



## **Bedeutung des Schlüsselstollens für die Wasserbeschaffenheit der unteren Saale**

*Martina Baborowski, Stefanie Metzig, Wolf von Tümpling*

*Department Fließgewässerökologie*

Berlin, 17. April 2013

# Gliederung

## **1. Problemstellung**

## **2. Untersuchungsstrategie**

*2.1 Eimischung des Schlüsselstollens in die Schlenze*

*2.2 Einmischung der Schlenze in die Saale*

## **3. Material und Methoden**

*3.1 Probenahme*

*3.2 Analytik*

## **4. Ergebnisse und Diskussion**

*4.1 Eimischung des Schlüsselstollens in die Schlenze*

*4.2 Einmischung der Schlenze in die Saale*

## **5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen**

*5.1 Im Hinblick auf das Monitoring*

*5.2 Im Hinblick auf das Sedimentmanagement*

# 1. Problemstellung

Über den Schlüsselstollen in die Schlenze eingetragene Schwermetalle tragen zur Belastung der unteren Saale bei und sind damit relevant für das Sedimentmanagement der Elbe.

Die Einträge erfolgen vorwiegend in gelöster Form.

Für die Ableitung von Maßnahmen zur Minderung des Schadstofftransportes in der Saale/Elbe ist zu klären:

- *Welche Wechselwirkungen treten zwischen über die Schlenze eingetragenen und aus dem Oberlauf eingetragenen Stoffen auf?*
- *Sind diese elementspezifisch?*
- *Welche Konsequenzen ergeben sich daraus für den Stofftransport im Unterlauf der Saale?*

## 2. Untersuchungsstrategie

### *Hypothesen*

- I. Die Vermischung zwischen Stollen- und Schlenzewasser ist bis zur Mündung in die Saale abgeschlossen. Dabei treten geringe Wechselwirkungen zwischen den aus dem Oberlauf antransportierten und den aus dem Stollen eingetragenen Stoffen auf. Der Eintrag erfolgt vorwiegend in gelöster Form.
- II. Die Schlenze schichtet sich zunächst über dem Gewässergrund in die Saale ein. Es bestehende Unterschiede im Querprofil der Saale. Während des Transports zur Stauhaltung Rothenburg findet eine elementspezifische Änderung des Verteilungsverhältnisses gelöst/partikulär statt.

## 2. Untersuchungsstrategie - Hypothesen

Die Vermischung zwischen Stollen- und Schlenzewasser ist bis zur Mündung in die Saale abgeschlossen. Dabei treten geringe Wechselwirkungen zwischen aus dem aus dem Oberlauf antransportierten und den aus dem Sollen eingetragenen Stoffen auf. Der Eintrag erfolgt vorwiegend in gelöster Form.

- I. Untersuchungen zur Beeinflussung der Gewässergüte der Schlenze durch den Stollen in Abhängigkeit der saisonalen Bedingungen (Untersuchung von Wasser und Sediment).

Die Schlenze schichtet sich zunächst über dem Gewässergrund in die Saale ein. Es bestehende Unterschiede im Querprofil der Saale. Während des Transports zur Stauhaltung Rothenburg findet eine elementspezifische Änderung des Verteilungsverhältnisses gelöst/partikulär statt.

- II. 2 Längsbeprobungen zur Einmischung der Schlenze in die Saale mit dem FS ALBIS bei unterschiedlichen saisonalen Bedingungen (Untersuchung von Wasser und Sediment).



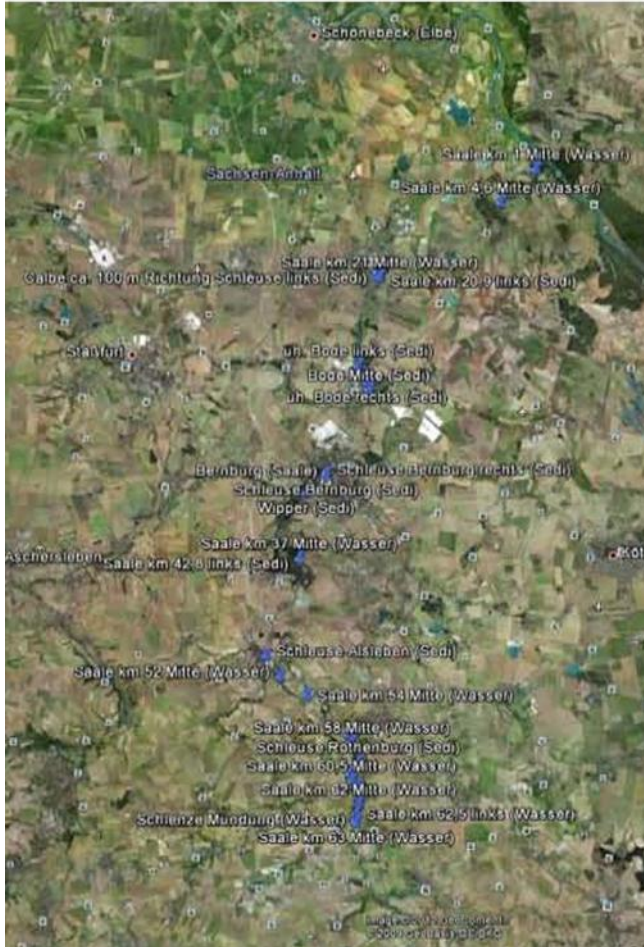
### 3. Methodik – Probenahme Schlenze



1. Schlenze, oh. Kläranlage Freist
2. Schlenze, oh. Stollen
3. Auslauf Stollen
4. Schlenze, uh. Stollen
5. Schlenze Ortsmitte
6. Mündung Schlenze



### 3. Methodik – Längsbeprobung Saale



### Probenentnahme in der Strommitte (an der Oberfläche und über Grund)

1. km 63
2. km 62,9 (Mündung Schlenze)
4. km 62,5
6. km 62
7. km 61,5
8. km 61
9. km 60,5
10. km 60
11. km 58
12. km 57,5
13. km 54
14. km 52
15. km 37
16. km 26
17. km 21
18. km 10
19. Elbe, Breitenhagen (li)
20. Elbe, Breitenhagen (re)
21. Mündung Saale
22. Elbe, Magdeburg (li)
23. Elbe, Magdeburg, re

### 3. Methodik – Probenahme

Zur Berücksichtigung saisonaler Bedingungen erfolgten die Probenahme im Juli und November 2012.

