



**Siempelkamp**

NIS Ingenieurgesellschaft mbH

# -Der gläserne Filter-

**Vorstellung eines Berechnungsmodells zur  
Vorhersage der Durchströmung von Filtern  
sowie Vergleiche mit Tracerversuchen**

# Aufbau eines Modells zur hydraulischen Filterberechnung

- **Modell soll folgende physikalischen Gesetze beinhalten:**
  - **Strömung und Turbulenzen**
  - **Berücksichtigung des reduzierten Strömungsquerschnitts und des Druckverlusts**
  - **Lokal variierende Porosität der Schüttung in Wandnähe**
  - **Möglichkeit Stofftransport (Tracer, etc.) durchzuführen**
  - **Diffusion des Stoffs wird mitberücksichtigt**

# Beschreibung der Filtermedien

Strömungsberechnung in tatsächlicher Schüttung: möglich!

Aber.... **zu aufwendig!!**



Packed gravel bed

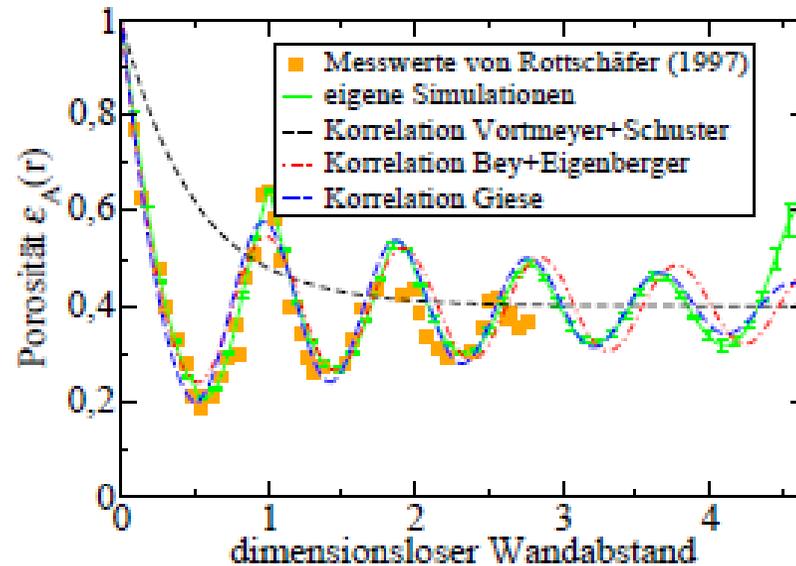
Übertragen der  
Eigenschaften auf  
ein einfacheres  
Modell

## Poröses Volumen Modell:

- Porosität
- Druckverlust in Abhängigkeit der Korngröße

# Beschreibung der Filtermedien

## Radiale Porosität in Schüttungen



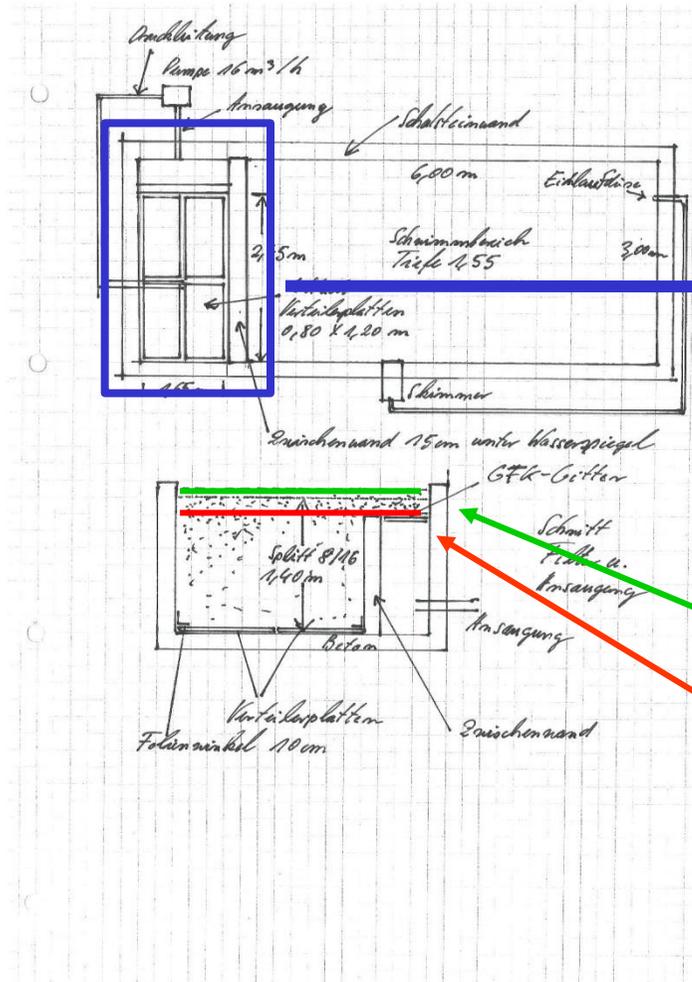
Den Berechnungen wird eine weitere poröse Zone im Wandbereich, mit einer Ausdehnung von 1x kleinster Korngröße, zugrunde gelegt!  
Porosität ist höher als in der Filterschicht!

Schüttungen werden zur Wand hin durchlässiger!

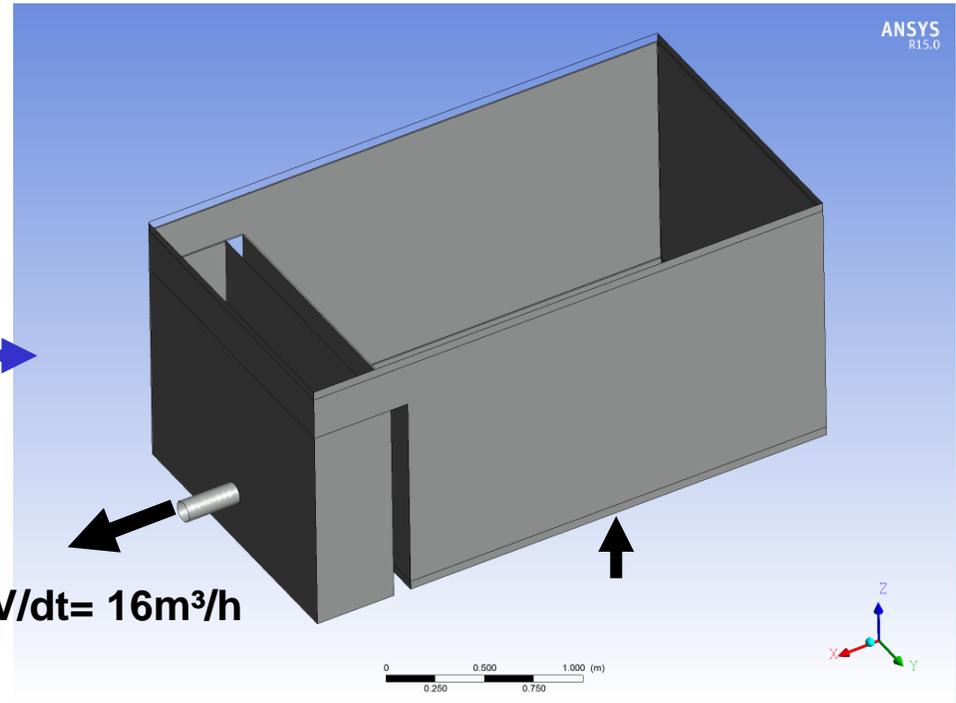
(a) Radiale Porositätsverteilung. Messwerte von ROTTSCHÄFER [197], eigene Simulationsdaten, sowie Korrelationen von VORTMEYER & SCHUSTER [240], BEY & EIGENBERGER [27] und GIESE [89].

