL 2.LF Schluff 2 Hang.-U 2.LF	0,1...4,7	29 %
B.2	feindispers in kohligten Schichten	OB OBGL 2.LF UB OBGL 2.LF	0,4...0,9	4 %
C	Konkretionen, Zement und Kluftfüllungen	G122/G13 G255	bis 32	3 %

Foto: Uhlmann

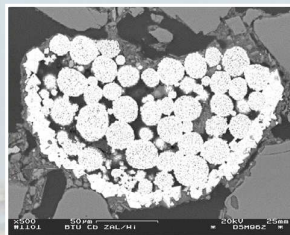
Pyritknollen
(Konkretionen)

Tagebau Nochten, Pyritfunde an der Baggerböschung (Fotos: Uhlmann, 2006)

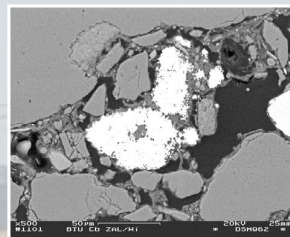
Foto: Uhlmann



Pyritverwitterung



Framboide



Zement

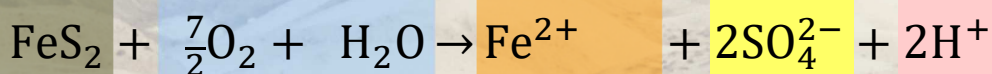
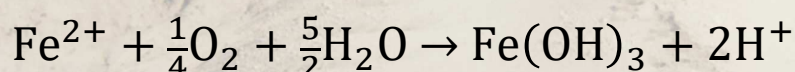
Pyrite und Markasite in
Kohlebegleitsedimenten
Fotos: Gröschke

Knollen

Oxisches Milieu:

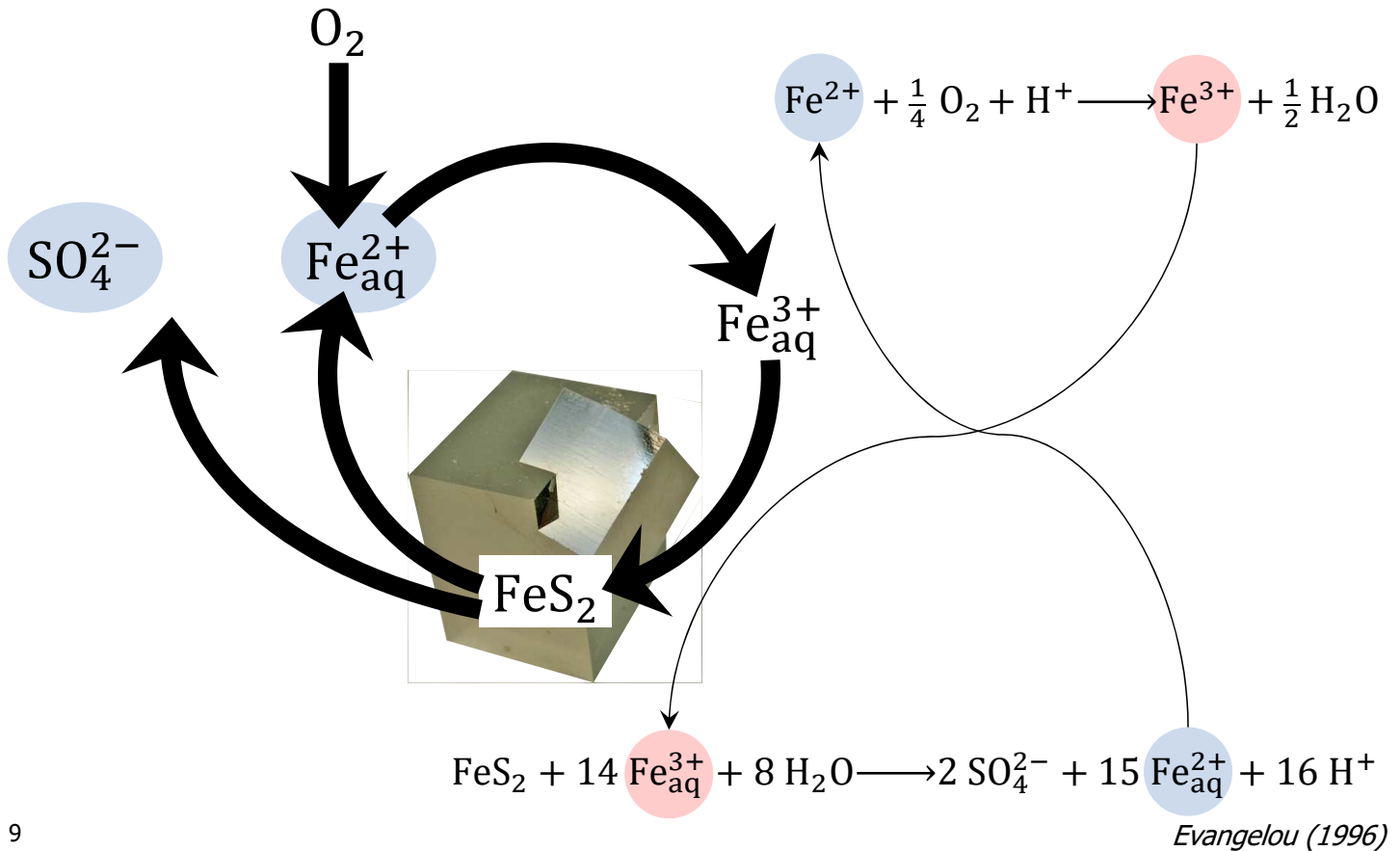


Anoxisches Milieu:

**Pyrit****Luft + Wasser****Eisen****Sulfat****Säure**Experiment in der Petrischale
Foto: Gröschke



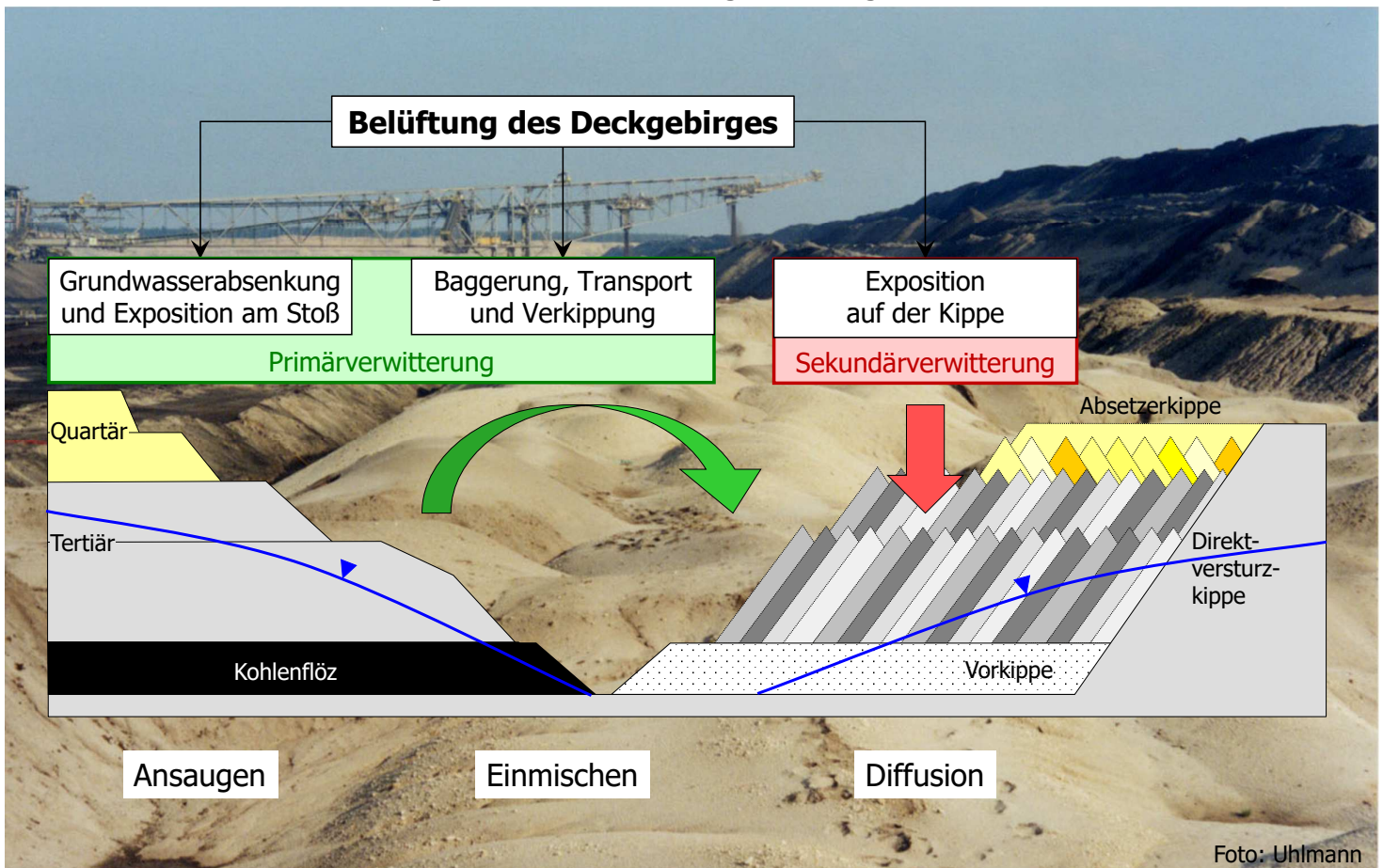
Mechanismus der Pyritverwitterung auf der Mikroskala