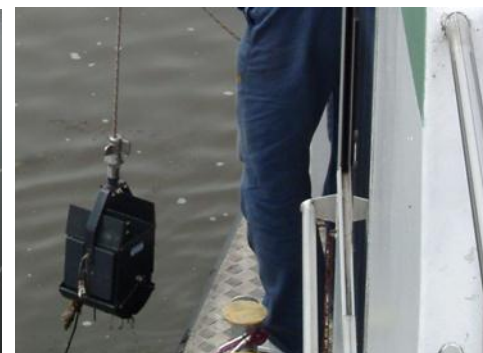
Längsbeprobung Juli: bis zur Einmischung in die Elbe

Längsbeprobung November: oh. Schlenze-Mündung bis uh. Rothenburg

Entnahme von Oberflächenwasserproben: Stielschöpfer

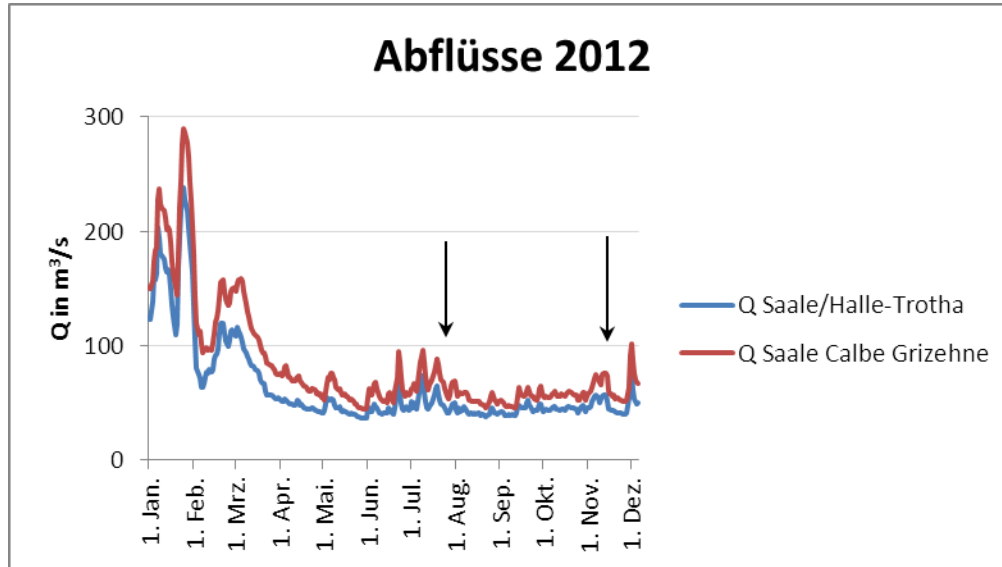
Entnahme von Tiefenwasserproben: Horizontalwasserschöpfer

Entnahme von Sedimenten: Kastengreifer





# 3. Methodik – Hydrologische Bedingungen



Hydrologische Bedingungen der Probenahme waren vergleichbar!

Datenquelle: Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), bereitgestellt durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG)

Hydrologische Hauptwerte und Abflüsse während der Beprobung in m<sup>3</sup>/s

	MNQ	MQ	MHQ	Mittelwert 09.-14.07.12	Mittelwert 11.-16.11.12
Halle Trotha UP	39	97	354	53,4	51,7
Calbe- Grizethne	44	114	382	74,8	69,8

Hydrologische Hauptwerte: Quelle *Undine* Informationssystem (BfG)

### 3. Methodik – Parameterspektrum

*Chemisch-physikalische Grundparameter:* pH-Wert, Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit, Sauerstoffgehalt;

*Schwebstoffcharakterisierung:* Trocken- und Glührückstand der abfiltrierbaren Stoffe (AFS), Partikelanzahlkonzentration, Kohlenstoff/Stickstoff/Schwefel (CNS), Chlorophyll-a

*Gelöste organische Summenparameter:* gelöster organischer Kohlenstoff (DOC), UV- Absorption bei 254 nm;

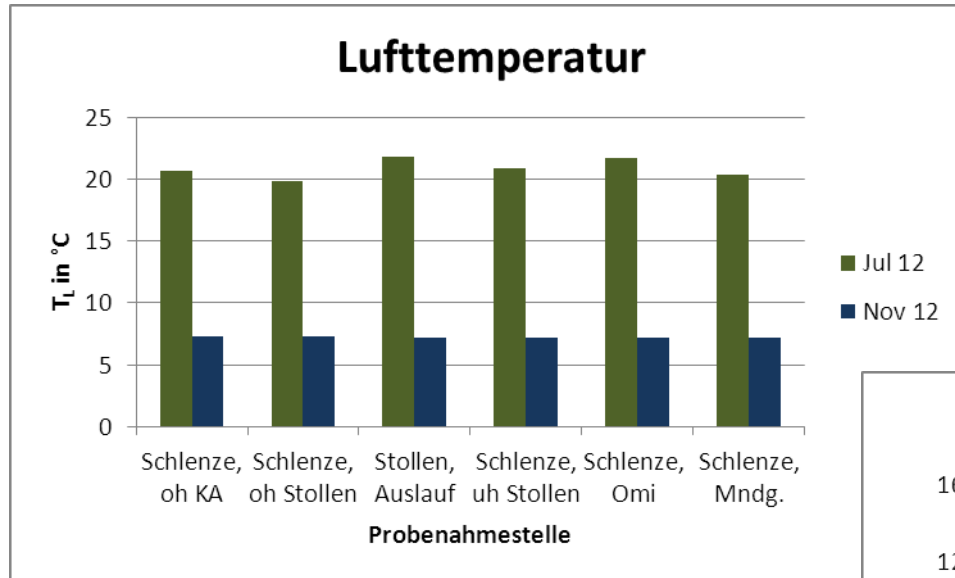
*Hauptionen:*  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ;

*Nährstoffe:*  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$ , TP, Silicat (Si gesamt/ Si gelöst)

*Elementgehalte:* Al, As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Ni, Pb, Ti, U, Zn (gelöste Fraktion < 0,45  $\mu\text{m}$ / säurelösliche Fraktion/ homogenisierte Gesamtprobe nach  $\text{HNO}_3$  /  $\text{H}_2\text{O}_2$  Mikrowellenaufschluss).

