

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Schnauder, Ingo; Gerstgraser, Christoph; Koch, Thomas; Uhlmann, Wilfried**

## **Strömungsoptimierte Gestaltung von Absetzbecken für den Rückhalt von Eisenocker**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103274>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Schnauder, Ingo; Gerstgraser, Christoph; Koch, Thomas; Uhlmann, Wilfried (2017): Strömungsoptimierte Gestaltung von Absetzbecken für den Rückhalt von Eisenocker. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Bemessung im Wasserbau - Klimaanpassung, Untersuchungen, Regeln, Planung, Ausführung. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 58. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 191-200.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Strömungsoptimierte Gestaltung von Absetzbecken für den Rückhalt von Eisenocker

Ingo Schnauder, Christoph Gerstgraser  
Thomas Koch, Wilfried Uhlmann

Im Umgang mit der Eisenbelastung von Gewässern ist ein möglichst früher, dezentraler Rückhalt in kleinen Anlagen wünschenswert. Als wirtschaftliche Lösung eignen sich dafür besonders Absetzbecken, in denen sich Eisenausfällungen durch den Gravitationseinfluss langsam absetzen. Als Bemessungsgrundlagen für eine Vordimensionierung können Ansätze für Sandfänge aus der Literatur übertragen werden. Für die strömungsgünstige Detailgestaltung und eine optimale Ausnutzung des Rückhalteraaumes bieten sich zusätzlich 3D-HN-Modelle an.

In der vorliegenden Studie wird dieser kombinierte Modellierungsansatz vorgestellt und auf die besonderen Eigenschaften von Eisenocker eingegangen.

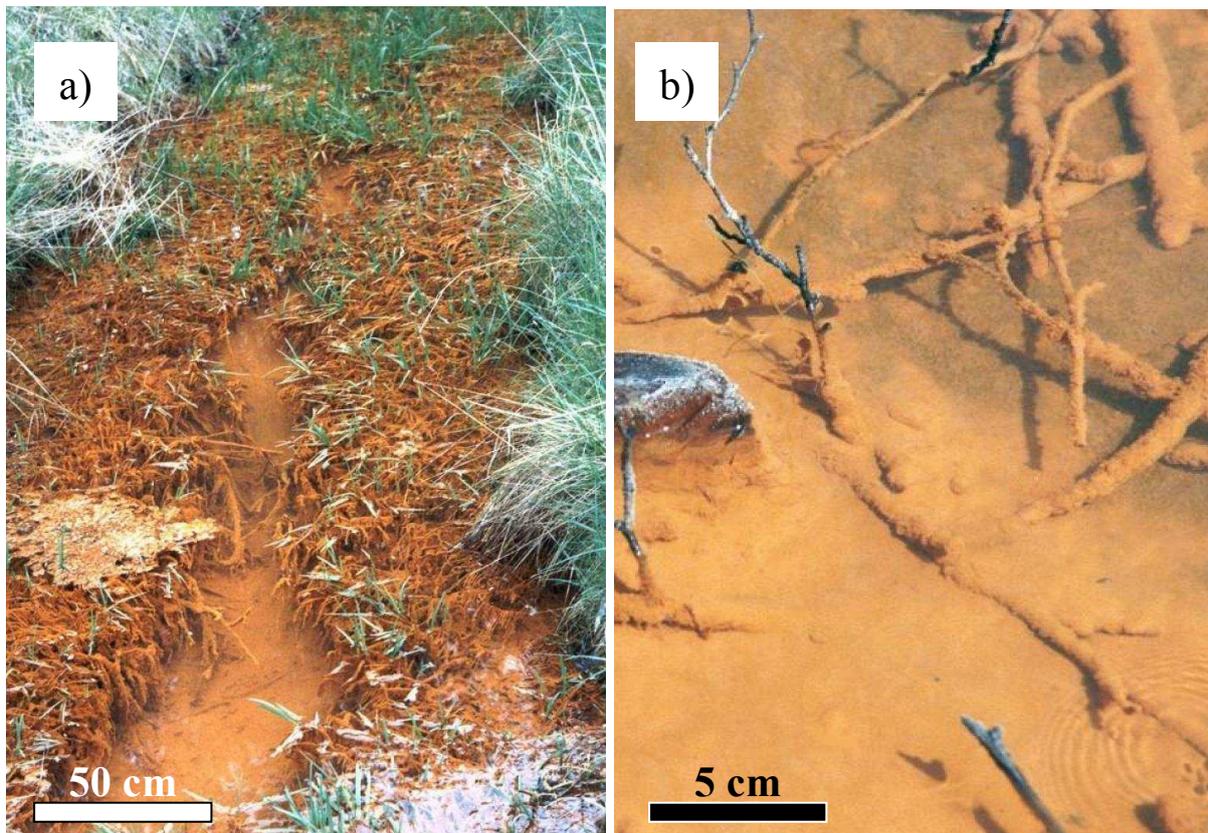
Stichworte: Absetzbecken, Sedimentation, Numerische Modellierung, Schwebstofftransport