9

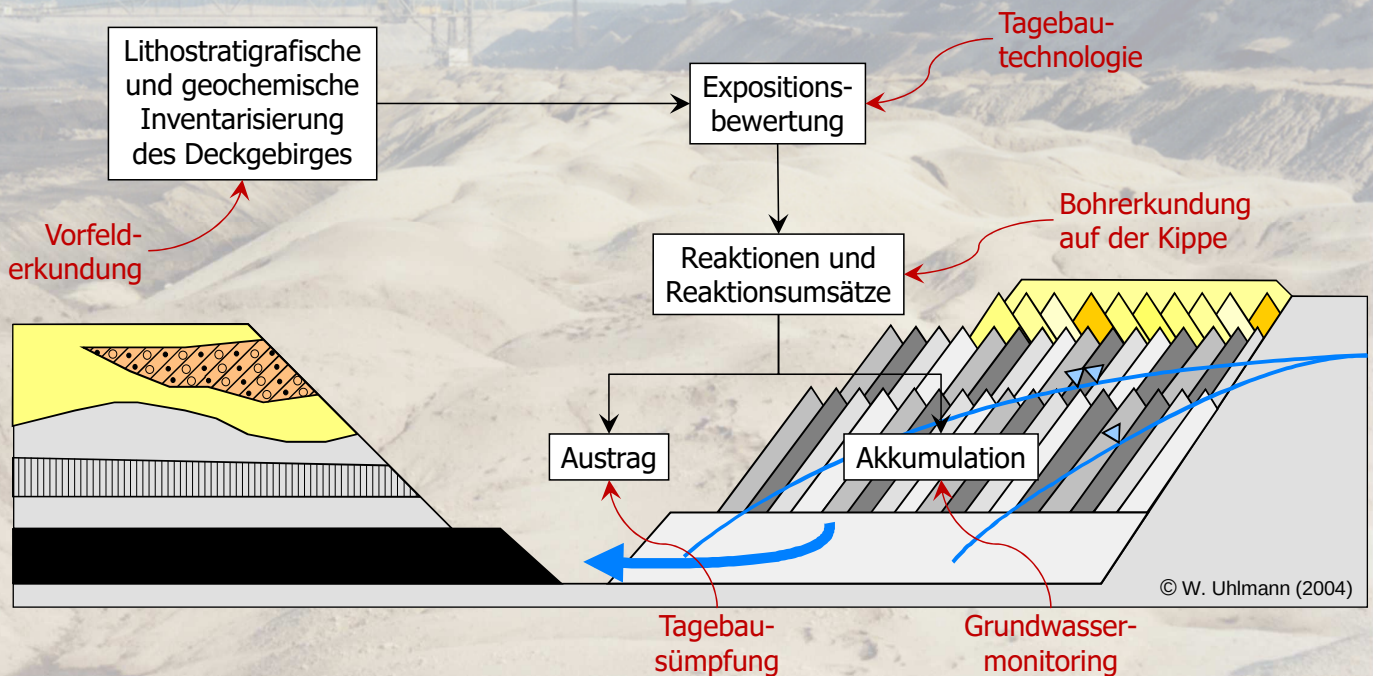


Pyritverwitterung im Tagebau



Quantifizierung der Pyritverwitterung in Tagebauen

- Tagebau Jänschwalde 1997-1998 (BTUC & TU BAF)
- Tagebau Cottbus-Nord 2000 (BTUC)
- Tagebau Welzow-Süd 1997-2000 (DGFZ)
- Tagebau Nochten 1999-2001 (IWB)
- Tagebau Reichwalde 2010-2011 (IWB)



11

Verwitterung in den Kippen

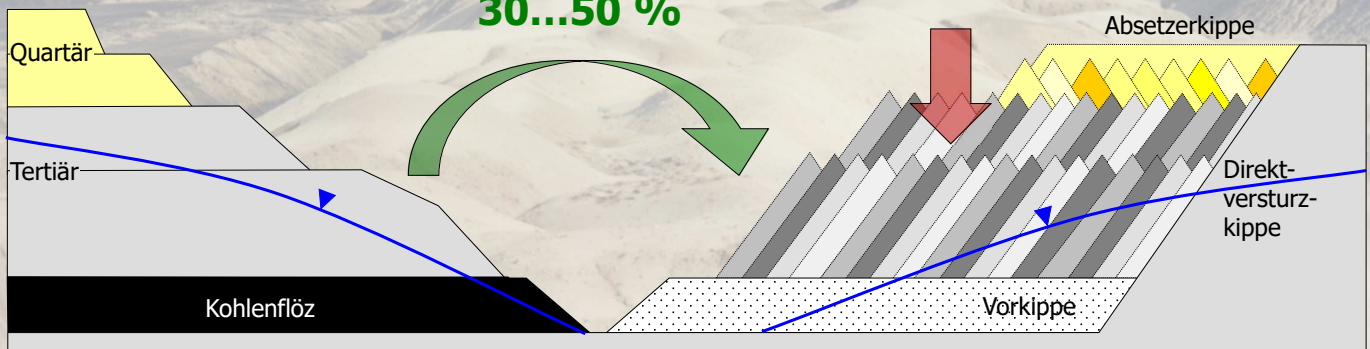
In den LEAG-Tagebauen in der Lausitz:

Profilgemittelter Verwitterungsumsatz: 0,03 ... 0,08 Masse-% Pyrit

Profilgemittelte Verwitterungsrate : 6 % ... 12 % (18 %)

... davon Sekundärverwitterung

... davon Primärverwitterung **50...70 %**
30...50 %



Freigesetzte Stoffe in der Kippe:

~ 50 % Hebung mit dem Sumpfungswasser

~ 50 % Akkumulation in der Kippe

12



Formierung der Grundwasserbeschaffenheit in Kippen

Tagebau
Reichwalde
2010

1.000 - 3.500 mg/L

Sulfatkonzentration in mg/L

10 - 280 mg/L

Innenkippe

Gewachsenes

Versauerungsdisposition:

Potentielle Acidität (rot) bzw.
Alkalinität (blau) in mmol/L

$K_{B4,3ox} \approx 3 - 16 \text{ mmol/L}$

$K_{S4,3ox} \approx 0 - 3 \text{ mmol/L}$

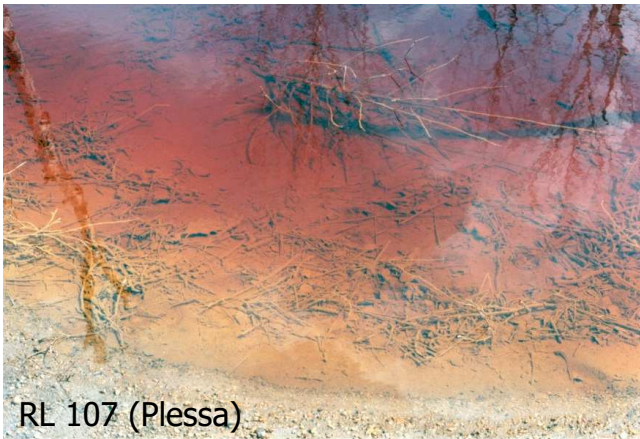
13



2. Versauerung von Bergbaufolgeseen



Versauerung von Bergbaufolgeseen



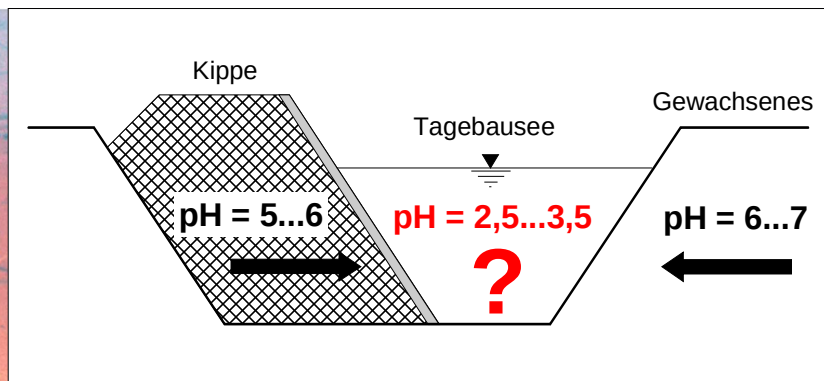
15

RL 107 (Plessa)

Fotos: Uhlmann



Basisfrage der Versauerung



pH-Wert als Maß der Versauerung ?

Definition des pH-Werts

$$\text{pH} = -\log_{10}(\text{H}^+)$$

Aktivität der Wasserstoffionen in [mol/L]