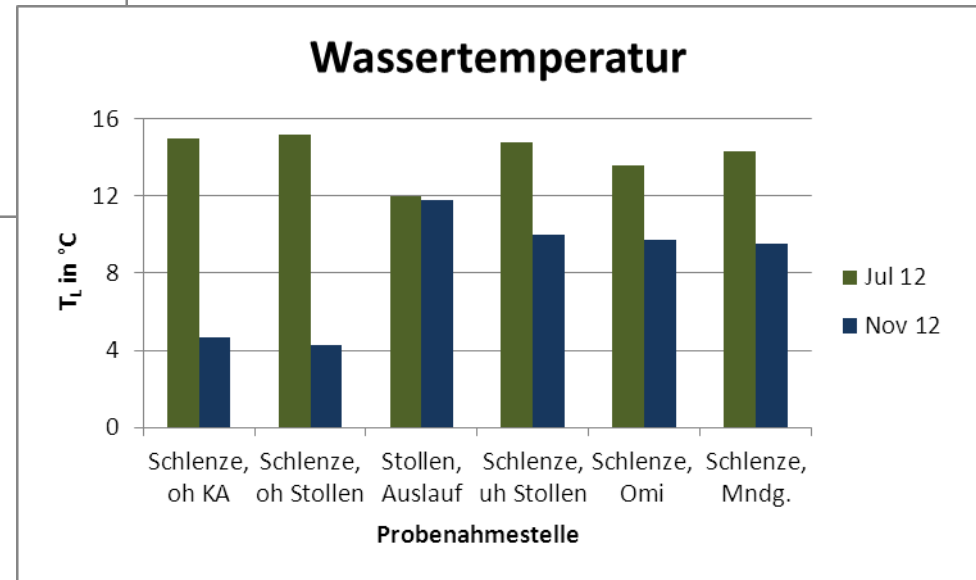
# 4. Ergebnisse und Diskussion

## 4.1 Einmischung des Schlüsselstollens in die Schlenze



Lufttemperaturen während der Probenahme

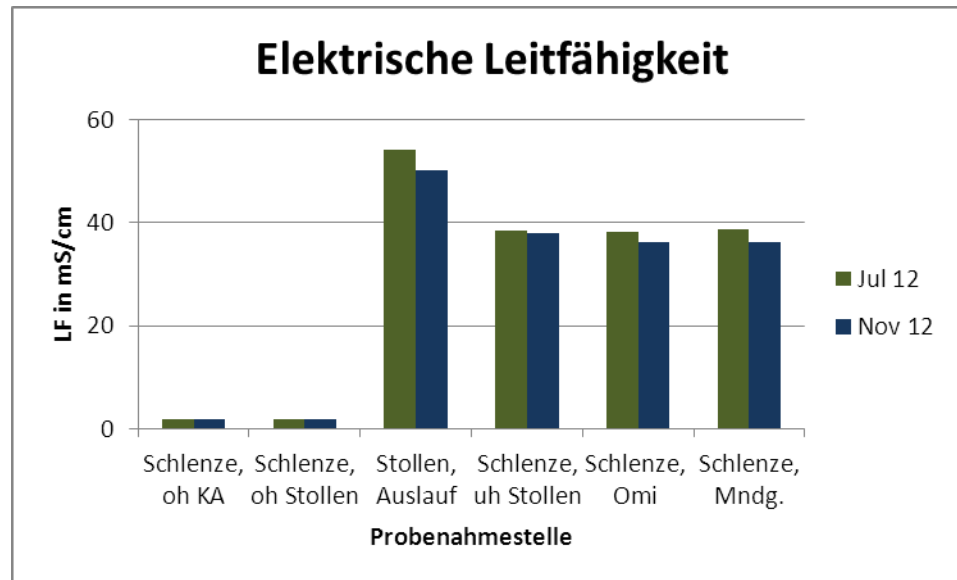
**Erwärmung der Schlenze unterhalb des Stollens im Winter!**



Wassertemperaturen während der Probenahme

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Einmischung des Schlüsselstollens in die Schlenze

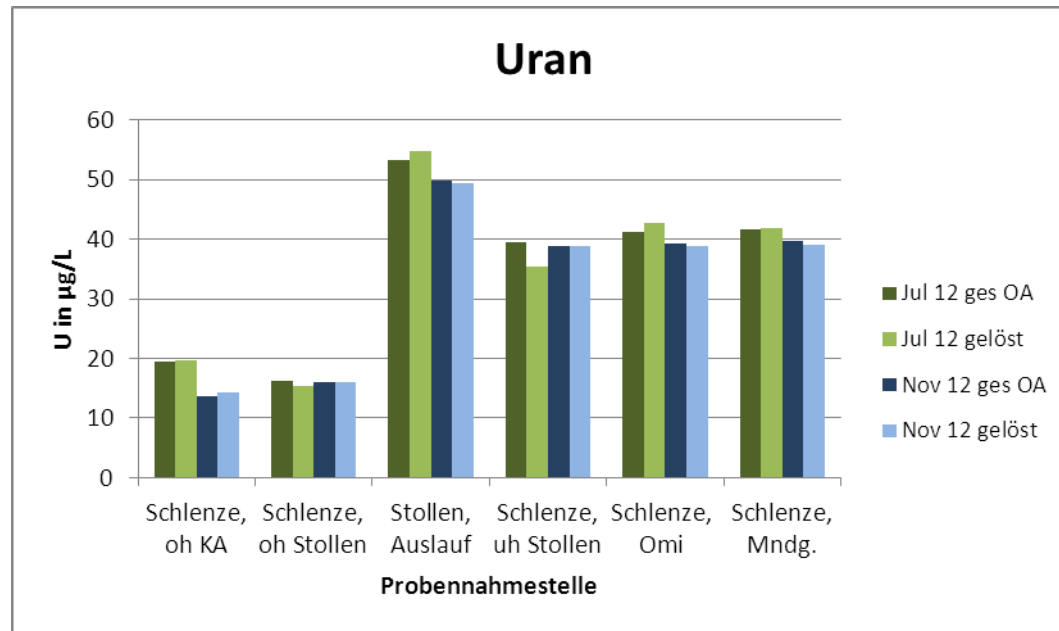


Elektrische Leitfähigkeit während der Probenahme

- Zunahme der Leitfähigkeit nach Mündung des Stollen
- **Einmischung: wenige 100 m unterhalb des Stollens abgeschlossen**
- **Analoges Verhalten: Anionen/Kationen, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, U, Zn**