## 1 Einführung

Durch den Grundwasserwiederanstieg in einigen Bereichen der Lausitzer Braunkohlefolgelandschaften kommt es zum Eintrag von saurem und eisenhaltigem Grundwasser. Die Oxidation des Eisens beim Austritt des Grundwassers führt zur Bildung von Eisenhydroxid, was zur Braunfärbung der Fließgewässer und anschließend zur Ablagerung von Eisenhydroxidschlämmen führt, die sich negativ auf das Ökosystem Fließgewässer auswirken können (Abbildung 1).

Absetzbecken sind einfache und vom Volumenstrom her leistungsfähige Anlagen zum Rückhalt von Eisenocker. Die wesentlichen Faktoren für ihre Reinigungsleistung sind Retentionszeit, bzw. bei kontinuierlichem Betrieb die Durchströmungsgeschwindigkeit, Gesamteisenkonzentration im Zulauf sowie physikalisch-chemische Parameter wie Temperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Alkalinität.

Grundsätzlich können für den Eisenockerrückhalt offene Becken und Makrophytenbecken unterschieden werden. Die Retentions- bzw. Durchlaufzeit kann



**Abbildung 1:** (a) Anlagerung von Eisenhydroxidflocken an Makrophyten in einem neutralen Gewässer (Foto: Uhlmann, 2000 in LfULG, 2014)  
 (b) Mineralbildungen durch Eisen(III)ausfällungen in einem stark sauren Wasser mit  $\text{pH} = 2,9$  und ca.  $70 \text{ mg/L}$  Eisen-gelöst (LfULG, 2014)

in beiden Fällen durch eine Kammerung des Gesamtvolumens erhöht werden. Um einen optimalen Betrieb solcher Becken zu erreichen, ist jedoch eine möglichst gleichmäßige Sedimentation über die gesamte Beckenfläche wünschenswert und die Entstehung von präferenziellen Fließwegen zu vermeiden.

Nach einer Vordimensionierung basierend auf Ansätzen für Sandfänge, lassen sich mit Hilfe hydronumerischer Modelle Detailgestaltungen für Absetzbecken optimieren. In der vorliegenden Studie wird das 3D HN-Modell „SSIIM“ (Olsen, 2014) zur Berechnung von Strömungsstruktur, Retentionszeiten und dem Absetzverhalten von Eisenocker eingesetzt. Mit SSIIM ist es möglich, neben der Beckengeometrie auch überströmbare Einbauten sowie Filter- oder Makrophytenstreifen als poröse Medien in das Rechengitter zu implementieren. Das verwendete k-eps Turbulenzmodell mit Berechnung der turbulenten kinetischen Energie (TKE) liefert zudem einen wichtigen Parameter für das Absetzverhalten und hat damit Vorteile gegenüber Modellen, die nur mit einem Wirbelviskositäts-Ansatz arbeiten.