Variation of porosity in dependence of the distance to the wall

# Kiesfilter 1, druckseitig betrieben



Sketch of swimming pond



$dV/dt = 16 \text{ m}^3/\text{h}$

3D drawing of the filter

Filteraufbau 2

Filteraufbau 1

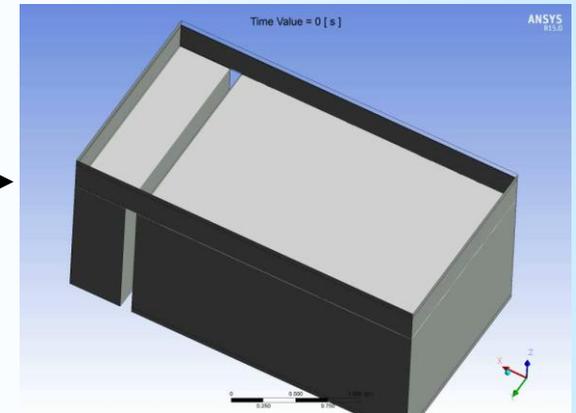


# Kiesfilter, Filteraufbau 1, Tracerversuch

Kies ist nur bis zur Kante der Zwischenwand aufgeschüttet!



- Tracer strömt verstärkt an allen Wänden hoch!
- Nach ca 3 Minuten fast überall Tracer



Bilder ca. alle 30s aufgenommen  
Pictures of Uranin tracer experiment

Vergleich mit Video zeigt annähernd gute Übereinstimmung!

# Kiesfilter, Filteraufbau 2, Tracerversuch

**Kies ist nun komplett aufgeschüttet!**

Tracerversuch (Video)

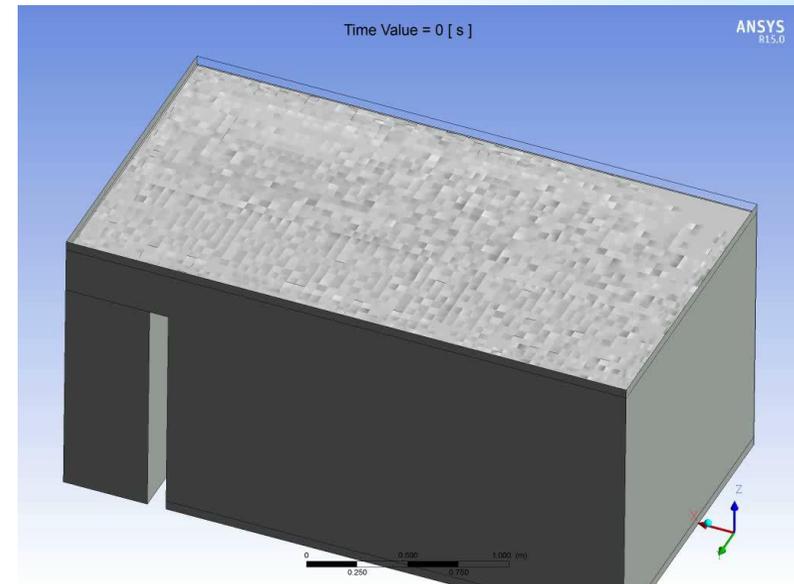
- Tracer zuerst an den Seitenwänden sowie gegenüber der Saugseite sichtbar
- Tracer füllt sich dann beginnend von gegenüberliegender Saugseite auf



Video of experimental tracer distribution over time



**Vergleich mit Strömungsberechnung zeigt gute Übereinstimmung**



Video of simulated tracer distribution over time

# Zwischenfazit

- **Unterschied in minimaler Aufbauhöhe des Filters lässt bei der optischen Auswertung der Tracerversuche jeweils eine unterschiedliche Gleichmäßigkeit der Filterdurchströmung vermuten!**

**Frage: Warum diese Diskrepanz und was passiert strömungstechnisch im Filter.**

# Kiesfilter 1, Tracerversuch 2

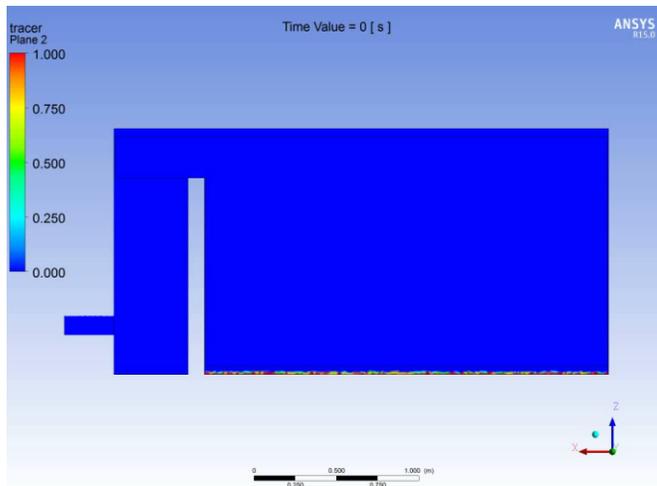
Kies ist nun komplett aufgeschüttet!

Strömung transportiert Tracer sehr gleichmäßig nach oben

Nachdem der Tracer die Kante der Zwischenwand erreicht,

a) wird ein Teil über die Zwischenwandkante geführt (horizontale Komponente) und tritt nicht auf der Kiesoberfläche aus.

b) führt eine leichte Asymmetrie dazu, dass gegenüber der Saugseite der Tracer früher Austritt



Simulation results of the uranin distribution over time in a cut plane

# Kiesfilter 1, Tracerversuche, Fazit

- **Gute Übereinstimmung der Berechnung mit den Tracerversuchen!**
- **Anfängliche Diskrepanz bei der Tracerausströmung der beiden Versuche durch Berechnung erklärbar!**
- **Die Homogenitäten im Hauptfilterbereich sind praktisch identisch.**

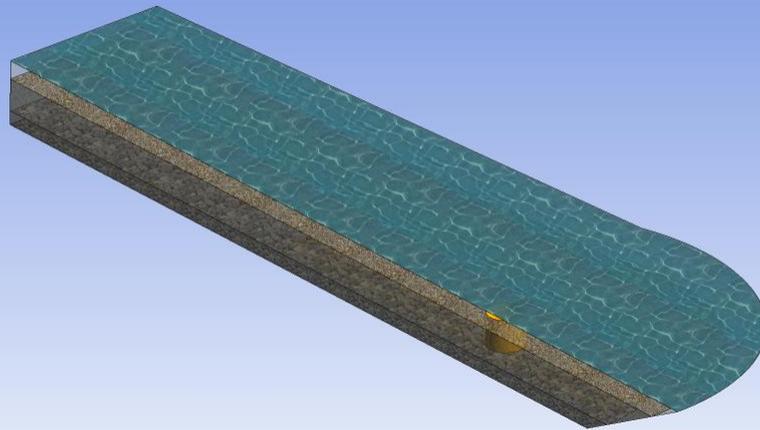
# Kiesfiltermodell 2, druckseitig betrieben



# Kiesfiltermodell 2, druckseitig betrieben

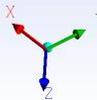
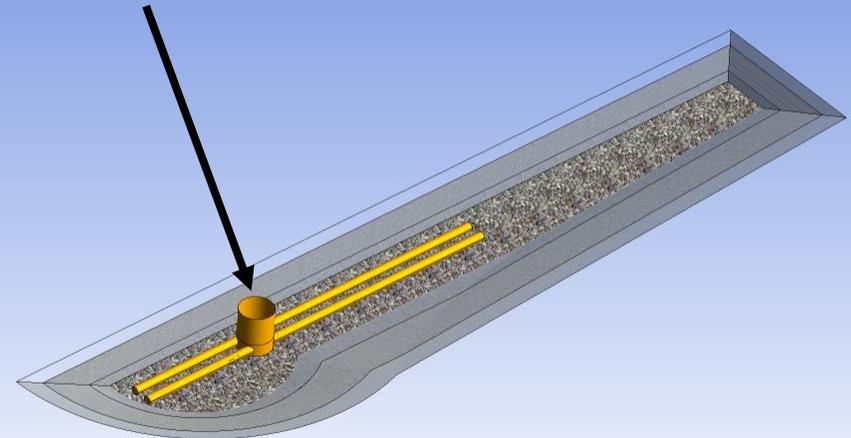
ANSYS  
R15.0