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Einmischung des Schlüsselstollens in die Schlenze



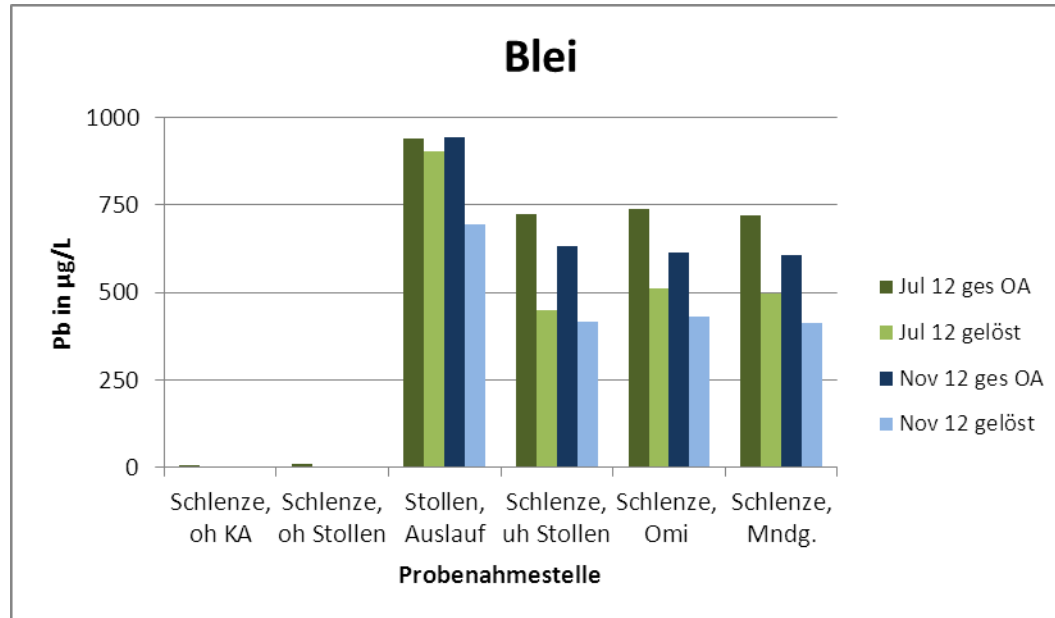
Uran-Konzentrationen während der Probenahme

- Parameter, die auch schon im Oberlauf erhöhte Konzentrationen aufweisen:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ , U, Mn



## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Einmischung des Schlüsselstollens in die Schlenze

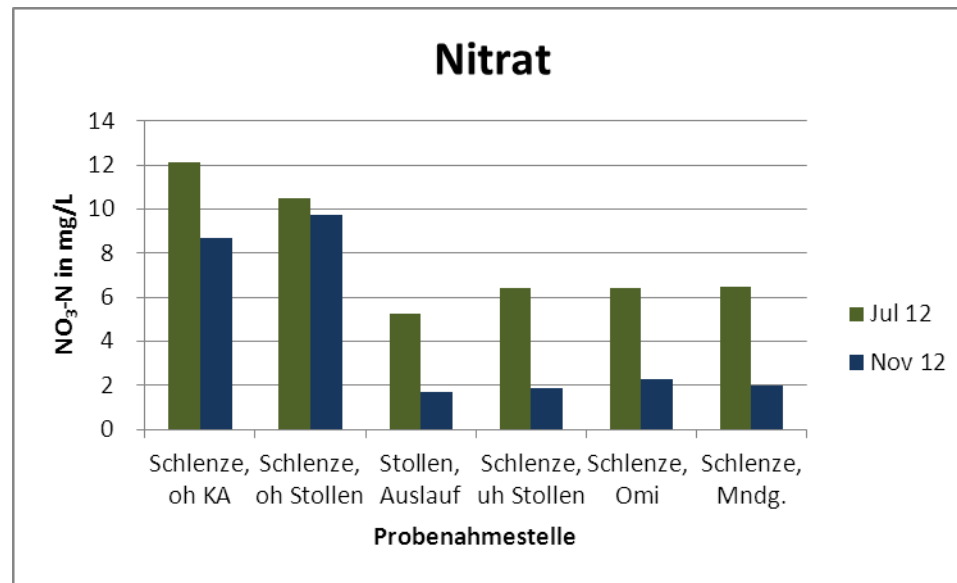


Pb-Konzentrationen während der Probenahme

- Parameter, deren Konzentration im Stollenwasser die Konzentration der aus dem Oberlauf antransportierten Stoffe überdeckt:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ , Cd, Cu, Ni, Pb und Zn

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Einmischung des Schlüsselstollens in die Schlenze

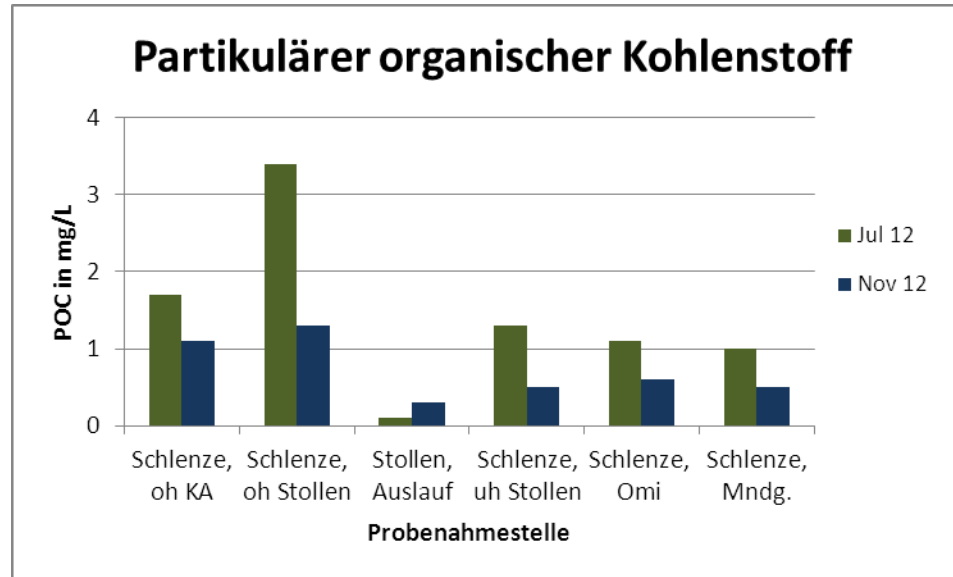


Nitrat-Konzentrationen während der Probenahme

- Parameter, die durch die Mündung des Stollens verdünnt werden: Al, DOC, POC,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ , Partikel, Si, SRP, TP