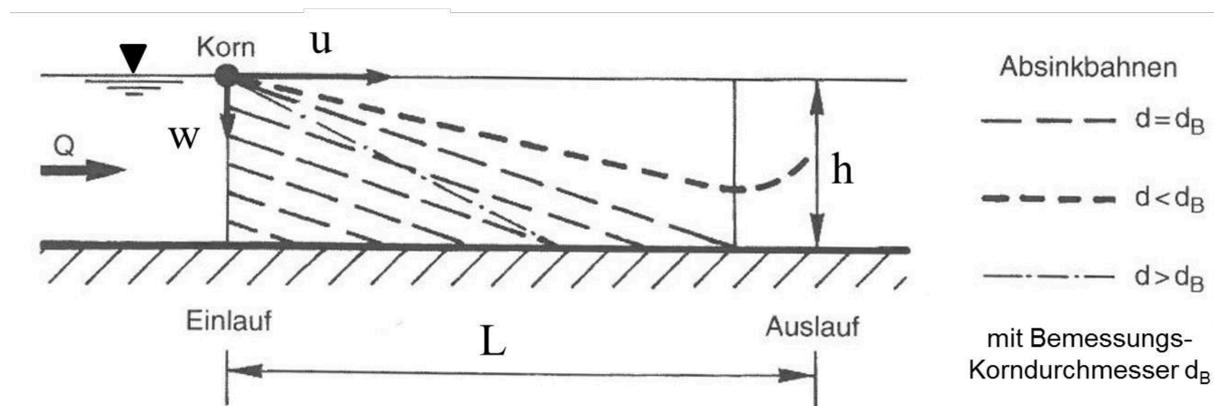
## 2 Vordimensionierung von Absetzbecken

Bei der Vordimensionierung von Absetzbecken sind zu berücksichtigen:

- ▶ Erforderliche Länge des Beckens, die sich aus der Absinkrate der Partikel und der Durchströmgeschwindigkeit ergibt (→2.1, 2.4)
- ▶ Erforderliche Breite des Beckens, die sich aus der Partikelfracht (Bilanz der aus Ein- und Austrag) und dem geplanten Beräumungszyklus ergibt (→2.2).
- ▶ Strömungsgünstige Gestaltung, insbesondere der Ein- und Ausläufe, des Breiten/Längenverhältnisses und ggf. der Kammerungen (→2.3)
- ▶ Vorhandenes Gefälle und nutzbare potentielle Energie für die Etablierung einer kontinuierlichen Gerinneströmung zwischen Fließgewässer, Becken und Vorflut.
- ▶ Realisierung einer betrieblichen Infrastruktur (z.B. für Beräumung mittels Saugbaggereinsatz underspülung in Trockenbeete)
- ▶ Allgemeine Gestaltungsprinzipien, wie z.B. naturräumlich geeignete Lösungen (Landschaftsbild, Eingriffsminimierung) und eine naturnahe Gestaltung.

### 2.1 Erforderliche Beckenlänge

Die erforderliche Beckenlänge ergibt sich aus der Sinkgeschwindigkeit der Partikel und der Wassertiefe des Beckens (Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Sandfang im Längsschnitt mit linearisierten, mittleren Bahnkurven für verschieden große Körner (aus Patt & Gonsowski, 2011)

Nach dem linearen Weg-Zeit-Gesetz und wenn die effektive Absinkzeit  $T_{v,eff}$  (s) gerade gleich der Durchlaufzeit  $T_{hor}$  (s) entspricht, ergibt sich daraus für die Beckenlänge  $L$  (m):

$$L = u \cdot \frac{h}{w_{eff}} \quad (1)$$

mit:  $u$  mittlere Durchlaufgeschwindigkeit =  $L/T_{hor}$  (m/s)  
 $w_{eff}$  effektive Sinkgeschwindigkeit der Partikel =  $h/T_{v,eff}$  (m/s)  
 $h$  Wassertiefe des Beckens (m)

## 2.2 Erforderliche Beckenbreite

Die Beckenbreite  $B$  (m) bestimmt den wirksamen Raum und muss daher in Abhängigkeit von der Partikelfracht festgelegt werden. Gleichzeitig ist die Breite so festzulegen, dass eine gleichmäßige Durchströmung gewährleistet werden kann. Giesecke et al. (2014) geben dafür folgende Grenzwerte an:

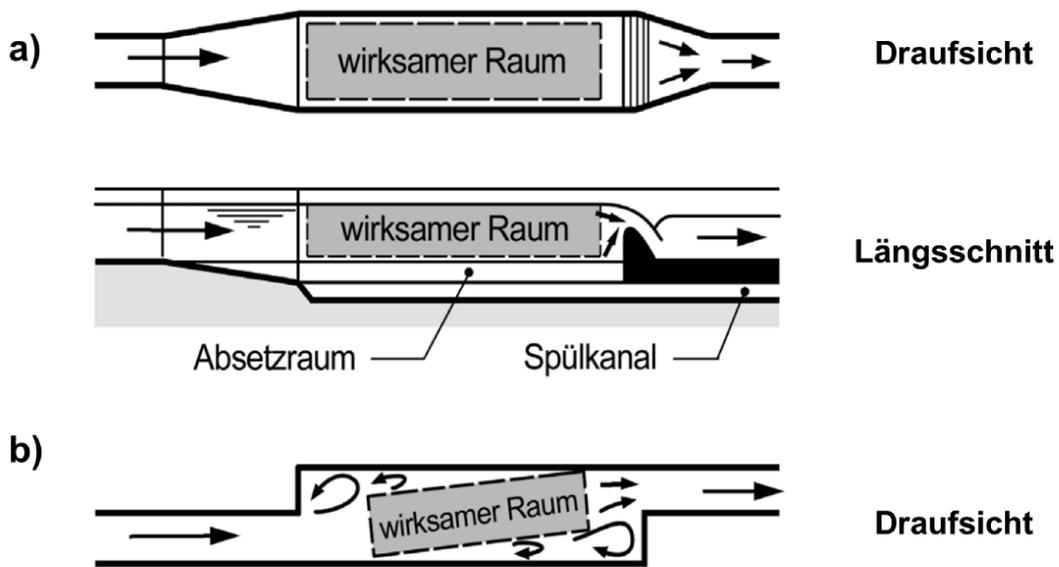
$$B \leq \frac{L}{8} \quad \text{und} \quad \frac{h}{B} \approx 1,25 \quad (2a/b)$$

Diese können als Richtwerte für die grobe Vordimensionierung angesetzt werden. Die detaillierte Planung muss darüber hinaus eine strömungsgünstige Gestaltung berücksichtigen, um Turbulenzproduktion zu vermeiden und den wirksamen Absetzraum möglichst groß zu halten.