ANSYS  
R15.0



3d drawing of the filter

Verteilersystem (Hauptschacht + Drainagerohre)



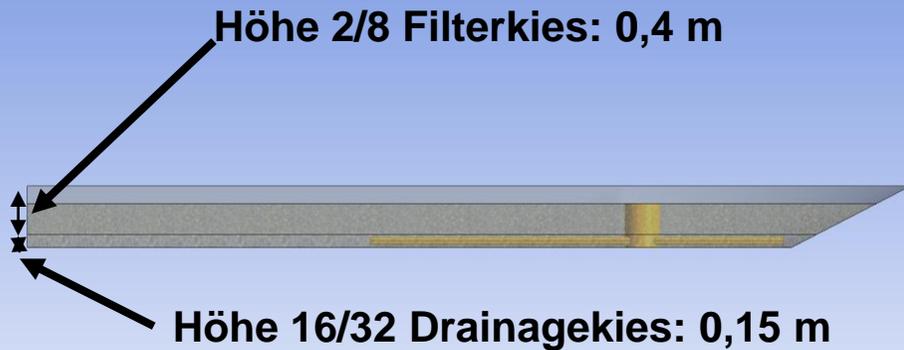
3d drawing of the filter with perforated pipe distribution system

# Kiesfiltermodell 2, druckseitig betrieben

Porosität der 16/32 Schüttung: 0,35

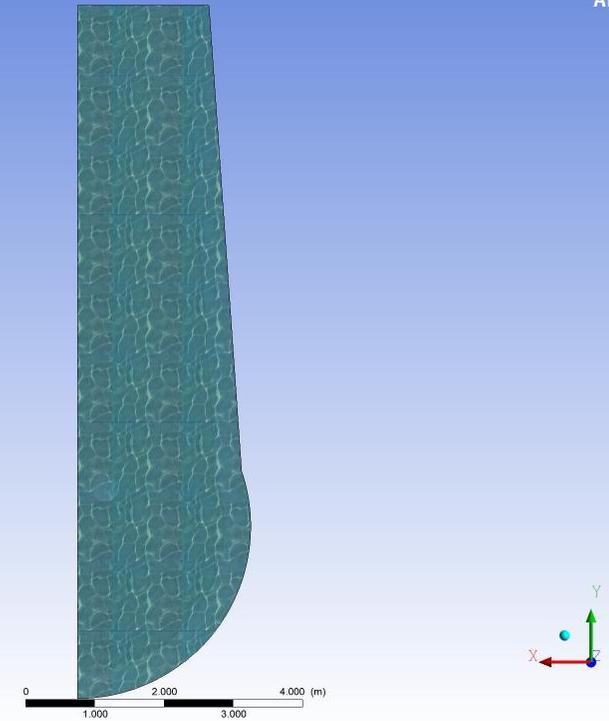
Porosität der 2/8 Schüttung: 0,28

ANSYS  
R15.0



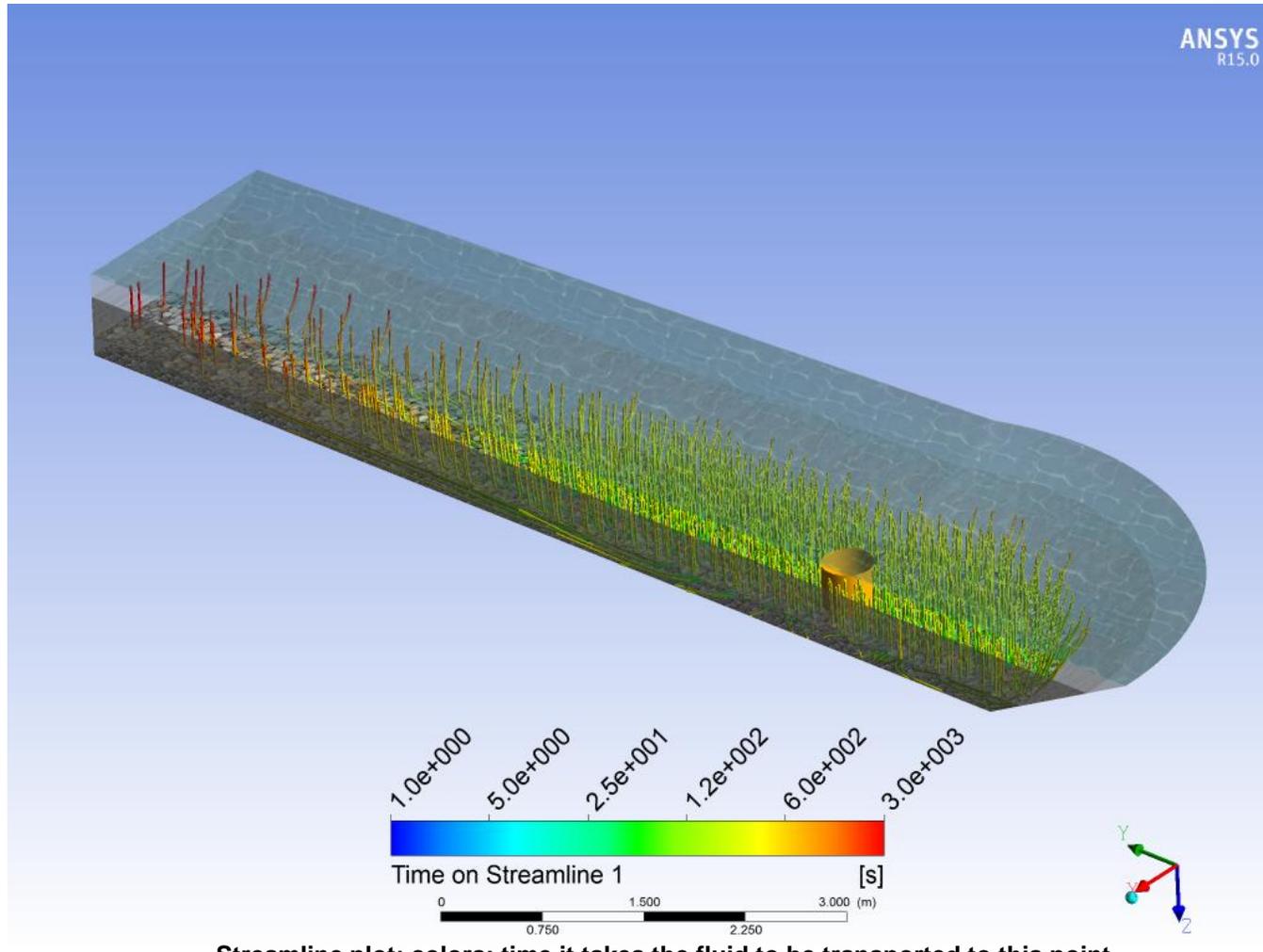
3d drawing of the filter

ANSYS  
R15.0



3d drawing of the filter

# Verweilzeit in Drainage- und Filterzone



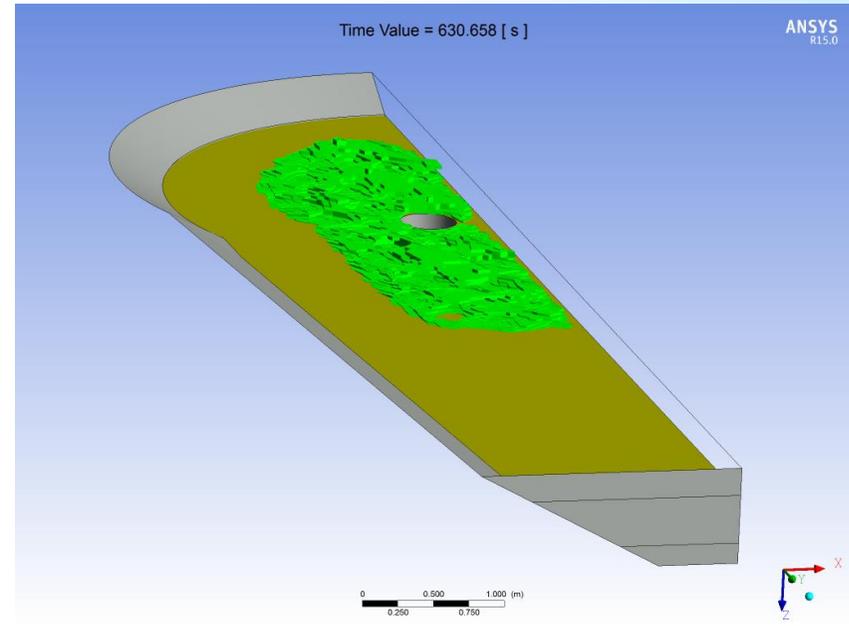
- Die Verweilzeiten des Wassers sind örtlich sehr unterschiedlich und reichen von ca. 2 Minuten bis 80 Minuten.
- Die mittlere Verweilzeit beträgt ca. 2,5 Minuten.