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Einmischung des Schlüsselstollens in die Schlenze



POC-Konzentrationen während der Probenahme

- Parameter, deren Konzentration durch die KA Freist beeinflusst sein kann: DOC, POC, SRP, TP

Jenseits der genannten Gruppen gibt es Parameter, die diffus schwanken und nicht mit dem Stollen in Verbindung zu bringen sind: As, Fe, Hg, PN, Ti.

## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.1 Einmischung des Schlüsselstollens in die Schlenze

#### **Zusammenfassung:**

- Vermischung von Stollen- und Schlenzewasser erfolgt sehr schnell
- Das erreichte Konzentrationsniveau bleibt bis zur Mündung in die Saale bestehen
- Transport erfolgt überwiegend in gelöster Form

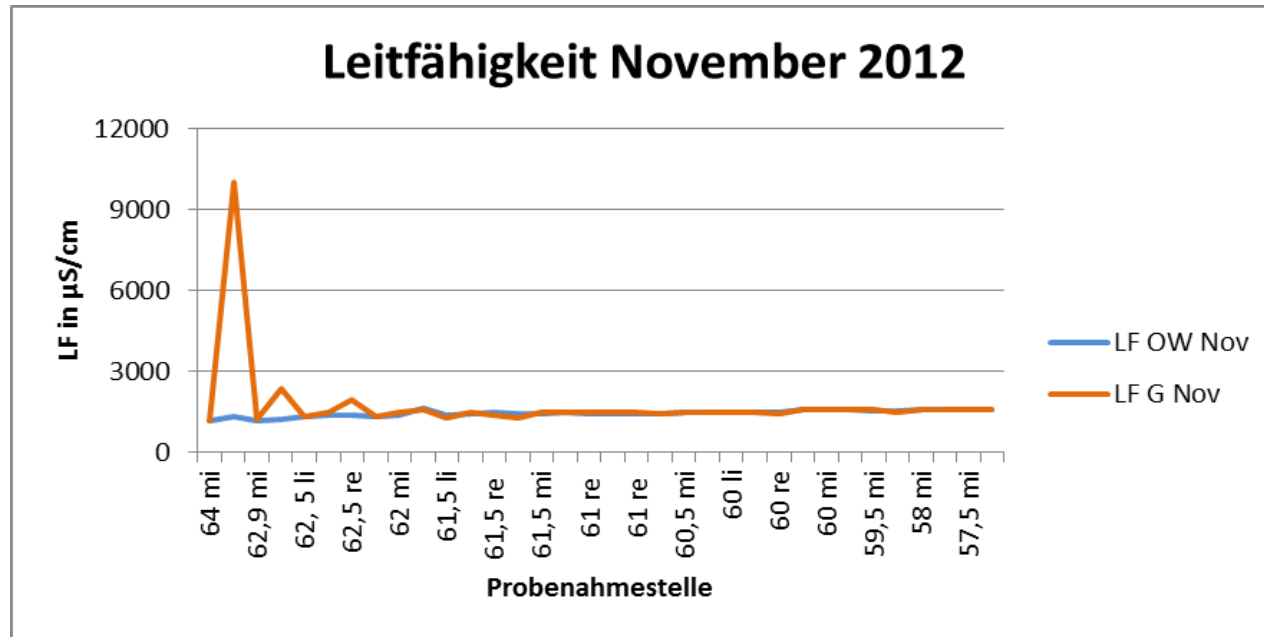
#### *Sedimente:*

*Auf Steinen im Auslaufbereich und unterhalb Mündung des Stollens:  
signifikant erhöhte Konzentrationen von Cu, Pb und Zn*