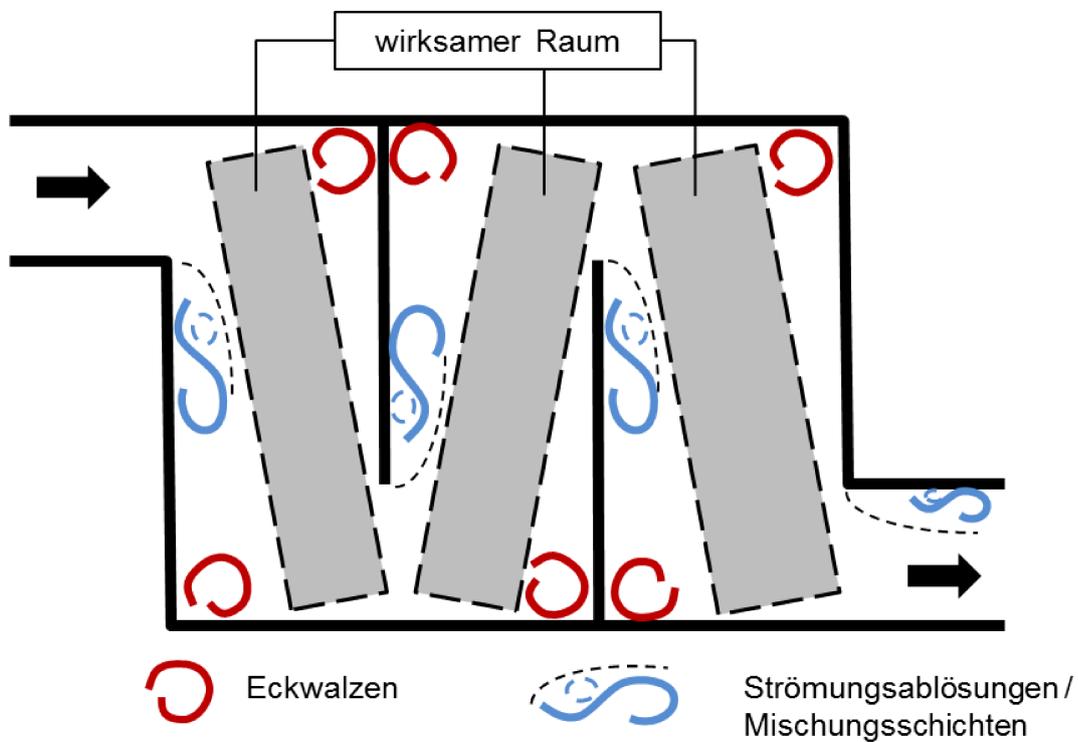
## 2.3 Strömungsgünstige Gestaltung

Strömungsablösungen und damit verbundene Turbulenzproduktion wirken sich negativ auf das Sedimentationsverhalten und damit die Leistungsfähigkeit eines Absetzbeckens aus. Weiterhin geht durch damit verbundene Rezirkulationsströmungen und Tot-/Stillwasserzonen letztendlich auch wirksamer Absetzraum verloren. Besonders wichtig sind der Ein- und Auslaufbereich (Abbildung 3) sowie Ecken und Trennwände bei Kammerungen (Abbildung 4).

Auch zu beachten sind Energieverluste durch zusätzliche Turbulenz, die das vorhandene Potentialgefälle vermindern und sich damit negativ auf die kontinuierliche Durchströmung der Becken auswirken können.



**Abbildung 3:** Längsandfänge (a) bei günstiger Ein- und Ausströmung und großem wirksamen Raum, (b) bei Strömungsablösung und damit verringertem wirksamen Raum (aus Vischer & Huber, 1993)



**Abbildung 4:** Verringerung von wirksamen Raum durch Eckwalzen und Strömungsablösungen mit Turbulenzproduktion in gekammerten Systemen

## 2.4 Sinkgeschwindigkeit

Die zentrale Größe für die Dimensionierung der Absetzbecken ist die Sinkgeschwindigkeit  $w_0$  (m/s) im ruhenden Fluid. Sie wird über ein Kräftegleichgewicht der Auftriebs- und Widerstandskräfte beim Sinken abgeleitet. Bei geringer Sinkgeschwindigkeit, d.h. im unteren Re-Bereich ( $Re < 0,25$ ), gilt nach Stokes:

$$w_0 = \frac{1}{18 \cdot \nu} \cdot g \cdot d^2 \cdot \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \quad (3)$$

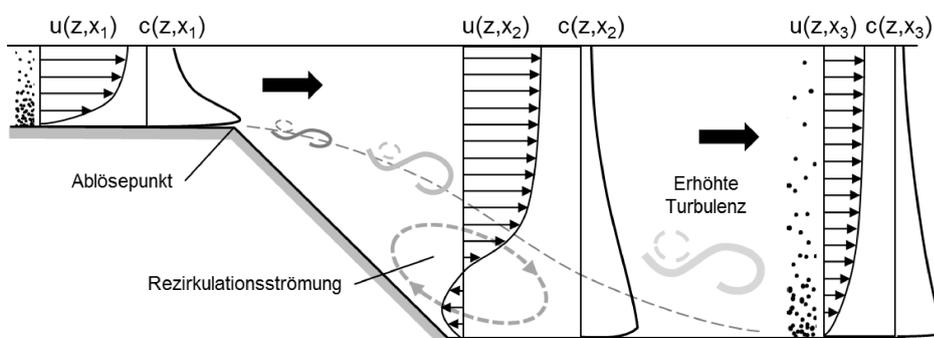
mit:

$d$	Partikeldurchmesser (m)
$\rho_s$	Partikeldichte ( $\text{kg/m}^3$ )
$\rho$	Dichte Wasser ( $\text{kg/m}^3$ )
$g$	Erdbeschleunigung ( $\text{m/s}^2$ )
$\nu$	kinematische Viskosität ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