# Tracer-Berechnung mittels Uranin

Ca. 10 Minuten



experimental uranin distribution

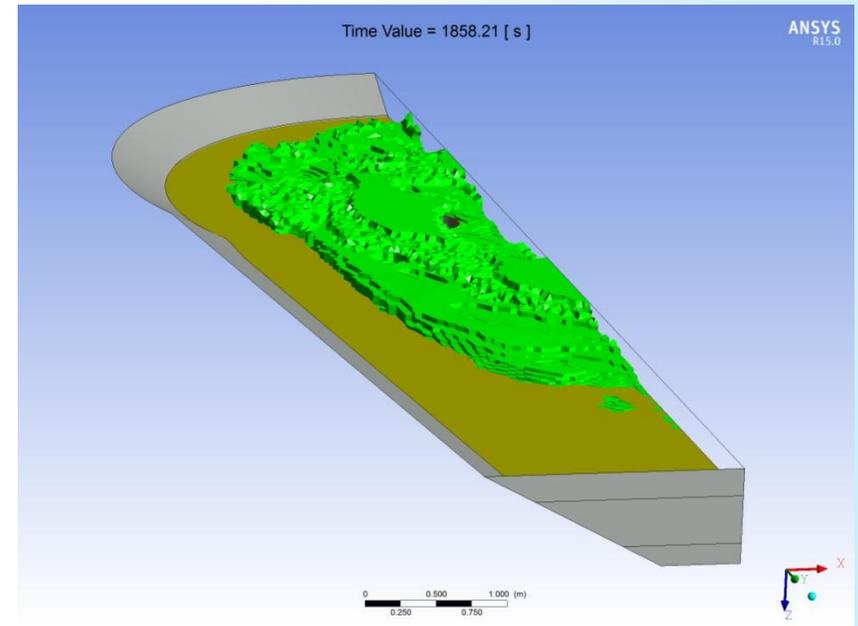


simulated uranin distribution

# Tracer-Berechnung mittels Uranin



Ca. 30 Minuten



simulated uranium distribution

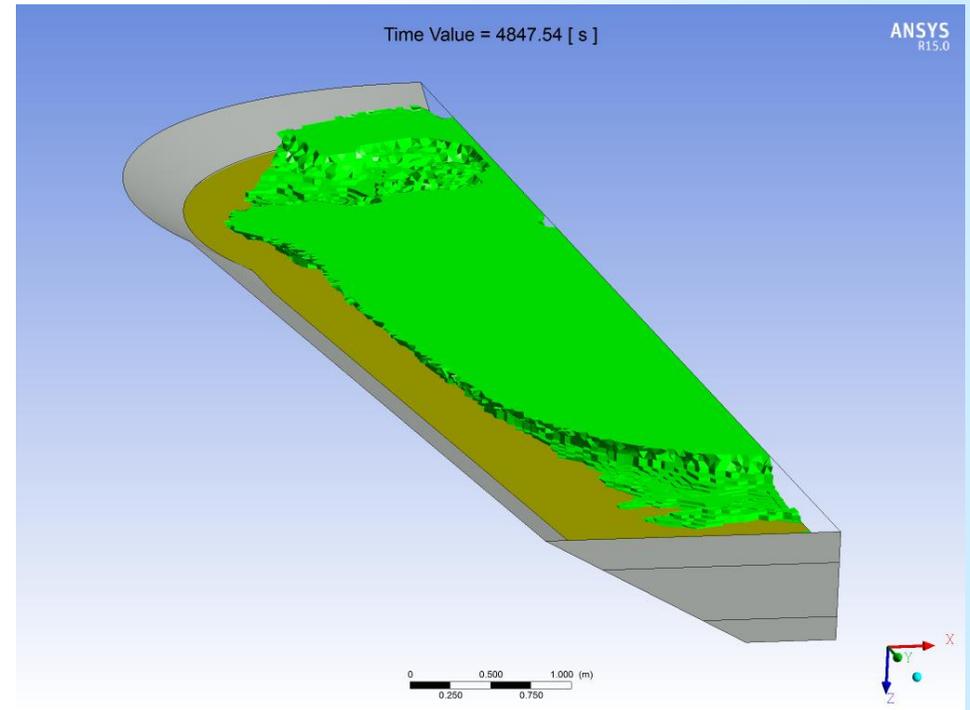
experimental uranium distribution