*Keine Kontamination von Hg nachweisbar*

# 4. Ergebnisse und Diskussion

## 4.2 Einmischung der Schlenze in die Saale



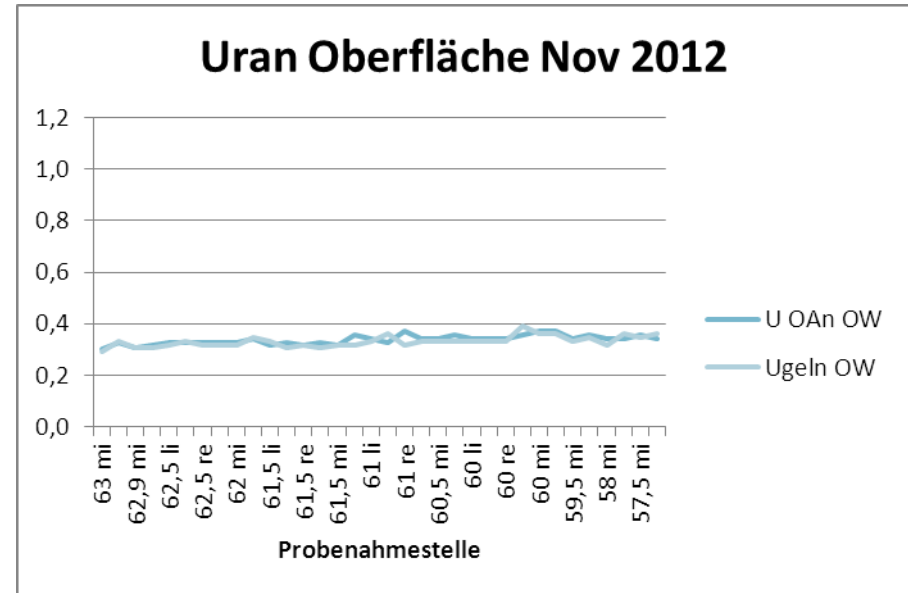
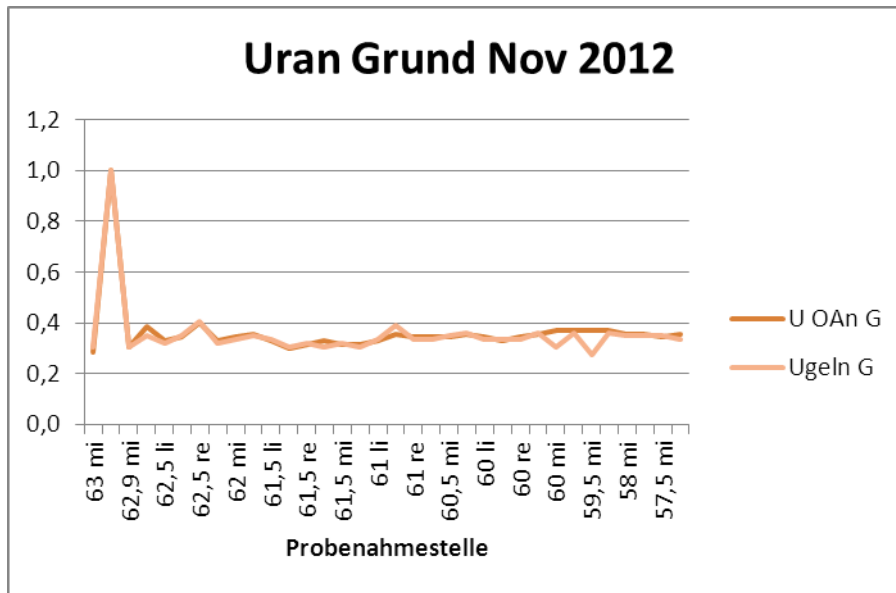
Änderung der Elektrischen Leitfähigkeit nach Mündung der Schlenze in die Saale

- Einmischung der Schlenze erfolgt über Grund
- Zunächst Unterschiede im Querprofil unterhalb der Mündung
- Ausgleich der Konzentrationsgradienten bei km 61,5



# 4. Ergebnisse und Diskussion

## 4.2 Einmischung der Schlenze in die Saale

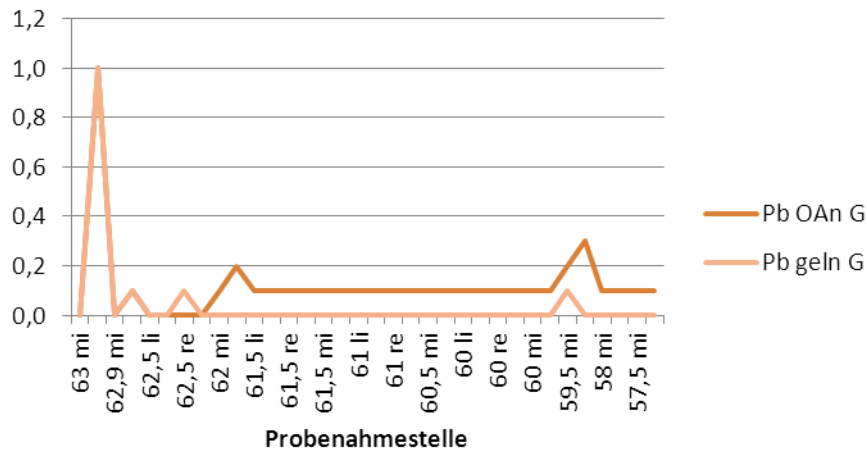


Auf Maximalwert normierte U-Konzentrationen nach Mündung der Schlenze in die Saale