Bei durchströmten Absetzbecken muss zusätzlich die Turbulenz der Strömung berücksichtigt werden, die den Sedimentationsprozess verzögert und zu vertikalen Konzentrationsprofilen führt (Abbildung 5). Nach Bagnold (1966) kann die effektive Sinkgeschwindigkeit  $w_{\text{eff}}$  (m/s) um den Betrag der vertikalen Turbulenzintensität  $w'_{\text{rms}}$  (m/s) reduziert werden (Ortmann, 2006):

$$w_{\text{eff}} = w_0 - w'_{\text{rms}} \equiv w_0 - \left( \frac{2}{3} k \right)^{0,5} \quad (4)$$

mit:  $k$  turbulente kinetische Energie ( $\text{m}^2/\text{s}^2$ ) unter Annahme isotroper Turbulenz ( $u'_{\text{rms}} = v'_{\text{rms}} = w'_{\text{rms}}$ )



**Abbildung 5:** Vertikale Geschwindigkeits- und Konzentrationsverteilungen bei ungünstiger stufenartiger Aufweitung mit Strömungsablösung

## Absetzverhalten von Eisenocker

Bei der Übertragung der vereinfachten Ansätze nach Gl. (3) und (4) auf Eisenocker muss die Kinetik der Ausfällung berücksichtigt werden. Dabei ist zu beachten (LfULG, 2014):

- Eine ausreichende Sauerstoffkonzentration im Wasser, um eine vollständige Oxidation und Hydrolyse zu Eisenhydroxid zu gewährleisten.
- Eisenhydroxid ist eine Festphase und bildet im Freiwasser zunächst Mikrofloccen, die unter schwach sauren und neutralen Bedingungen nur schwer koagulieren und deshalb lange Zeit in der Schwebe verbleiben.
- Mit der Erhöhung des pH-Wertes verbessert sich das Absetzverhalten des Eisens deutlich.
- Die Ausfällung findet bevorzugt an Grenzflächen zwischen Wasser und Festkörpern statt. Makrophyten weisen durch ihre große Oberfläche daher eine sehr hohe Rückhalteeffizienz auf, die durch die Sauerstoffproduktion durch Photosynthese zusätzlich begünstigt wird.

Die genannten Faktoren beeinflussen Dichte und Durchmesser der Floccen während des Beckendurchlaufs und sind unter vertretbarem Aufwand eigentlich nur integral durch Absetzversuche zu bestimmen.

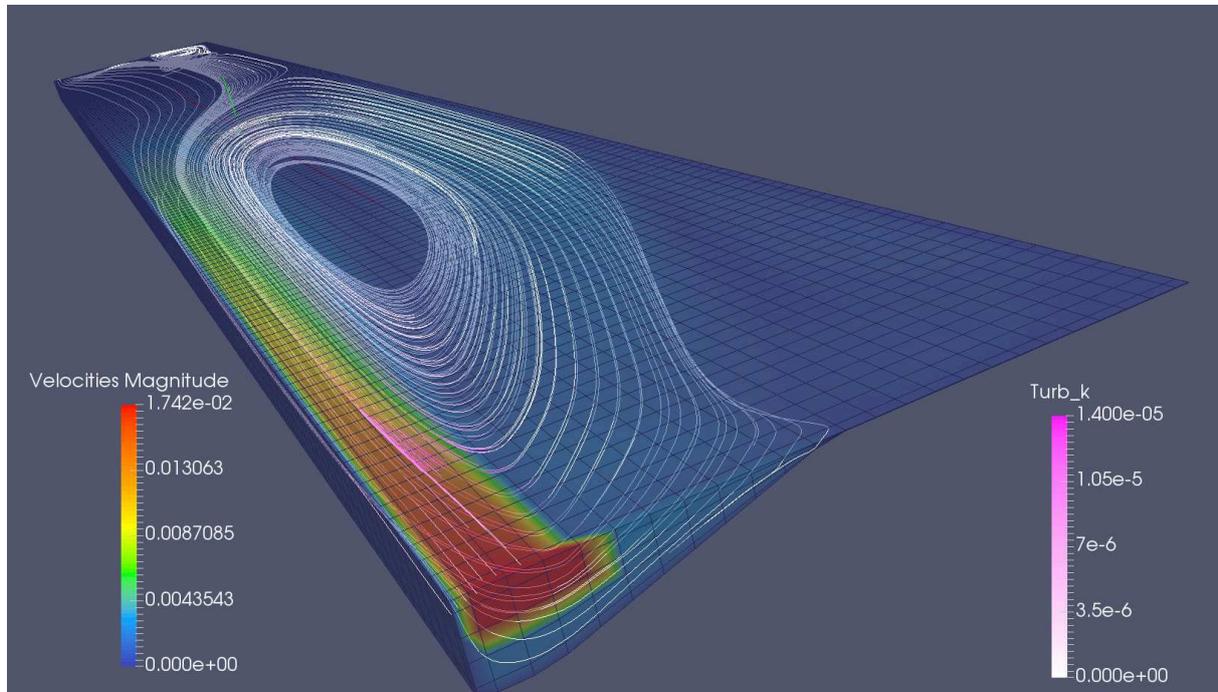
## 3 Detailgestaltung mit Hilfe numerischer Modellierung