# Tracer-Berechnung mittels Uranin

Ca. 1h und 20 Minuten



experimental uranin distribution



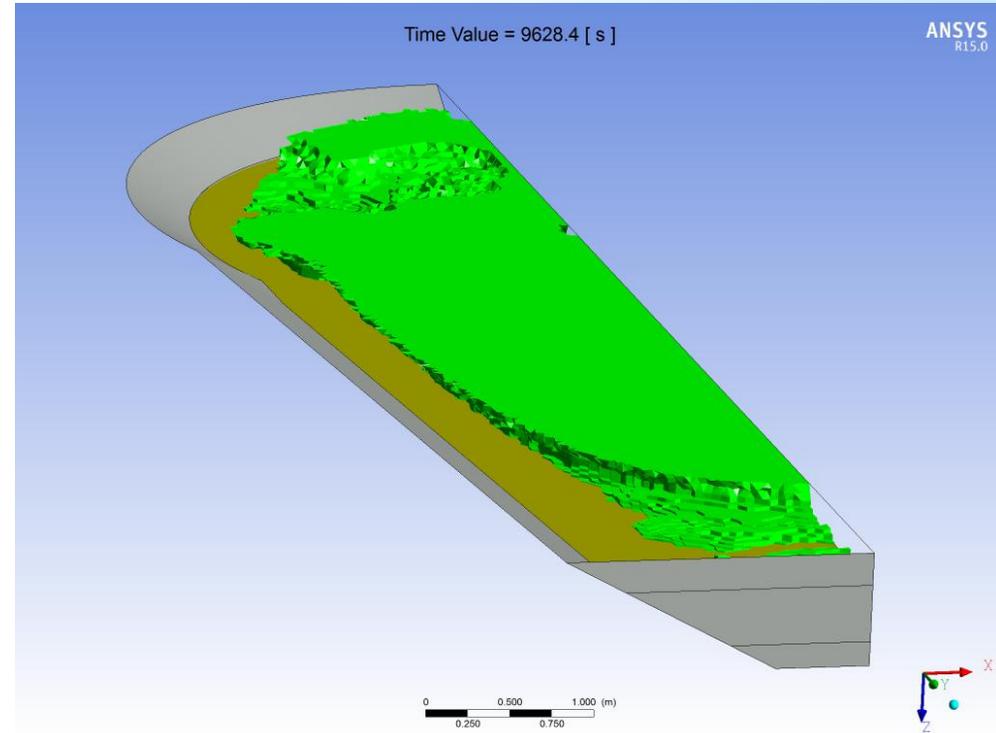
simulated uranin distribution

# Tracer-Berechnung mittels Uranin

Ca. 2h und 40 Minuten



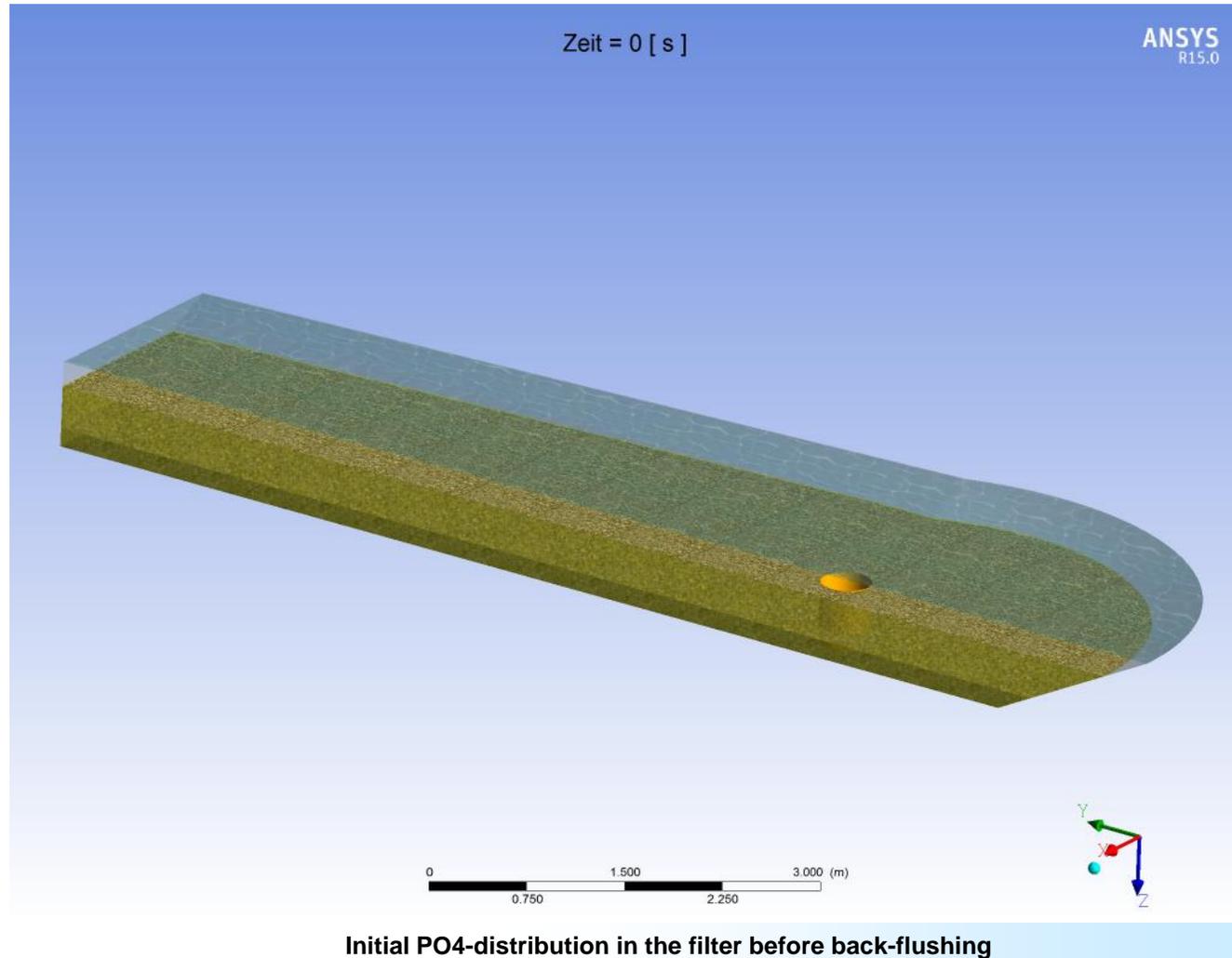
experimental uranium distribution



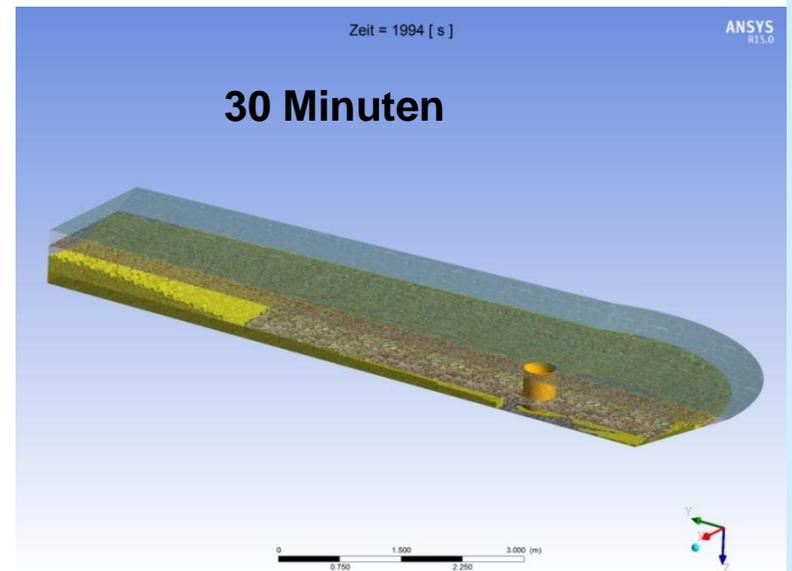
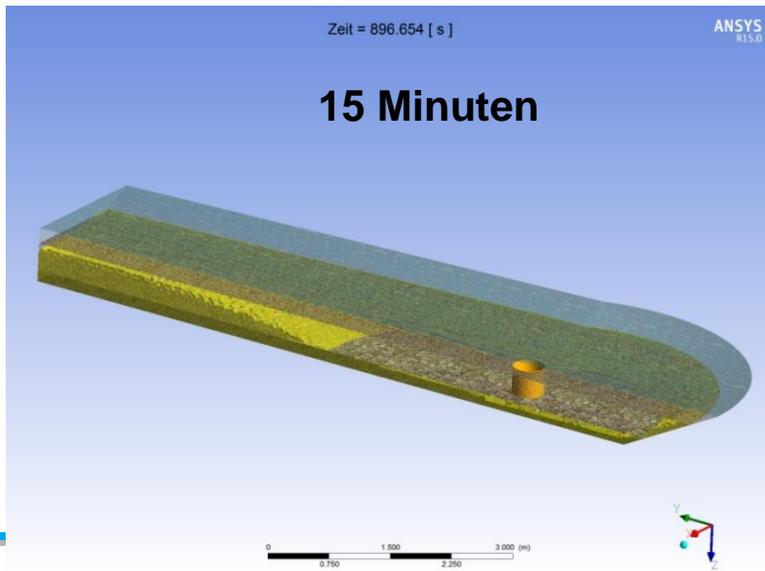