$$(\text{H}^+) = 10^{-\text{pH}}$$

Konzentration der freien Wasserstoffionen

$$[\text{H}^+] > (\text{H}^+)$$

Acidität (Säuregehalt) eines Wassers

$$\text{Aci} \gg [\text{H}^+]$$

Das Experiment: Pufferbereiche in sauren Bergbaufolgeseen

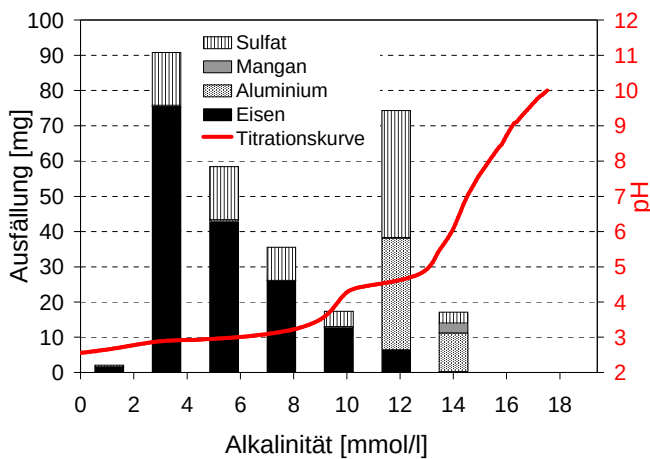
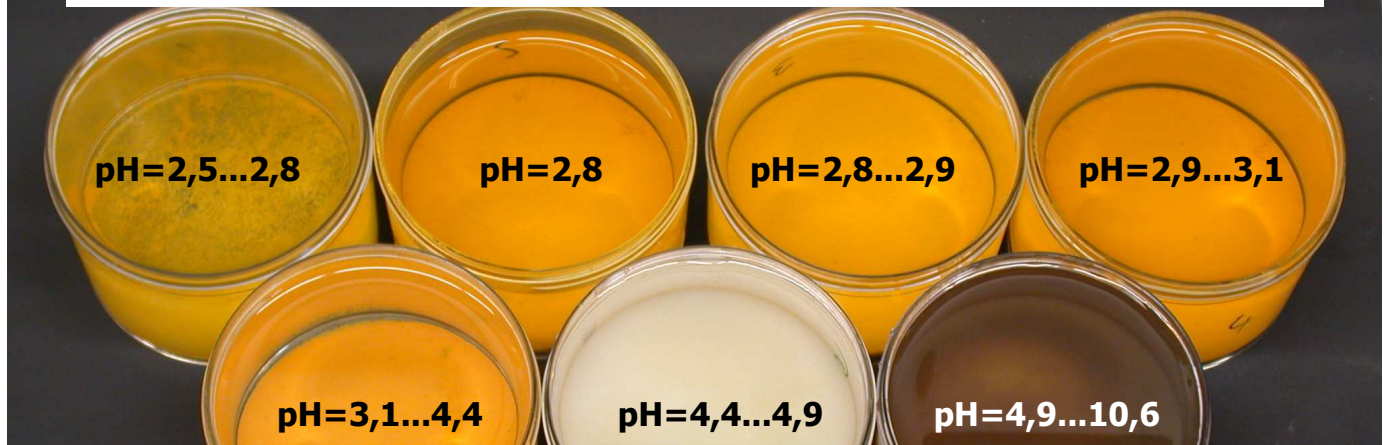
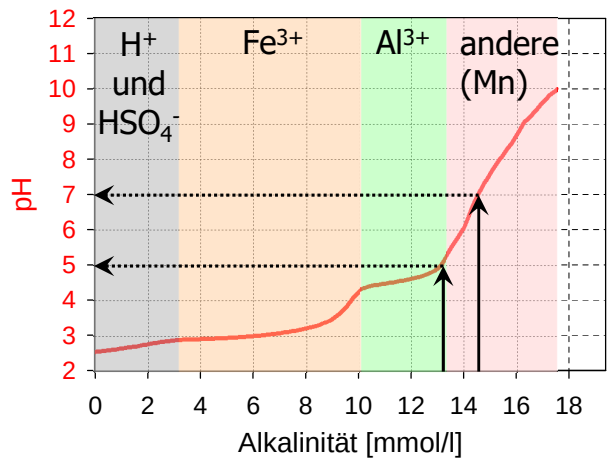
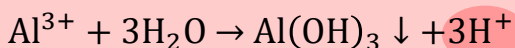
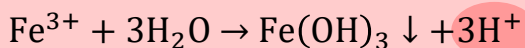
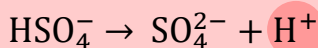


Foto: Totsche



Wie sauer ist ein Bergbaufolgeseesee?

Acidität oxischer Wässer



$$K_{B4.3} \approx [\text{H}^+] + [\text{HSO}_4^-] + 2 \cdot [\text{Fe}^{3+}]$$

$$K_{B8.2} \approx [\text{H}^+] + [\text{HSO}_4^-] + 3 \cdot [\text{Fe}^{3+}] + 3 \cdot [\text{Al}^{3+}]$$

Hydrosulfatpuffer

Eisenpuffer

Aluminiumpuffer

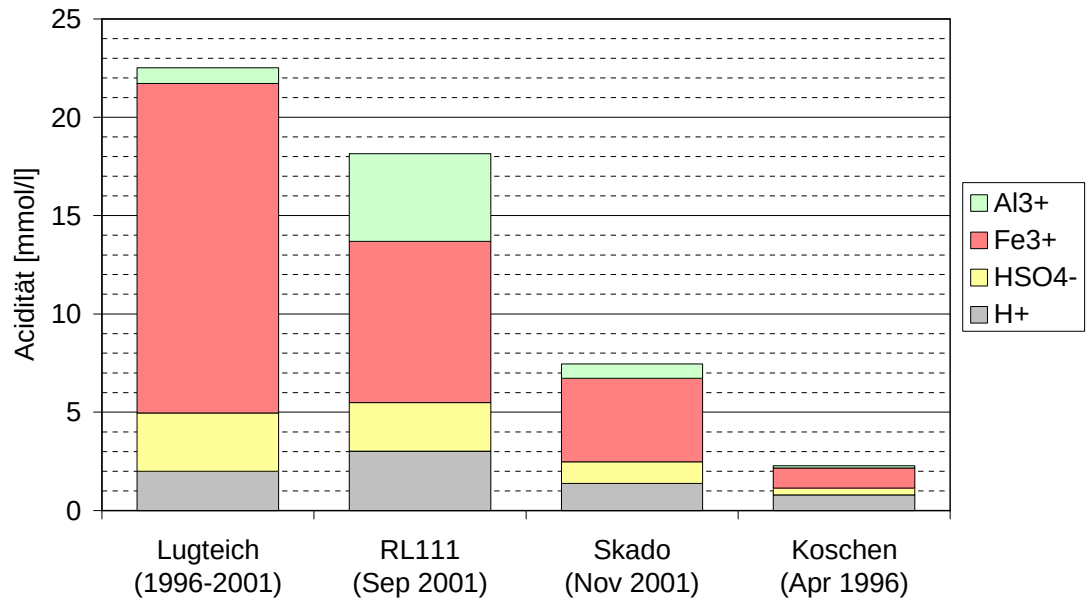
Maßzahlen für die Acidität:
Basenkapazitäten

Maßeinheit mmol/L

Puffer = Widerstand gegen die Veränderung des hydrochemischen Zustandes (hier: Erhöhung des pH-Wertes bei alkalischer Titration)



Acidität von Bergbaufolgeseen

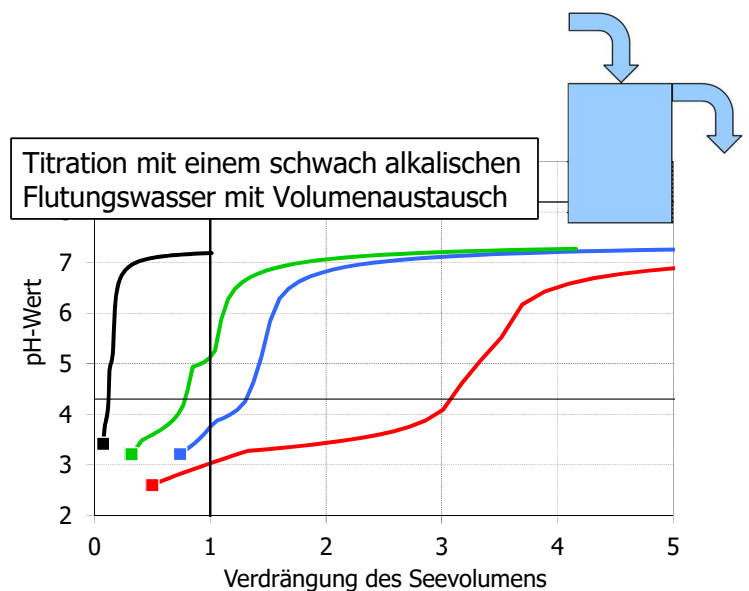
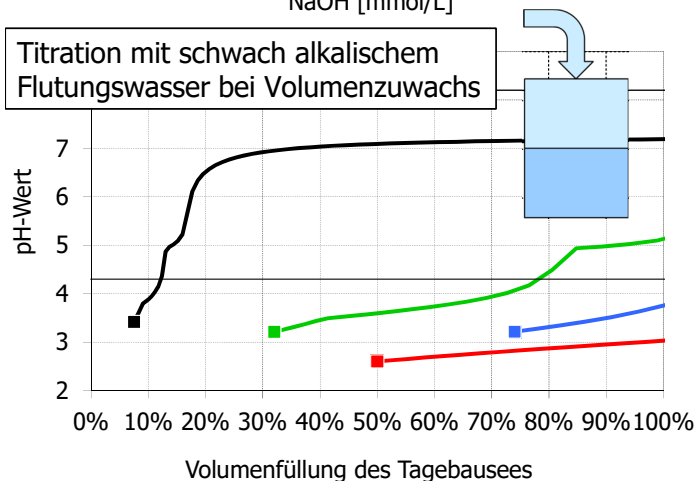
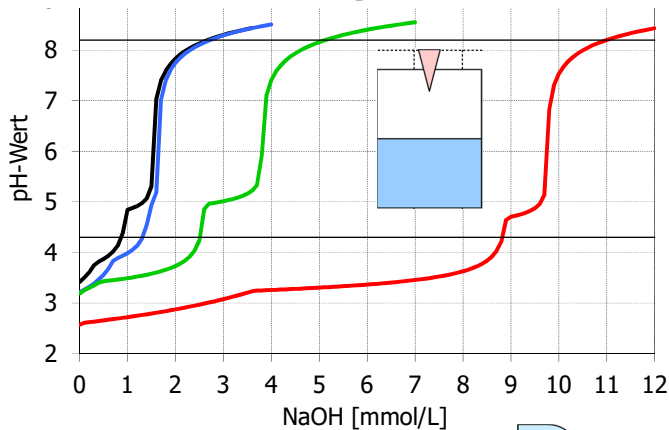


pH		2,7	2,5	2,9	3,1
K _{B4,3}	mmol/L	15,7	11,7	5,1	1,8
K _{B8,2}	mmol/L	19,3	16,9	8,1	2,5
Sulfat	mg/L	2.360	1.380	1.250	770
Eisen-III-gelöst	mg/L	320	154	82	19
Aluminium	mg/L	7	40	6	1