Die strömungsgünstige Detailgestaltung der Absetzbecken erfolgt mit Hilfe der numerischen Strömungsmodellierung. Ziel ist dabei, Strömungsablösungen und erhöhte Turbulenzproduktion zu vermeiden, sowie den wirksamen Absetzraum zu maximieren und so zu einer möglichst homogenen Ablagerung gesamten Becken zu kommen.

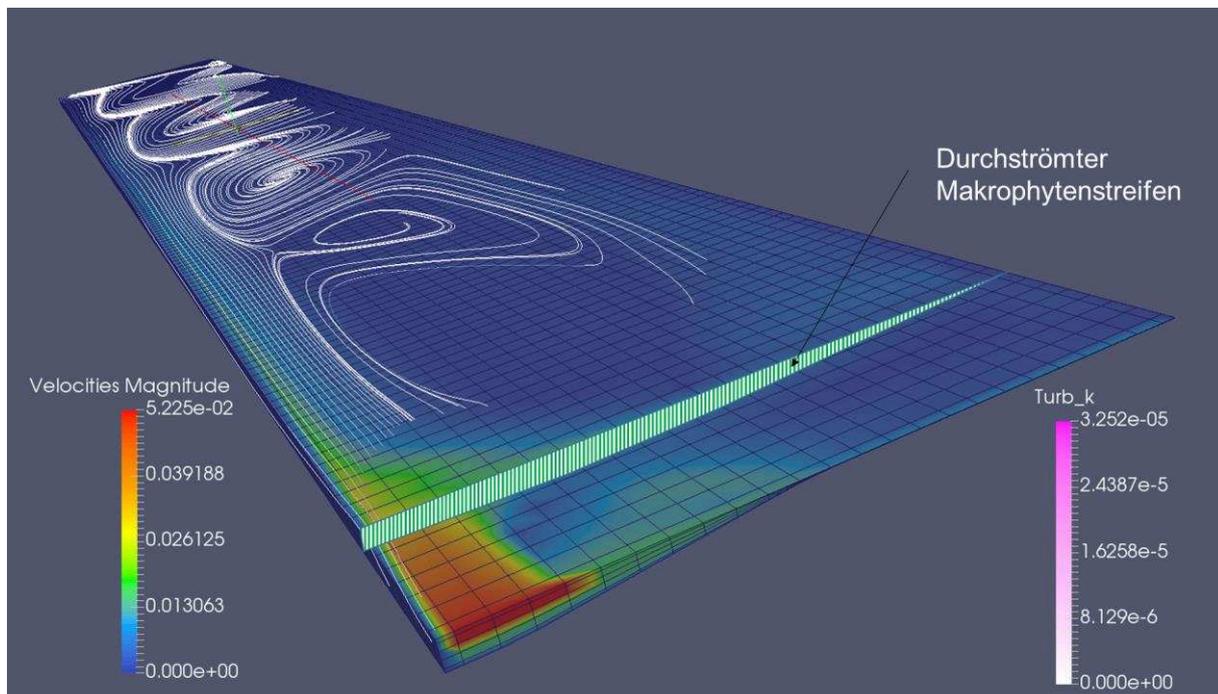
Derzeit laufen hierzu erste Untersuchungen mit dem 3D-Strömungsmodell „SSIIM“ (Olsen, 2006). Speziell SSIIM hat dabei folgende Vorteile:

- Berücksichtigung der dreidimensionalen Strömungscharakteristik im Ein- und Auslaufbereich (Abbildung 6).
- Makrophyten können über einen Porositätsansatz (Zinke, 2012) in das Rechengitter implementiert werden (Abbildung 7).
- k-eps Turbulenzmodell mit Berechnung der turbulenten kinetischen Energie, die zu einem verzögerten Absinken führt (vgl. 2.4).