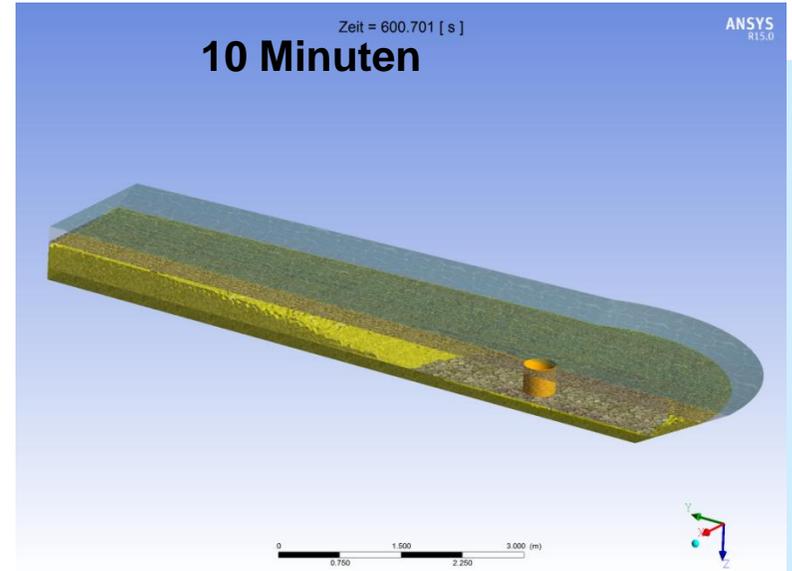
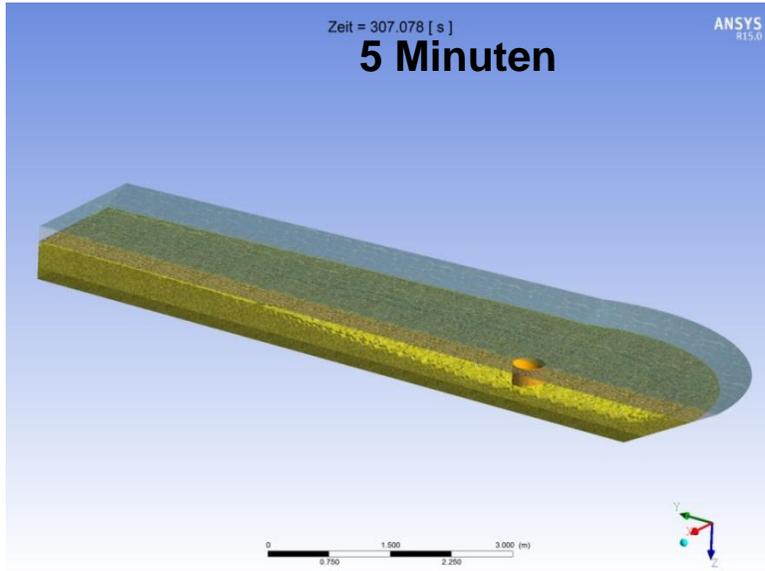
simulated uranium distribution

# Rückspülen des Kiesfilters

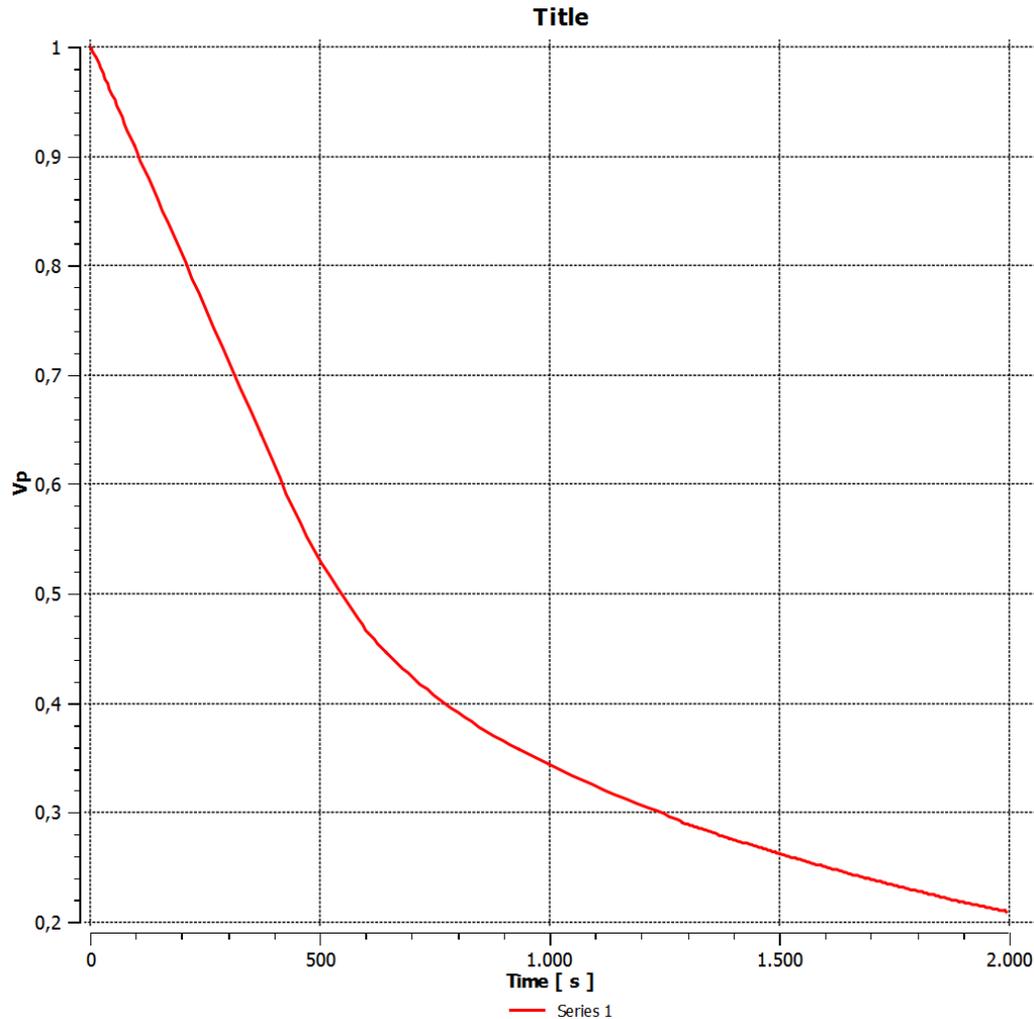
- Absaugung über die Verteilerarme mit Impellerpumpe mit 6000 l/h
- Gelb markierte Bereiche entsprechen phosphatbelastetem Wasser mit einem Volumenanteil größer 10%