19



Numerische Experimente zur Neutralisation von Bergbaufolgeseen



20

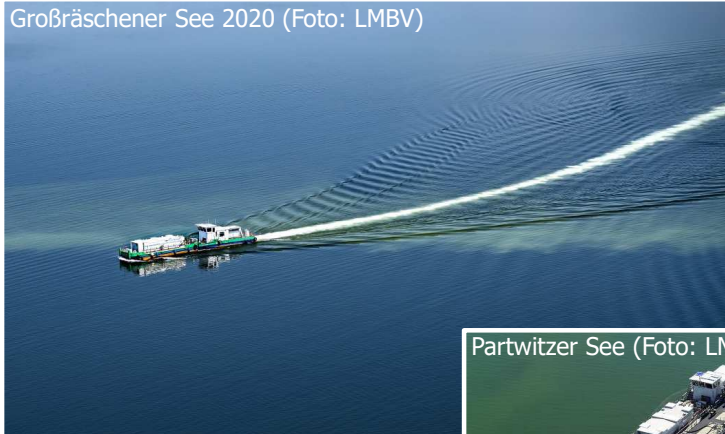


Der Anfang



Inlake-Wasserbehandlung

Großbräschener See 2020 (Foto: LMBV)



Speicher Burghammer 2009 (Foto: LMBV)



Partwitzer See (Foto: LMBV)

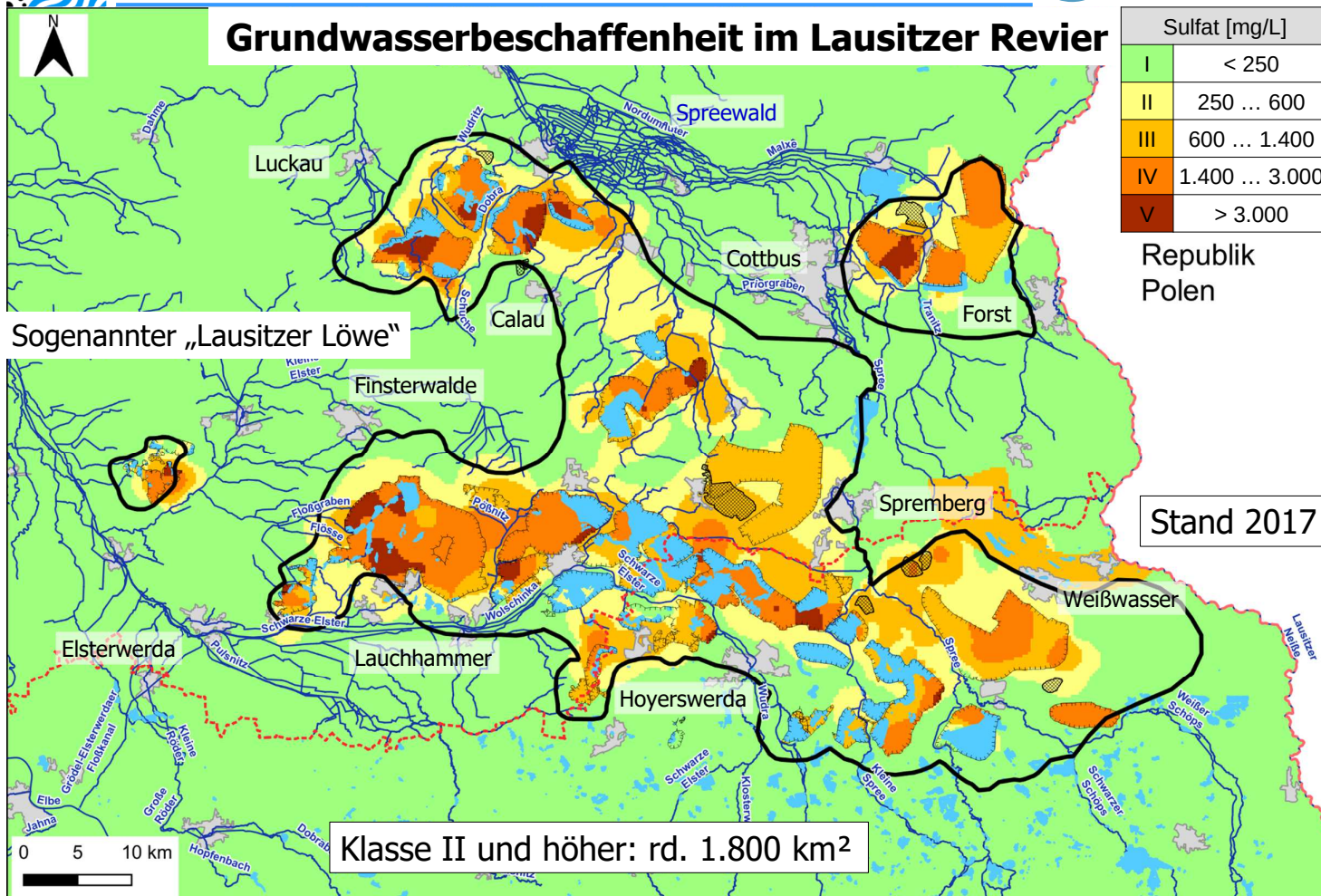


Lichtenauer See 2012 (Foto: LMBV)



Schlabendorfer See 2014 (Foto: LMBV)

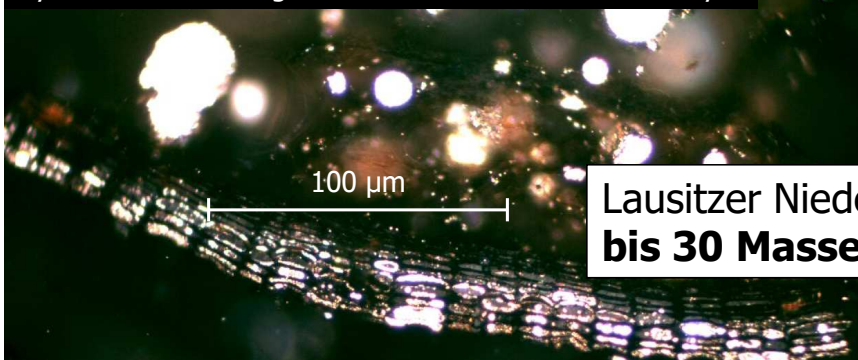
In pleistozänen Grundwasserleitern
Pyrit bis 0,05 Masse-%:
 → dispers verteilte Kohlepartikel
 → sogenannte „Rollkohlen“



4. Pyritverwitterung in Niedermooren

Pyrit in Niedermooren

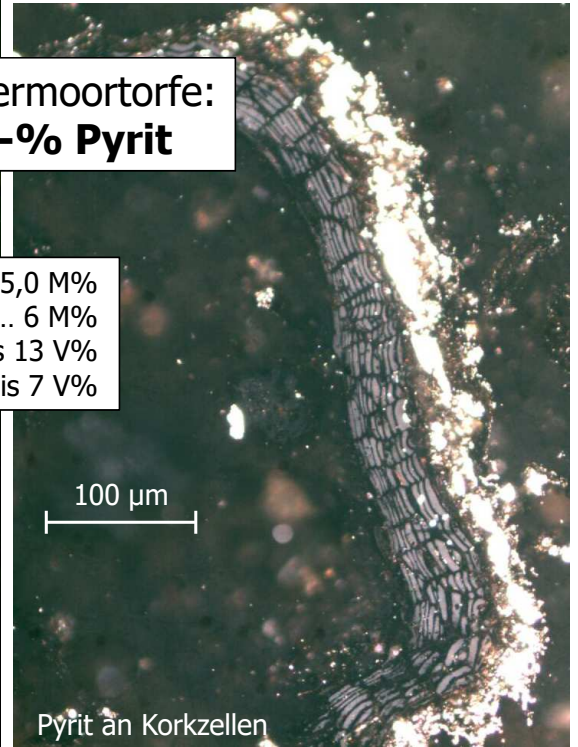
Pyrit als Zellenfüllung in Korkzellen und framboidaler Pyrit



Lausitzer Niedermoortorfe:
bis 30 Masse-% Pyrit

Pyrite in einem Niedermoortorf
im südlichen Spreewald (Raddusch)

Fotos: Niemz, LAOP Lauta (2004)



[GÖTLICH 1990] Niedermoortorfe Norddeutschlands

[SCHWÄRZEL 1997] Niedermoortorf Rhinluch

[LAOP 2004] Niedermoortorf Raddusch

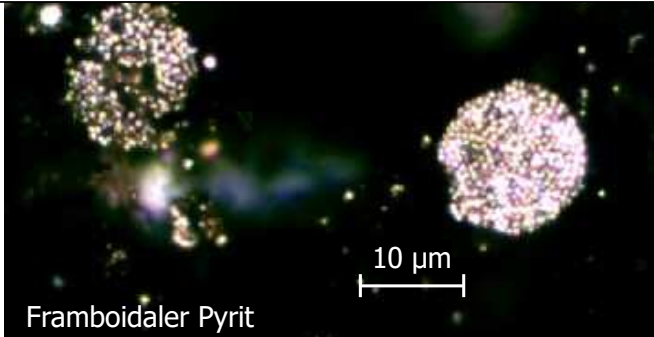
[LAOP 2013] Niedermoortorf Weißacker Moor

S = 0,5 ... 5,0 M%

S = 2 ... 6 M%

FeS₂ bis 13 V%

FeS₂ bis 7 V%



Framboidaler Pyrit

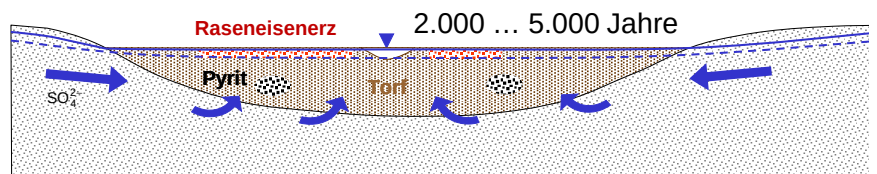
29

Pyritverwitterung in Niedermooren

(1) Natürlicher Zustand

Stoffeintrag mit dem Grundwasser:

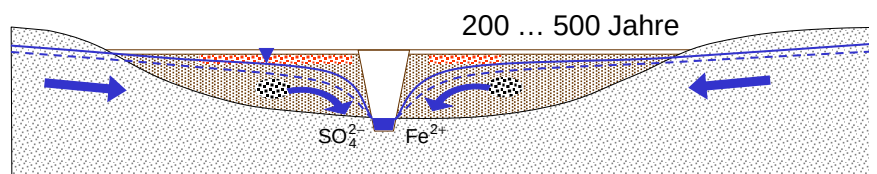
- Bildung von **Raseneisenerz** im „Akrotelm“ (Torfbildungshorizont, periodisch aerob)
- Bildung von **Pyrit** im „Katotelm“ (Torferhaltungshorizont, ständig anaerob)



(2) Kulturhistorischer Zustand

Lokale Grundwasserabsenkung:

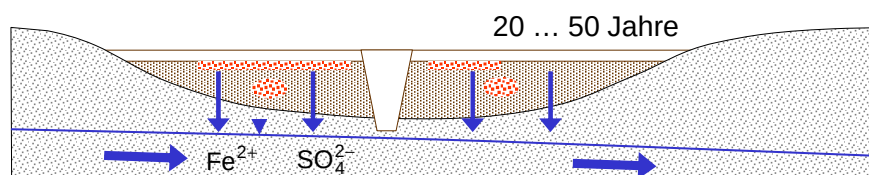
- Torfgewinnung
- Abbau von Raseneisenerz
- Landwirtschaftliche Melioration



(3) Braunkohlenbergbau

Regionale Grundwasserabsenkung:

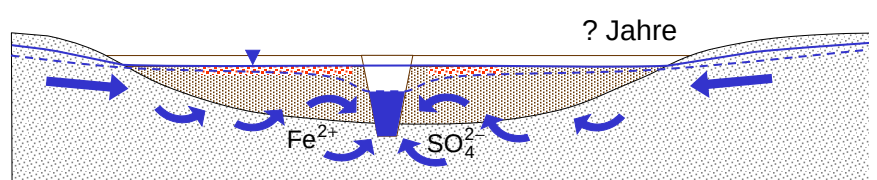
- Moordegradation (Sackung, Vermüllung)
- **Pyritverwitterung**
- Stoffeintrag ins Grundwasser



(4) Grundwasserwiederanstieg

Regionaler Grundwasserwiederanstieg:

- Geländevernässung durch Höhenverlust
- **Versauerung** und **Verockerung**
- Stoffeintrag ins Fließgewässer





Raseneisenerz ... das Unbescholtene



<http://de.wikipedia.org/wiki/Gley>

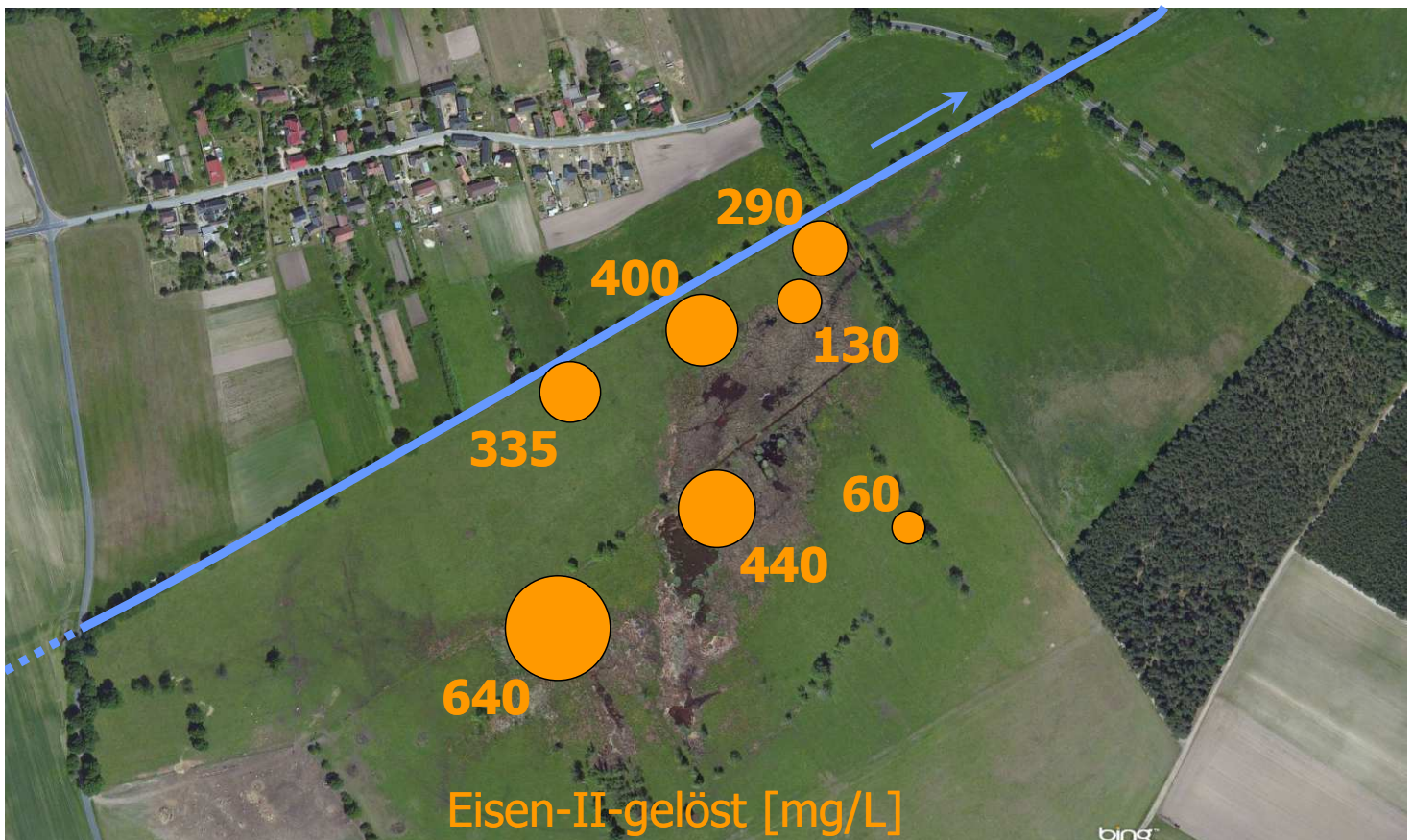


Raseneisenstein aus dem Niedermoor bei Bornsdorf



Pyritverwitterung in flachgründigen Niedermooren

Niedermoor südlich von Briesen





Bildergalerie

Skeinzteiche bei Altdöbern



Bolschwitzer Torfteiche



Torfwiesen bei Jehschen



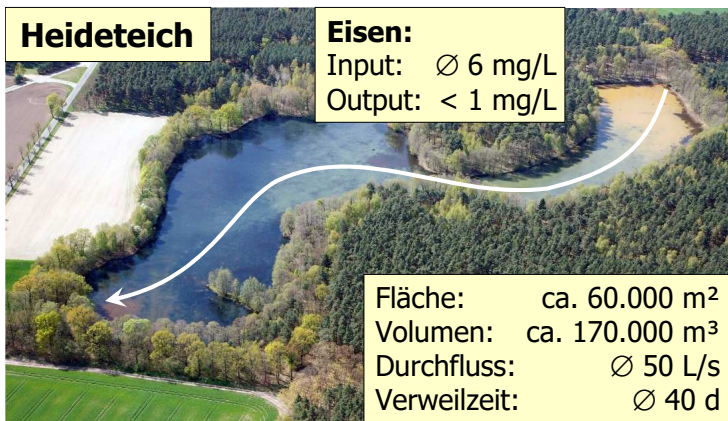
Fotos: Rauhhut

Niedermoor südlich vom Horstteich



Naturräumliche Wasserbehandlung

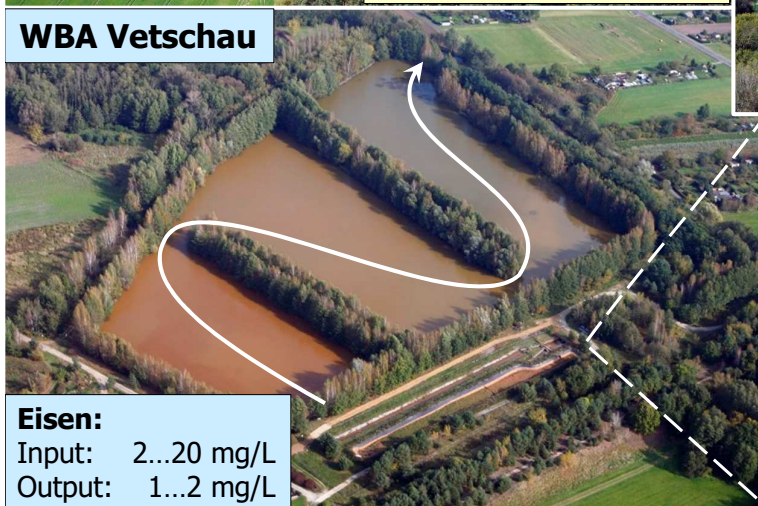
Heideteich



Eisen:
Input: $\varnothing$ 6 mg/L
Output: < 1 mg/L

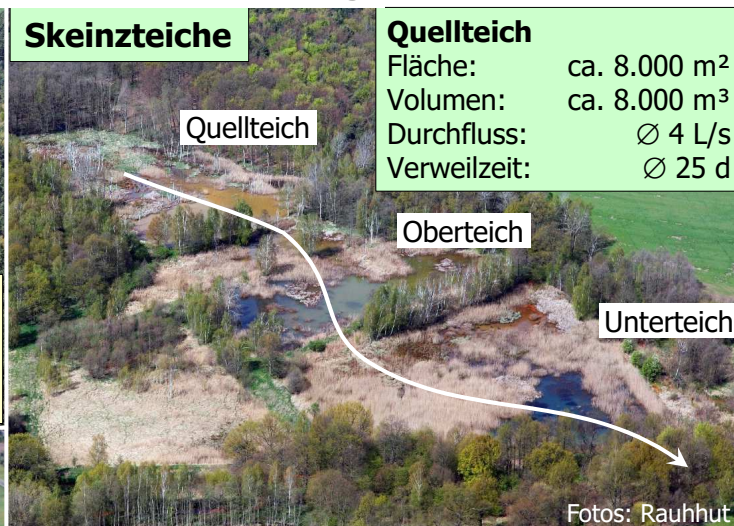
Fläche: ca. 60.000 m²
Volumen: ca. 170.000 m³
Durchfluss: $\varnothing$ 50 L/s
Verweilzeit: $\varnothing$ 40 d