- Sedimentberechnungen für verschiedene Korngrößenklassen sind über den Konvektions-Diffusions-Ansatz möglich (Olsen, 2014).



**Abbildung 6:** Offenes Becken: Fließgeschwindigkeit und Bahnlinien (berechnet mit SSIIM)



**Abbildung 7:** Flaches Becken mit Makrophytenstreifen im Einlauf (SSIIM)

## 4 Ausblick

Dezentrale Absetzbecken, die möglichst weit im Oberlauf liegen, sind ein wichtiger Beitrag bei der Reduktion der Eisenbelastung in unseren Gewässern. Aufgrund der geringen Sinkgeschwindigkeit von Eisenocker und der erheblichen Frachten ergeben sich aber auch bei geringen Abflüssen bereits beträchtliche Beckenvolumen. Der Absetzraum sollte durch eine strömungsgünstige Gestaltung effizient genutzt werden. Dabei helfen hydronumerische Modelle, in denen auch die Wirkungen von Einbauten oder Makrophytenstreifen im Ein- oder Auslaufbereich untersucht werden können.

Ebenfalls hilfreich bei der Optimierung sind Strömungs-Visualisierungen von Bahnlinien und daraus bestimmten Verweilzeiten, die bei Eisenocker mehrere Tage betragen. Eine quantitative Sedimentationsberechnung ist dagegen noch mit großen Unsicherheiten behaftet. Hier ist sicherlich eine bessere Parametrisierung der Flockung und des Absetzverhaltens und damit der Auswirkungen auf die physikalischen Eigenschaften Dichte, Form und Partikelgröße erforderlich.

## 5 Literatur

- Bagnold, R. A. (1966): An Approach to the Sediment Transport Problem from General Physics. Geological Survey Professional Paper 422 – 1, U.S. Department of the Interior.
- Giesecke, J., Heimerl, S. & Mosonyi, E. (2014): Wasserkraftanlagen - Planung, Bau und Betrieb. 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2014
- LfULG (2014): Fließgewässerorganismen und Eisen. Schriftenreihe des Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Freistaat Sachsen, Heft 35/2014.
- Olsen, N. R. B. (2014): SSIIM User's Manual. The Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway (online: <http://folk.ntnu.no/nilsol/ssiim/>).
- Ortmann, C. (2006): Entsander von Wasserkraftanlagen. Dissertation ETH Zürich Nr. 16324.
- Zinke, P. (2012): Application of a porous media approach for vegetation flow resistance. River Flow 2012 - Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics.

## Autoren:

Dr. Ingo Schnauder  
Dr. Christoph Gerstgraser

gerstgraser -  
Ingenieurbüro für Renaturierung  
An der Pastoa 13  
03042 Cottbus

Tel.: +49 355 48389 0  
Fax: +49 355 48389 20  
E-Mail: [schnauder@gerstgraser.de](mailto:schnauder@gerstgraser.de)  
[dr.g@gerstgraser.de](mailto:dr.g@gerstgraser.de)

Dr. Thomas Koch

Lausitz Energie Bergbau AG  
(LEAG)  
Vom-Stein-Straße 39  
03050 Cottbus

Tel.: +49 355 28872082  
Fax: +49 355 28872188  
E-Mail: [thomas2.koch@leag.de](mailto:thomas2.koch@leag.de)

Dr. Wilfried Uhlmann

Institut für Institut f. Wasser u. Boden  
(IWB)  
Lungkwitzer Str. 12  
01259 Dresden

Tel.: +49 351 2709854  
Fax: +49 351 4668800  
E-Mail: [wilfried.uhlmann@iwb-dresden.de](mailto:wilfried.uhlmann@iwb-dresden.de)