# Rückspülen des Kiesfilters



# Rückspülen des Kiesfilters, Volumenanteil



**Nach 30 Minuten Rückspülzeit bleiben noch ca. 25% des Wassers im Filter zurück!**

Volume fraction of PO4 in the filter over time

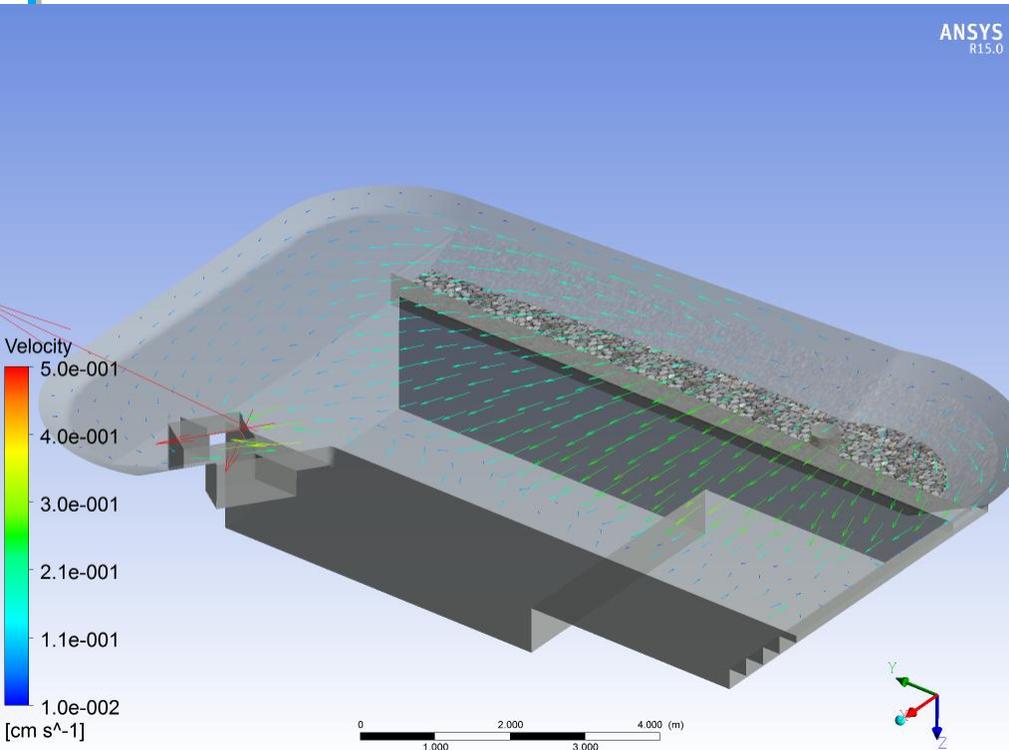


# Ergebnisse der Rückspülungsberechnung

- **Es existieren Bereiche im Filter, die selbst nach 30 Minuten bis 1 Stunde keine Reduktion des phosphatbelasteten Wassers zeigen.**
- **Es müsste unverhältnismäßig lange Rückgespült werden, um das fehlende Wasservolumen abzusaugen.**

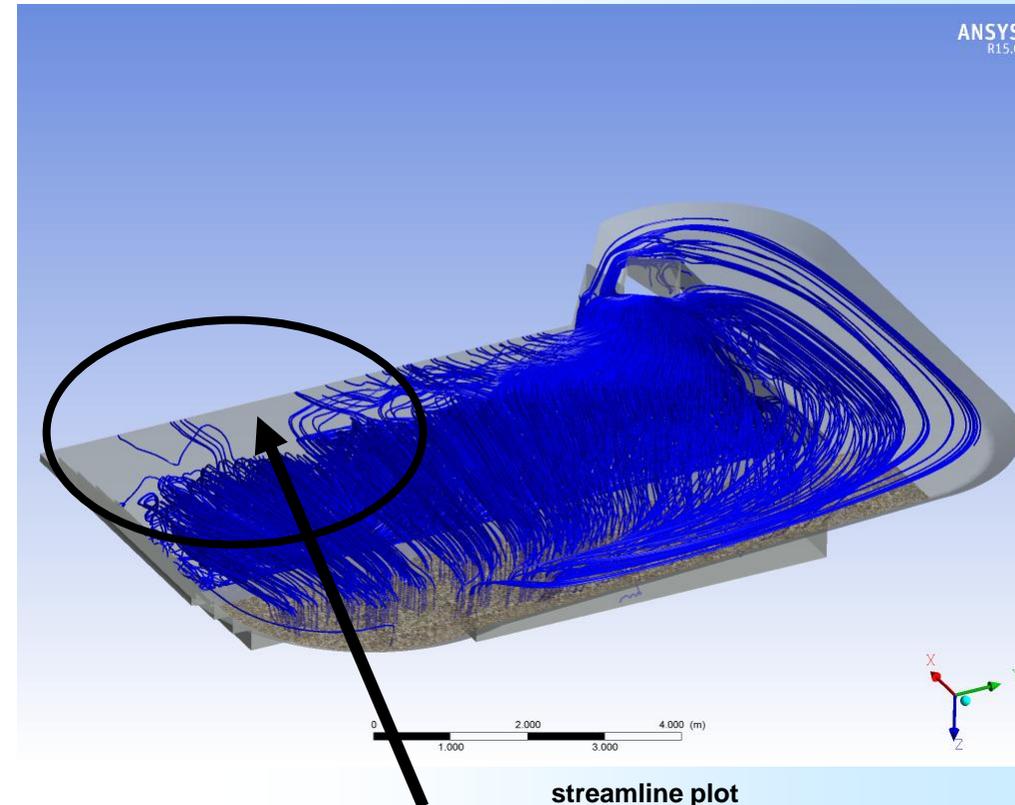
# Betrachtung der Oberflächenströmung der Gesamtanlage

## Vektordarstellung der Oberflächenströmung



Vector plot of surface water velocity

## Stromliniendarstellung



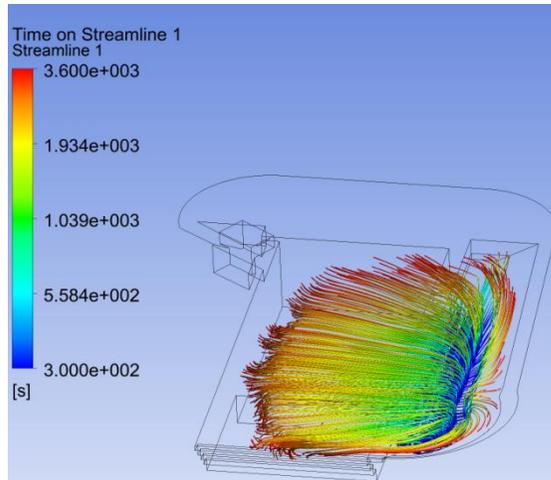
streamline plot

- Die Ergebnisse zeigen, dass der Skimmer im windfreien Fall, fast auf der gesamten Oberfläche eine Strömung erzeugt und die Partikel zu sich hinzieht. Lediglich im Bereich der Treppe existiert ein Bereich, der keine ausreichende Oberflächenströmung hat.

# Betrachtung der Oberflächenströmung der Gesamtanlage

Ziel: Pumpe Intervallweise betreiben um Stromkosten zu sparen (1h/1h)