WBA Vetschau



Eisen:
Input: 2...20 mg/L
Output: 1...2 mg/L

Skeinzteiche



Quellteich

Quellteich

Fläche: ca. 8.000 m²
Volumen: ca. 8.000 m³
Durchfluss: $\varnothing$ 4 L/s
Verweilzeit: $\varnothing$ 25 d

Oberteich

Unterteich

Fotos: Rauhhut



Eisen:

Grundwasser: 60...210 mg/L
Quellteich: 1...48 mg/L
Oberteich: 0,1...6 mg/L
Unterteich: 0,1...2 mg/L

**Hybride WBA Vetschau
(Vetschauer Mühlenfließ)**

Fläche: ca. 60.000 m²
Volumen: ca. 170.000 m³
Durchfluss: 200 ... 500 L/s
Verweilzeit: 4 ... 10 d



5. Verockerung von Fließgewässern



Verockerung von Fließgewässern





Verockerung von Fließgewässern



Spree bei Spreewitz 2015 (Foto: Uhlmann)



Verockerung von Fließgewässern



Eichower Fließ (April 2010)

110 mg/L

Foto: Uhlmann



Foto: Uhlmann

3 mg/L

Schwarze Elster nach
Einmündung des
Hammergrabens
in Plessa (Juli 2019)



Foto: Uhlmann

150 mg/L

Altarm der Spree
am Wehr Ruhlmühle (März 2015)



Foto: Uhlmann

6 mg/L

Spree in Spremberg-Wilhelmsthal (Juli 2013)



< 1 mg/L

5 mg/L

Talsperre Spremberg (September 2013)

Eisen-gesamt

OGewV Anlage 7:

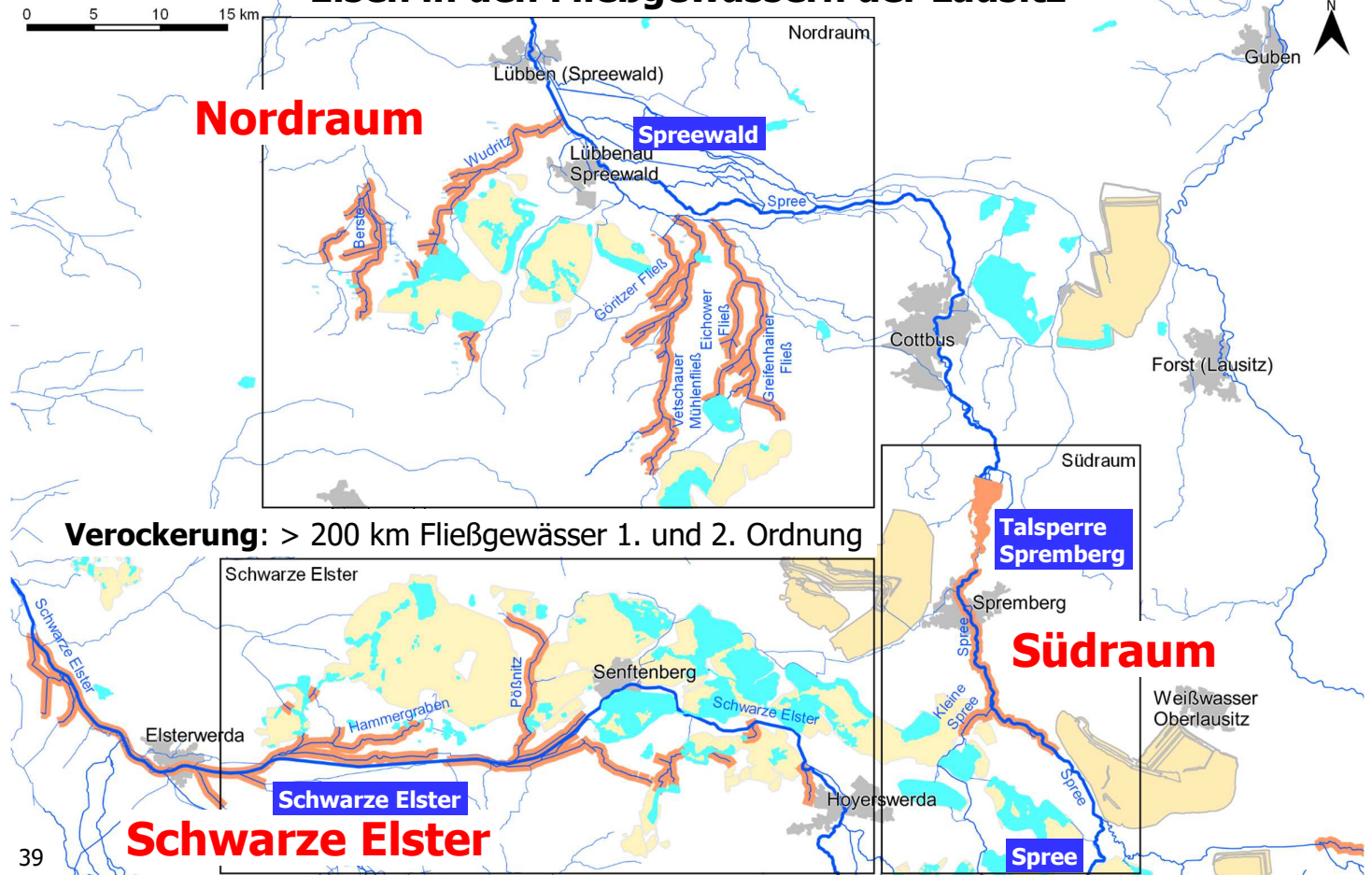
< 0,7 bzw. < 1,8 mg/L

Foto: Rauhut



Eisen in den Fließgewässern der Lausitz

0 5 10 15 km

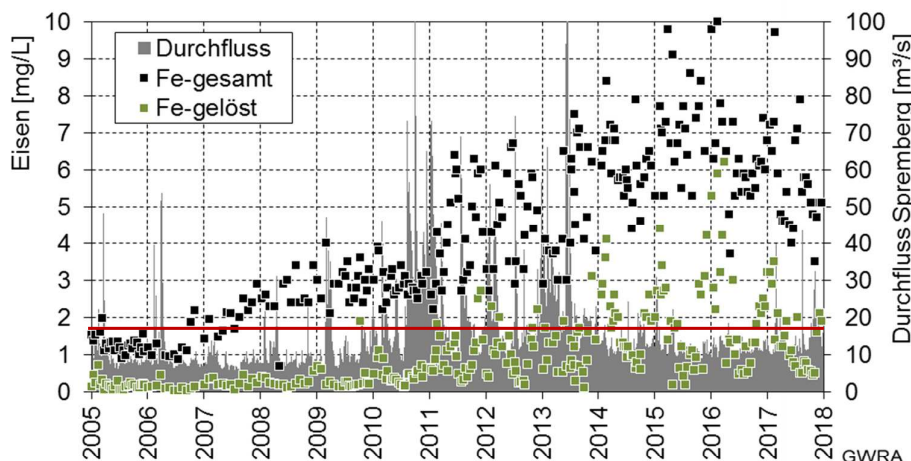


Verockerung: > 200 km Fließgewässer 1. und 2. Ordnung

39

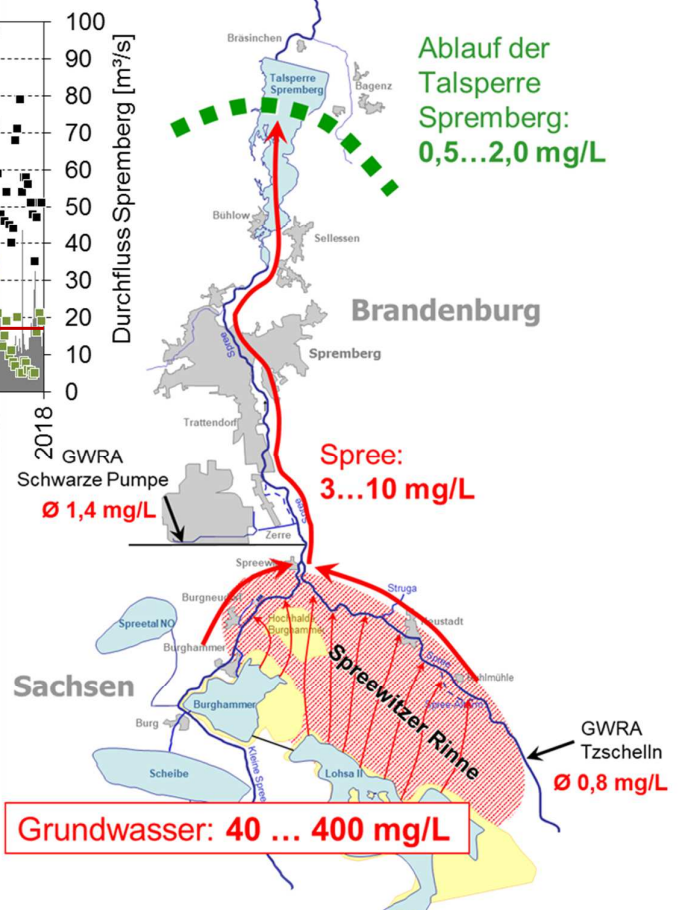


Verockerung der Spree im Südraum



Orientierungswert OGewV Anlage 8 für Typ15/15g:
1,8 mg/L Eisen-gesamt

Foto: Rauhhut



Ablauf der
Talsperre
Spremberg:
0,5...2,0 mg/L

Spree:
3...10 mg/L

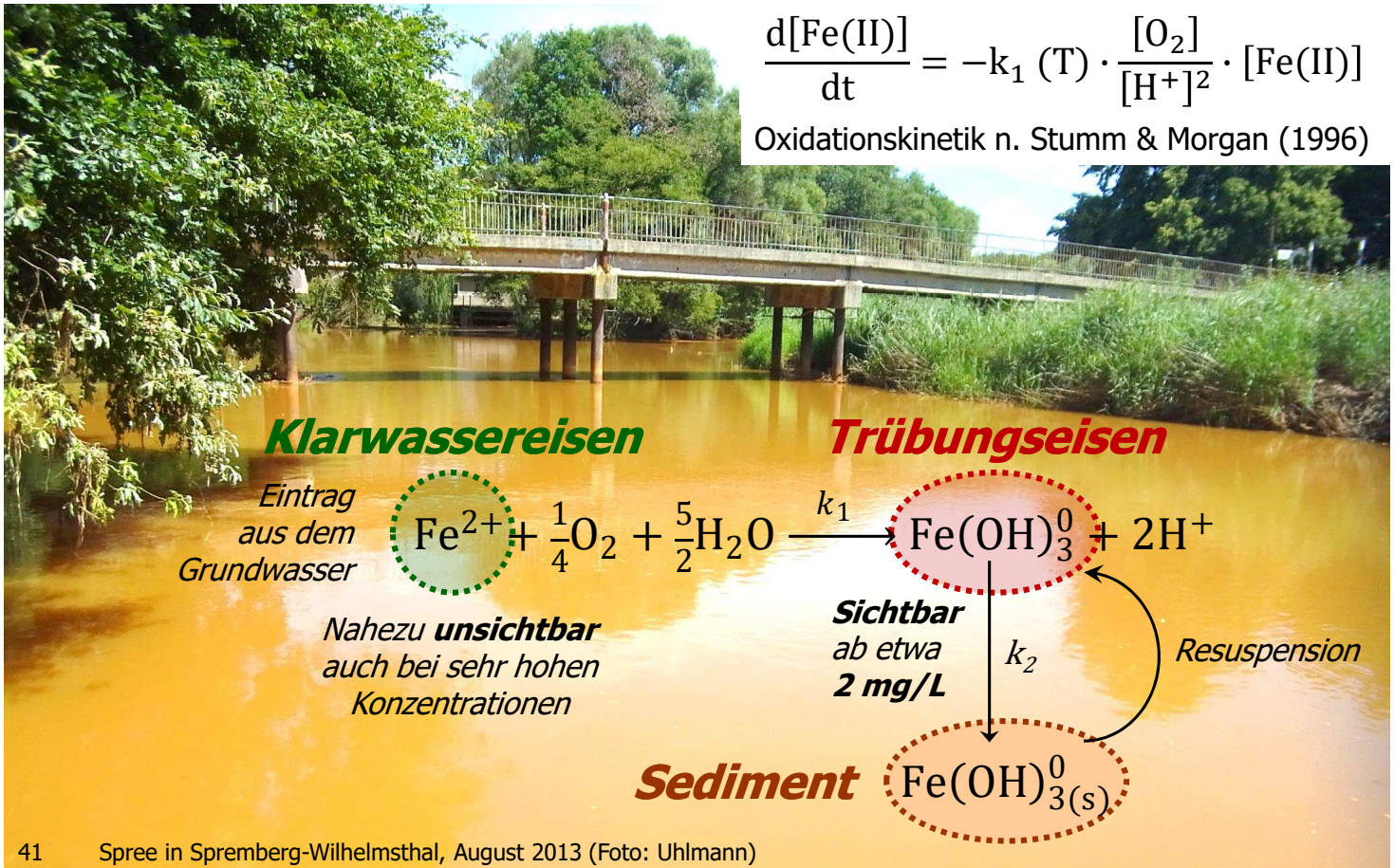
Grundwasser: 40 ... 400 mg/L

GWRA
Tzschellin
Ø 0,8 mg/L

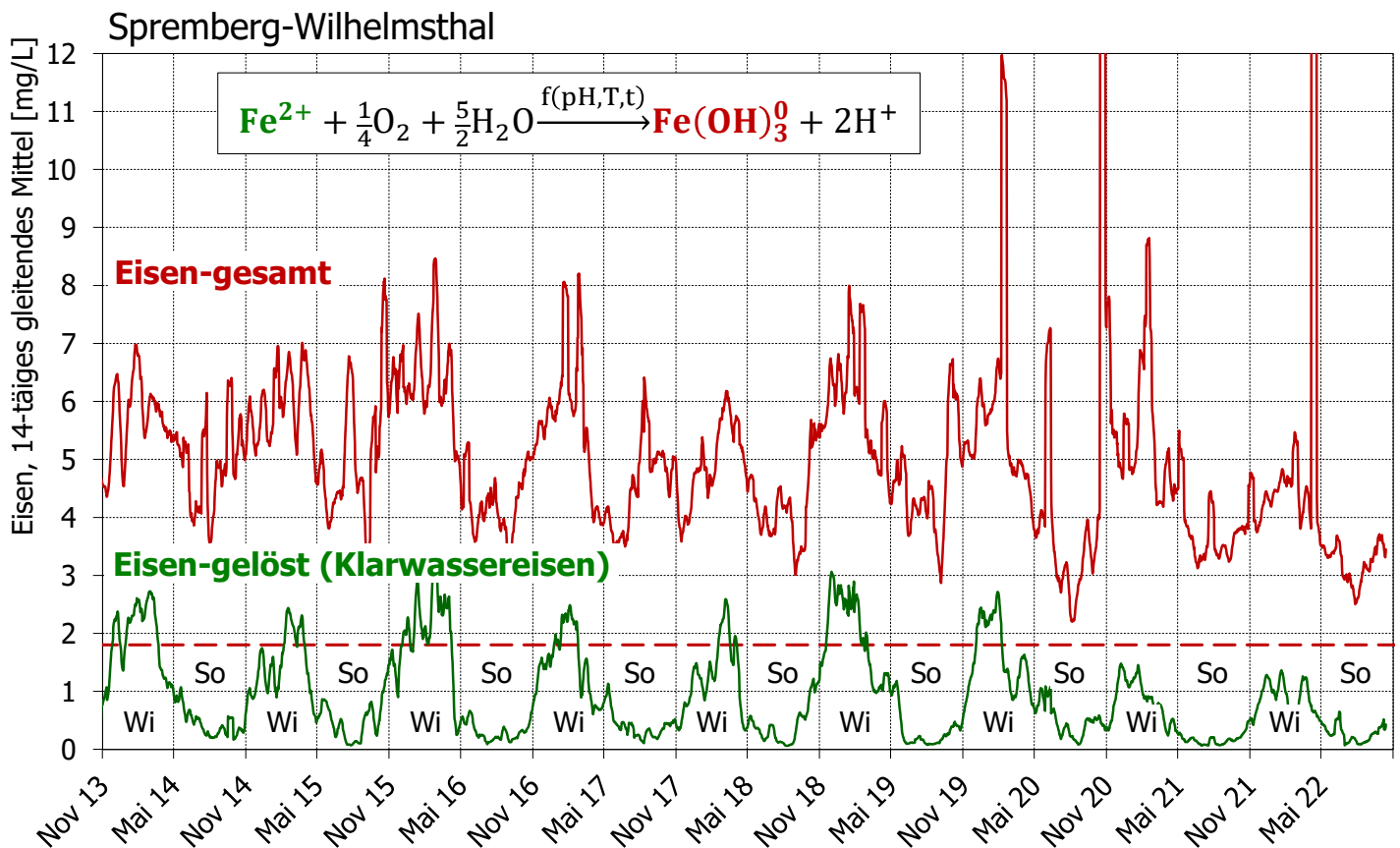
Hydrochemie des Eisens in Fließgewässern

$$\frac{d[\text{Fe(II)}]}{dt} = -k_1(T) \cdot \frac{[\text{O}_2]}{[\text{H}^+]^2} \cdot [\text{Fe(II)}]$$

Oxidationskinetik n. Stumm & Morgan (1996)