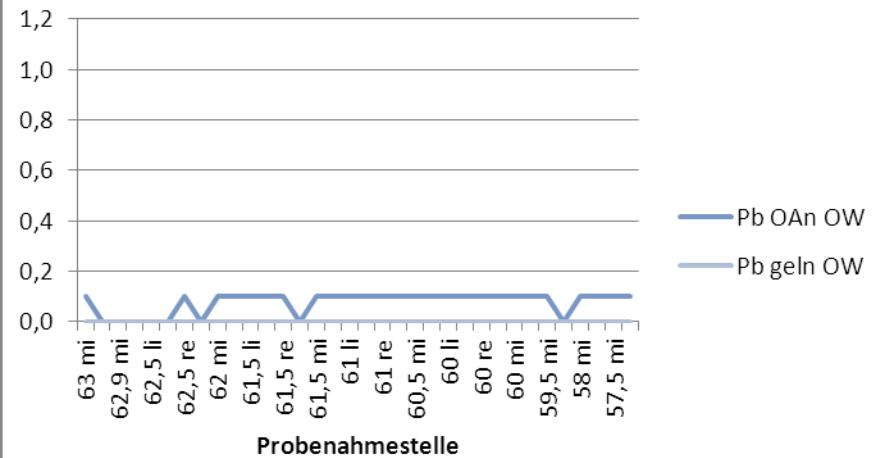
# 4. Ergebnisse und Diskussion

## 4.2 Einmischung der Schlenze in die Saale

**Blei Grund Nov 2012**



**Blei Oberfläche Nov 2012**

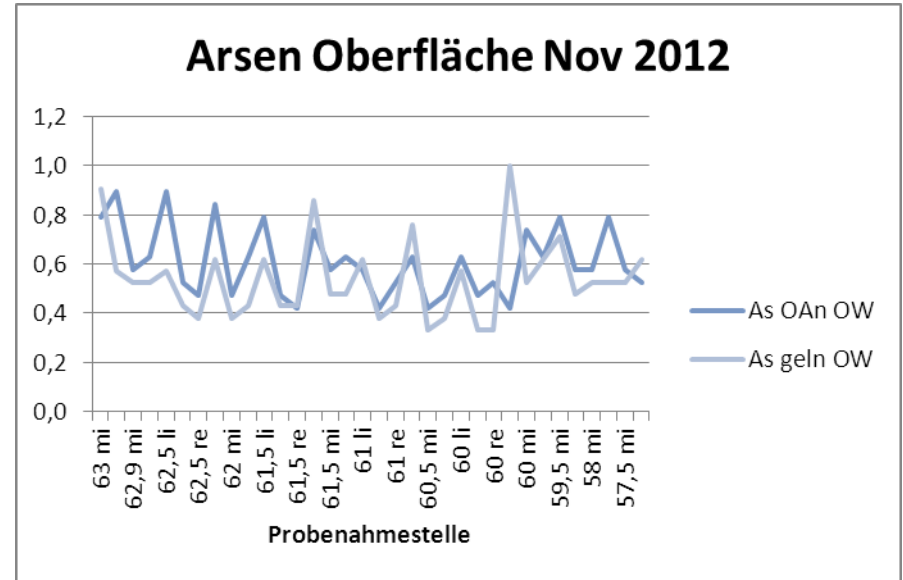
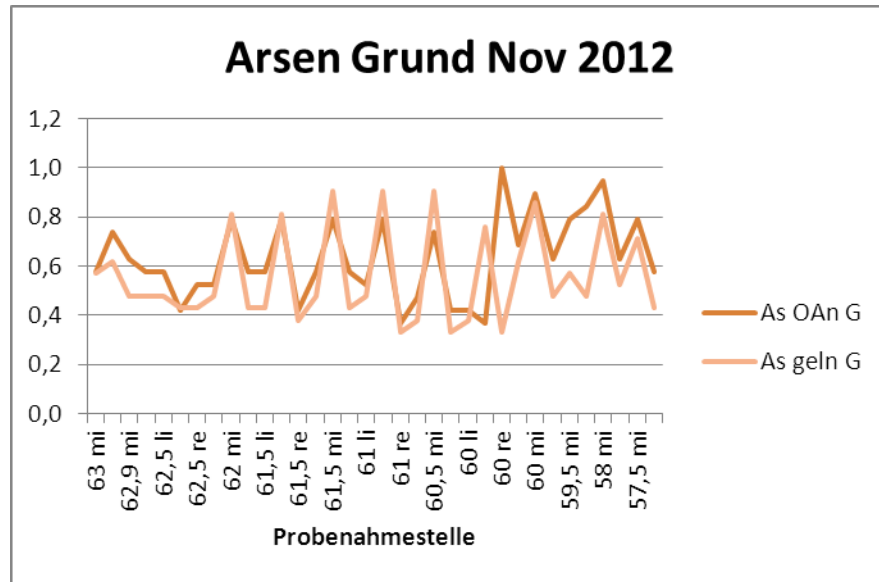


Auf Maximalwert normierte Pb-Konzentrationen nach Mündung der Schlenze in die Saale

Analoges Verhalten: Pb, Cr, Cd, Cu, Ni und Zn

# 4. Ergebnisse und Diskussion

## 4.2 Einmischung der Schlenze in die Saale

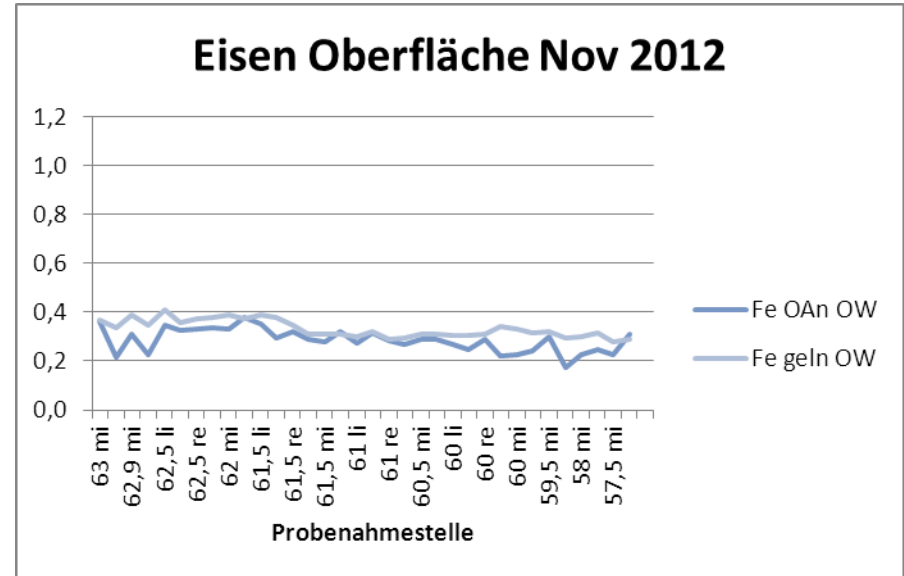
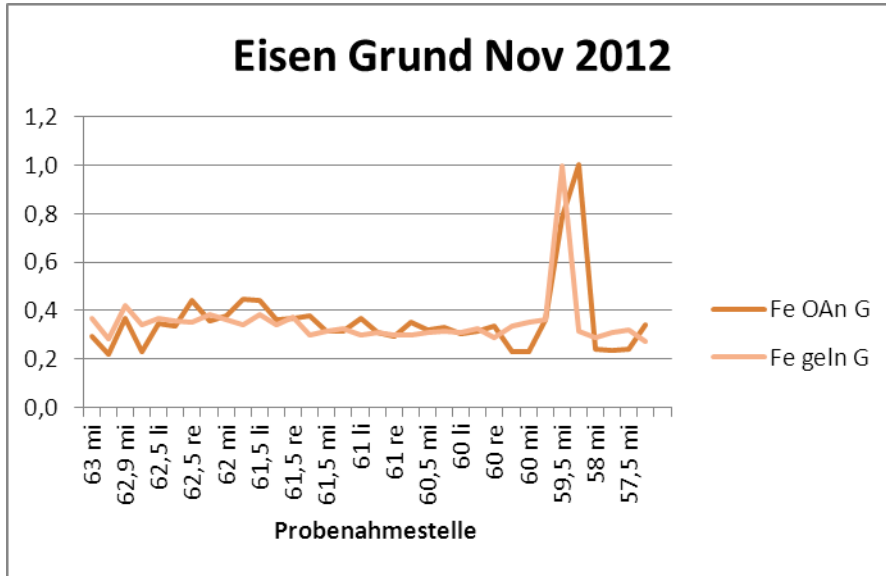


Auf Maximalwert normierte As-Konzentrationen nach Mündung der Schlenze in die Saale

Ähnliches Verhalten: Cr, Hg sowie Fe, Ti und Zn

# 4. Ergebnisse und Diskussion

## 4.2 Einmischung der Schlenze in die Saale



Auf Maximalwert normierte Fe-Konzentrationen nach Mündung der Schlenze in die Saale