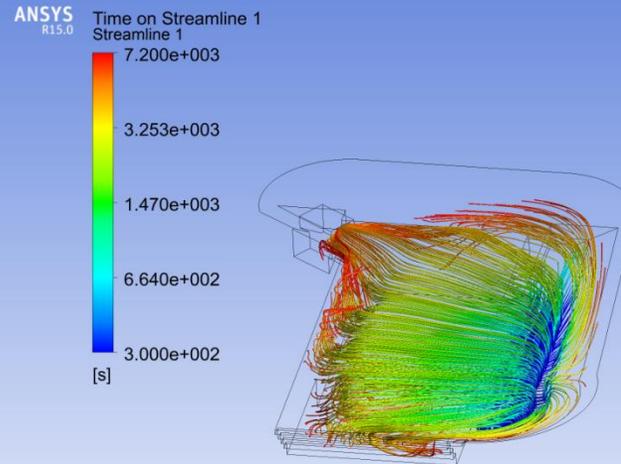
1 Stunde



Streamline plot, 1h



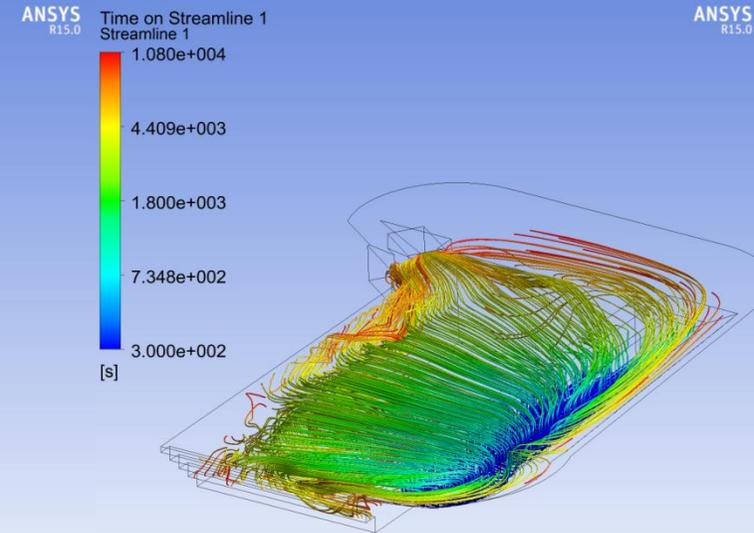
2 Stunden



Streamline plot, 2h



3 Stunden



Streamline plot, 3h



- Entsprechend der Praxiserfahrung reicht 1h Abskimmen nicht aus! Es wird Material auf den SB gezogen und bleibt dort oder sinkt ab (siehe Bild 1 Stunde). Hier sollte mindestens 2h geskimmt werden, um sicherzustellen, dass Partikel in einem Zuge abgesaugt werden.



# Ausblick: Möglichkeit der Entwicklung eines Phosphatabbaumodells für Filter

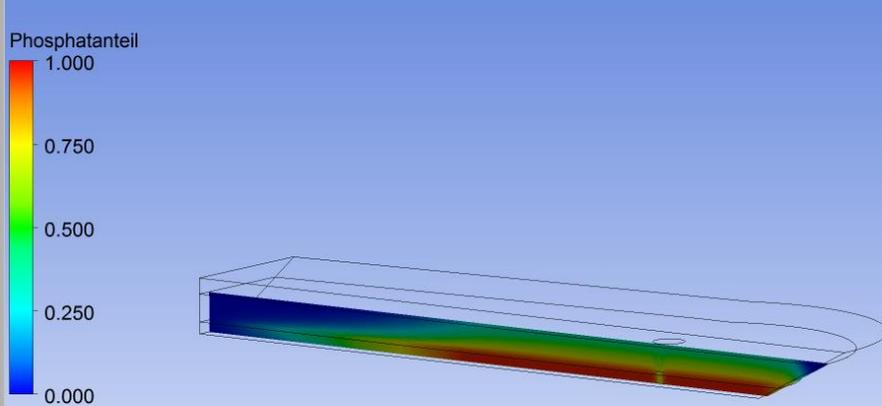
- Nährstofffixierung in Biofilmen wird durch Diffusion der Stoffe in den Biofilm beschrieben.
- Strömungsgeschwindigkeit, Viskosität sowie Korngrößen haben einen Einfluss auf die Diffusionsrate.
- Weiterhin spielt die Wechselwirkungszeit der Stoff mit dem Biofilm eine signifikante Rolle.
- Nährstofflimitierungen durch z. Bsp. N, C, etc. führen zu einem reduzierten Wachstum.

**Komplexes Zusammenspiel aller biologischen und technischen Aspekte!**

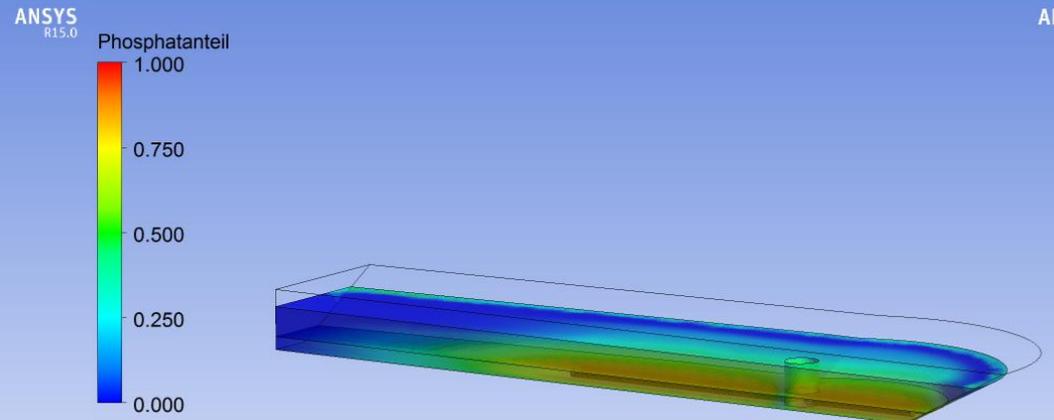
**Aber:** Durch gezielte Experimente kann eine Datenbasis gewonnen werden, die es erlaubt, die Modelle so anzupassen, dass die Abbauraten belastbar vorhersagbar wird oder zumindest qualitative Vergleiche von Filtern möglich sind.

**Schnitt**

**3D**



Phosphate distribution in the filter, in a cut plane



Phosphate distribution in the filter



# Ausblick: Beschreibung des kompletten Schwimmteichs

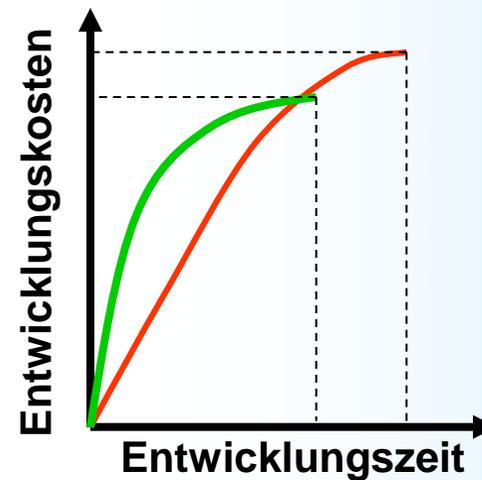
- Am Ende der Entwicklung kann eine ganzheitliche Beschreibung der Anlage stehen, die außerdem die weiteren Prozesse wie Sedimentation, Bindung durch Pflanzen und Zooplankton beinhaltet
- Ohne reproduzierbare und belastbare Versuche ist dies allerdings ein sehr schwieriges Unterfangen.

# Fazit

- **Erste Nachrechnungen von Tracerversuchen zeigen Übereinstimmung mit 3 Versuchen**
- **Strömungssimulationen bieten Potential für weitere Betrachtungen wie:**
  - **Oberflächenströmung**
  - **Rückspülung von Filtern**
  - **Wasseraustauschbetrachtungen des Schwimmbereichs**
  - **Entwicklung eines Modells zur Abschätzung des Phosphatabbaus in Filtern**
  - **etc.**

# Zusammenfassung und Fazit

- Gläsernes Modell
- Detaillierteres Verständnis → gezielte Prototypenentwicklung
- Verkürzung der Prototypenentwicklung
- Unkonventionelle Ideen sind ohne großen finanziellen Aufwand testbar





# Siempelkamp

NIS Ingenieurgesellschaft mbH

**NIS Ingenieurgesellschaft mbH**

**Industriestraße 13  
63755 Alzenau - Deutschland**

**Tel.: + 49 (0) 6023/ 91-3922**

**Fax: + 49 (0) 6023/ 91-3970**

**E-mail: [nis.alzenau@siempelkamp.com](mailto:nis.alzenau@siempelkamp.com)**



[www.siempelkamp-nis.com](http://www.siempelkamp-nis.com)