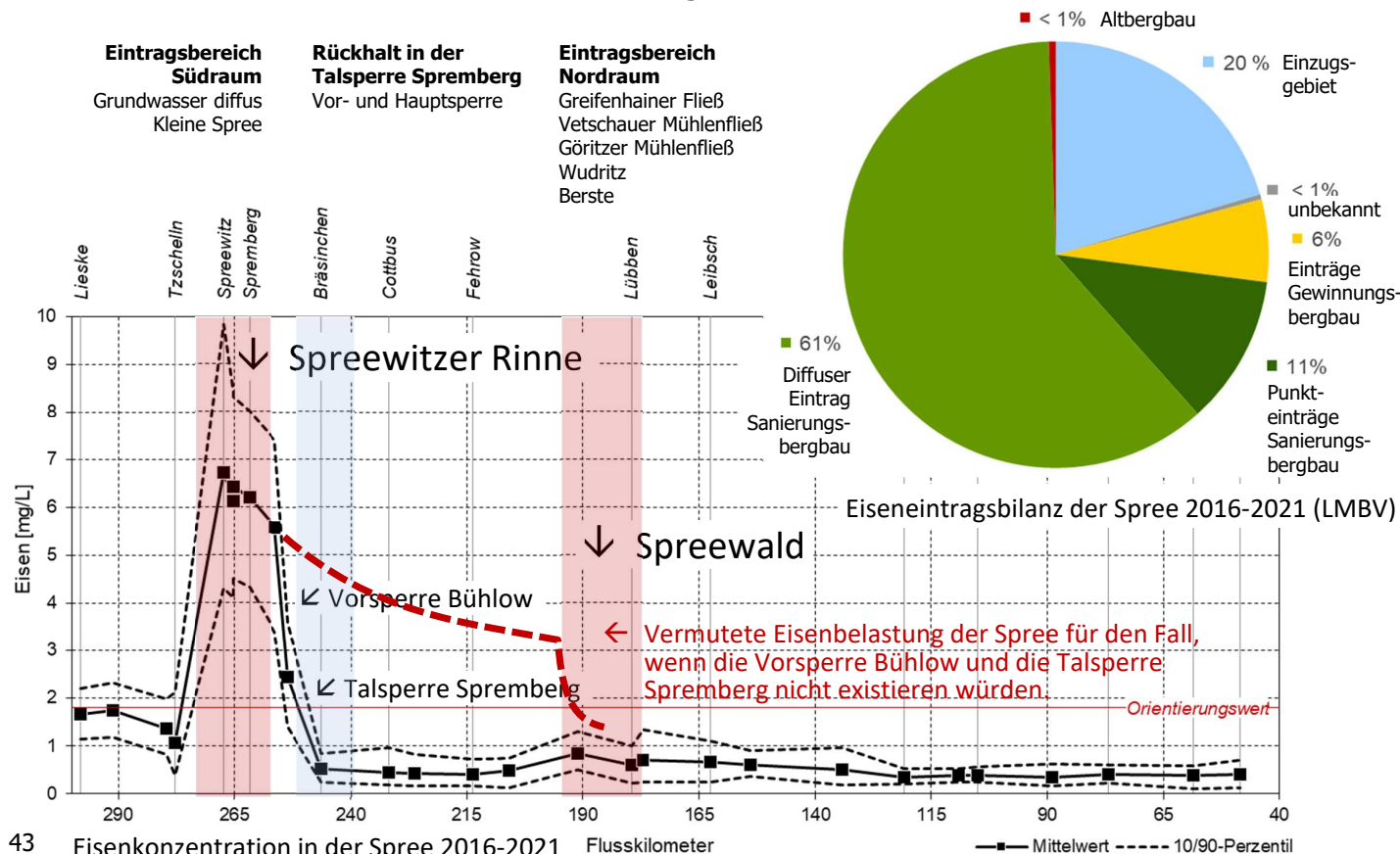


Jahreszeitliche Dynamik der Eisenbelastung





Längsschnitt der Eisenkonzentration und und Eiseneintragsbilanz der Spree



LAUSITZER LEBEN
KULTUR & GESELLSCHAFT

DIENSTAG
15. MAI 2018

Zehn Jahre braune Spree - und kein Ende in Sicht
Der Schutz des Spreewaldes vor Eisenschlamm ist eine Generationenaufgabe. Noch fehlt dafür ein Konzept.

VON IRMELA HENNIG

Acht am Diek" steht in weißen Buchstaben auf roten T-Shirts. Eine kleine Gruppe Urlauber hat sie übergezogen. „Diek“ bedeutet „Deich“. Aber schon am Dialekt ist gut zu hören: Hier haben sich Nordlichter aufgemacht in den Spreewald.

bündnis Klare Spree, das massiv den Schutz des Spreewaldes einfordert. Der frühere Kraftwerkselektrotechniker aus Vetschau ist in den letzten Jahren ein Experte geworden, wenn es um das Thema gelöstes Eisen geht. Das ist eine Folge des Tagebaus. Um Braunkohle zu fördern, wurde einst Grundwasser abgesenkt. Dadurch verwitterte der

Die Maßnahmen: Über zehn Millionen Euro für die erste schnelle Hilfe Die Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft (LMBV) kümmert sich mit den Landesbehörden um das Thema. Über 40 Millionen Euro sind bislang in Sofortmaßnahmen geflossen. In den kommenden Jahren werden weitere Millionen

men. Zurzeit wird die Vorsperre der Talsperre Spremberg freigeräumt.

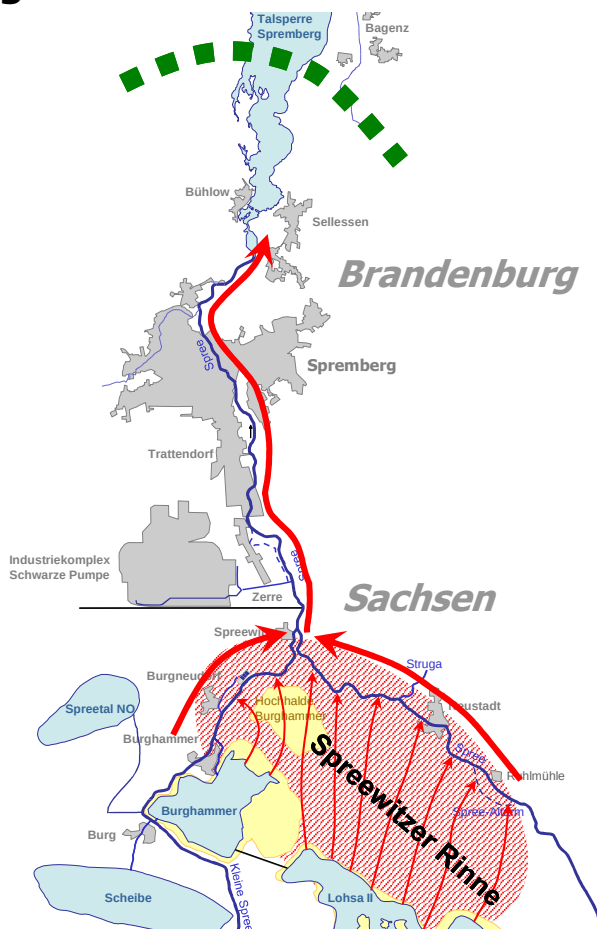
Die Kritik: Es fehlt ein langfristiges Gesamtkonzept für den Spreewald Bei der Diskussion wurde von einer Generationenaufgabe gesprochen. Da noch viel Pyrit im Boden ist, wird der noch lange aus-

Im Spreewald hat die Kahnsaison begonnen. Die Gästezahlen steigen seit Jahren. Der Kernspreewald blieb bis jetzt vom rot-braunen Eisenschlamm verschont. Im Schlaibendorfer See bei Luckau gibt es viel davon. Für Naturschützer Winfried Böhmer war er lange ein Sorgenkind, weil von da Schlamm in die Flüsse gelangte.

Fotos: dpa, R. Bonß



Es gibt einen Plan: Maßnahmen zum Eisenrückhalt im Südraum



➤ Wassergütebewirtschaftung der **Talsperre Spremberg**

➤ Chemische Wasserbehandlung in der **Vorsperre Bählow**

➤ Systematische Beräumung der Vorsperre Bählow

➤ Behandlung von **Hotspots**:

- MWBA Burgneudorf
- MWBA Neustadt
- MWBA Ruhlühle

➤ **Barrierenkonzept**:

- Abfanggräben, -rigolen, -brunnen
- Wasserbehandlung in der GWBA Schwarze Pumpe
- Dichtwand am Speicher Lohsa II

45



(Provisorische) Wasserbehandlung an der Vorsperre Bählow

Absetzbecken



Schlammmanagement

Foto: LMBV

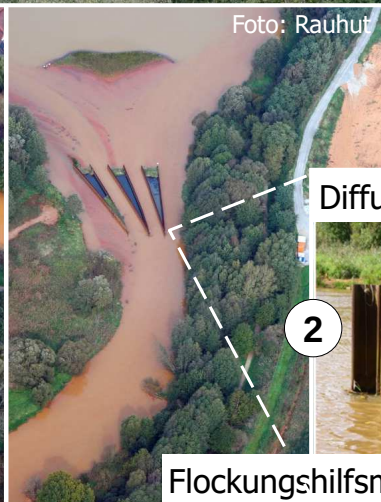


Foto: Rauhut



Kalk

Foto: Rauhut



Diffusor

Foto: Rauhut



Foto: Uhlmann

Flockungsmittel

Flockungshilfsmittel



Eisenrückhalt in Anlagen an Hotspots



Foto: LMBV

MWBA Burgneudorf

Foto: LMBV

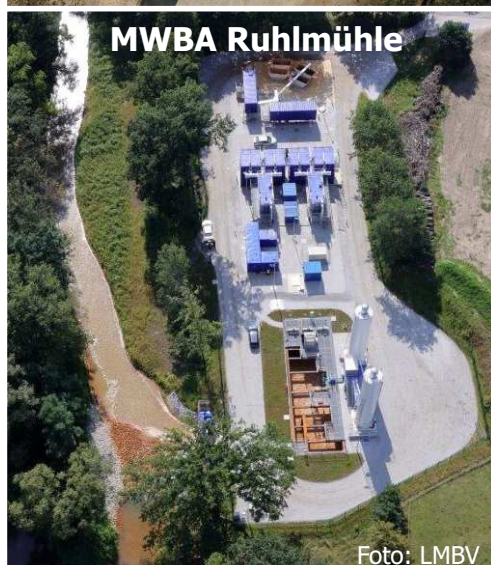


Foto: LMBV



Foto: LMBV



Foto: LMBV

MWBA Neustadt



Talsperre Spremberg
am **06.09.2013**
(Foto: Rauhut)

Kontakt

Büro: Institut für Wasser und Boden
01259 Dresden
Lungkwitzer Straße 12
Telefon: 0351-2709854
Email: info@iwb-dresden.de
Internet: www.iwb-dresden.de



Talsperre Spremberg
am **24.08.2015**
(Foto: Rauhut)