# 4. Ergebnisse und Diskussion

## 4.2 Einmischung der Schlenze in die Saale

### ***Zusammenfassung:***

- Einmischung der Schlenze in die Saale erfolgt über den Gewässergrund
- Zunächst bestehen Unterschiede im Querprofil
- Die Einmischung ist nach ca. 1,5 bis 2,5 km abgeschlossen
- Das Einmischungsverhalten ist elementspezifisch:
  - U wird gelöst weiter transportiert
  - Änderungen im Verteilungsverhältnis gelöst/partikulär in Richtung der partikulären Phase:  $Pb > Cr > Cd > Cu, Ni, Zn$



## 4. Ergebnisse und Diskussion

### 4.2 Einmischung der Schlenze in die Saale

**Vergleich der Konzentrationen oberhalb der Schlenze-Mündung mit Konzentrationen unterhalb der Schlenze nach Abschluss der Vermischung:**

**Signifikante Erhöhung der Konzentration in der Saale nur für Pb und Zn, in geringem Umfang für U, messbar.**

**Vergleich der Konzentrationen oberhalb und unterhalb der Saalemündung in die Elbe:**

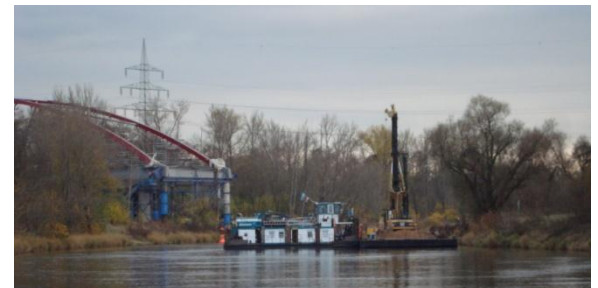
*Für die Elbe unterhalb der Mündung der Saale waren von Bedeutung: Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, U und Zn.*

# 4. Ergebnisse und Diskussion

## 4.2 Einmischung der Schlenze in die Saale

### **Sedimente:**

- *Kontamination der Sedimente in den Stauhaltungen war vergleichbar*
- *zufällige Hotspots der Belastungen (z.B. im Juli 2012, Saale km 42,8 links, 241 mg/kg Hg)*
- *Hg-Gehalte in den Stauhaltung Calbe waren deutlich geringer als in den Vorjahren*
- *Mögliche Ursache: Hochwasser 2011, das wahrscheinlich zur Verlagerung von kontaminierten Sedimenten im Längsverlauf der Saale und zur Erosion belasteter Oberflächensedimente in den Stauhaltungen geführt hat.*
- *(Unterhaltungsmaßnahmen)*



# 5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

## 5.1 Im Hinblick auf das Monitoring

### ***Beeinflussung der Gewässergüte der Schlenze durch den Schlüsselstollen***

*Zur Erfassung der Einträge aus dem Schlüsselstollen in die Schlenze sind die **Messstellen oberhalb der Schlenze (am Pegel des LHW)** sowie **Schlenze Ortsmitte** geeignet.*

*Sie sind am besten zugänglich und sehr gut als Eingangs- und Ausgangssignal geeignet.*

# 5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

## 5.1 Im Hinblick auf das Monitoring

### ***Beeinflussung der Gewässergüte der Saale durch die Schlenze:***

- *Probenahmestelle muss sich in ausreichendem Abstand von der Mündung befinden, bei dem Konzentrationen über Grund und an der Oberfläche ausgeglichen sind*
- *Probenahme bei km 60,2 (Fähre Rothenburg) ist zu empfehlen*
- *Probenahme von Randbereichen aus ist ungeeignet*

# 5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

## 5.2 Im Hinblick auf das Monitoring

### ***Analytik (Vergleich von säurelöslichem und $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ -MW Aufschluss):***

- *Die Anwendung der o. g. Aufschlüsse lieferte vergleichbare Ergebnisse für die WRRL-relevanten Schwermetalle*
- *Die Konzentrationen von Cr sowie Al, Fe und Ti werden bei Anwendung des säurelöslichen Auszugs unterschätzt*

Zur Unterscheidung verschiedener Eintragspfade in das Gewässer bietet sich die ergänzende Bestimmung dieser Metalle nach  $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$ -Mikrowellenaufschluss an.

# 5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

## 5.2 Im Hinblick auf das Sedimentmanagement

### ***Sedimente im Einzugsgebiet der Schlenze***

*Abgespülte Böden und Einträge aus dem urbanen Bereich tragen erheblich zur Bildung größerer, rezenter Ablagerungen von Sedimenten im Unterlauf der Schlenze bei.*

*Eine Bilanzierung der Einträge aus den urbanen Gebieten des Einzugsgebiets der Schlenze im Vergleich zum Schlüsselstollen ist notwendig.*



# 5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

## *5.2 Im Hinblick auf das Sedimentmanagement*

### ***Sedimente im Einzugsgebiet der Saale***

Die Fließstrecke zwischen Mündungsbereich der Schlenze und der Stauhaltung Rothenburg ist ausschlaggebend für die Vermischung des Schlenze-Wassers mit der Saale.

Eine Sedimentation der auf der Strecke gebildeten Partikel in der Stauhaltung kann erwartet werden.

Für den Sedimenttransport in der unteren Saale sind die Stauhaltungen Wettin, Rothenburg, Alsleben und Calbe von besonderer Bedeutung.

# 5. Schlussfolgerungen und Empfehlungen

## 5.2 Im Hinblick auf das Sedimentmanagement

Zur Abschätzung der Kosteneffizienz von Sanierungslösungen für den Schlüsselstollen bzw. zur Abschätzung des Sanierungsziels:

- ☺ Modellierung des Einmischungsverhaltens der Schlenze bis zur Stauhaltung Rothenburg unter verschiedenen hydrologischen Bedingungen
- ☺ Abschätzung: welche Reduzierung der Einträge aus dem Schlüsselstollen führt zu welchem Ergebnis in der Saale
  - Hierfür werden, neben Beschaffenheitsdaten, Daten zum Gewässerprofil, zu Strömungsgeschwindigkeiten und Teilabflüssen benötigt (ADCP-Messungen)
  - Verhalten bei Extremsituationen unzureichend belegt