

# Studiengang Systemtechnik

## Vertiefungsrichtung Design & Materials

# Diplom 2012

*Nino Brunner*

*Verbesserung des Leerungs-  
und Reinigungssystems von  
Sandfängen*

Dozent Cécile Münch-Alligné

Experte Peter Wenger

SI	TV
X	X

**Daten der Diplomarbeit**

<input checked="" type="checkbox"/> FSI <input type="checkbox"/> FTV	Année académique / Studienjahr 2011/2012	No TD / Nr. DA dm/2012/4
Mandant / Auftraggeber <input type="checkbox"/> HES—SO Valais <input checked="" type="checkbox"/> Industrie <b>Stahleinbau und Maschinen AG</b> <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire Partnerinstitution	Etudiant / Student <b>Nino Brunner</b>  Professeur / Dozent <b>Cécile Münch-Alligné</b>	Lieu d'exécution / Ausführungsort <input checked="" type="checkbox"/> HES—SO Valais <input type="checkbox"/> Industrie <input type="checkbox"/> Etablissement partenaire Partnerinstitution
Travail confidentiel / vertrauliche Arbeit <input type="checkbox"/> oui / ja <sup>1</sup> <input checked="" type="checkbox"/> non / nein	Expert / Experte (données complètes) <b>Peter Wenger</b> Stahleinbau und Maschinen AG   Ackersand   3922 Stalden	

**Titre / Titel**  
**Verbesserung des Leerungs- und Reinigungssystems von Sandfängen**

**Description et Objectifs / Beschreibung und Ziele**

Die Firma *Stahleinbau und Maschinen* will ein neues System zur Leerung und Reinigung der für die Wasserfiltration von Bewässerungssystemen verwendeten kleinen Sandfänge entwickeln. Gegenwärtig werden solche Anlagen manuell und sehr häufig geleert, obwohl sie oft sehr schwer zugänglich sind. Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung eines automatischen und effizienten Leerungs- und Säuberungssystems, das mithilfe von numerischen Simulationen der Strömung ferngesteuert werden kann.

1. In einem ersten Schritt muss der Student die Geometrie eines bestehenden Sandfangs eines Pilotstandorts rekonstituieren.
2. Anschliessend werden mittels ANSYS CFX numerische Simulationen der Strömung der Leerung des Sandfangs durchgeführt.
3. Nach der Analyse der Effizienz des bestehenden Leerungssystems wird in enger Zusammenarbeit mit *Stahleinbau und Maschinen* ein neues System entwickelt.

Um die Verbesserungen aufzuzeigen, werden numerische Simulationen der Strömung in dem neuen Leerungs- und Reinigungssystem durchgeführt und analysiert.

**Délais / Termine**

Attribution du thème / Ausgabe des Auftrags: 14.05.2012	Exposition publique / Ausstellung Diplomarbeiten: 31.08.2012
Remise du rapport / Abgabe des Schlussberichts: 09.07.2012   12h00	Défense orale / Mündliche Verteidigung: Semaine / Woche 36

**Signature ou visa / Unterschrift oder Visum**

Responsable de l'orientation / Leiter der Vertiefungsrichtung: A. Müller     <sup>1</sup> Etudiant/Student: [Signature]

<sup>1</sup> Par sa signature, l'étudiant-e s'engage à respecter strictement la directive et le caractère confidentiel du travail de diplôme qui lui est confié et des informations mises à sa disposition.  
 Durch seine Unterschrift verpflichtet sich der Student, die Richtlinie einzuhalten sowie die Vertraulichkeit der Diplomarbeit und der dafür zur Verfügung gestellten Informationen zu wahren.

# Verbesserung des Leerungs- und Reinigungssystem von Sandfängen

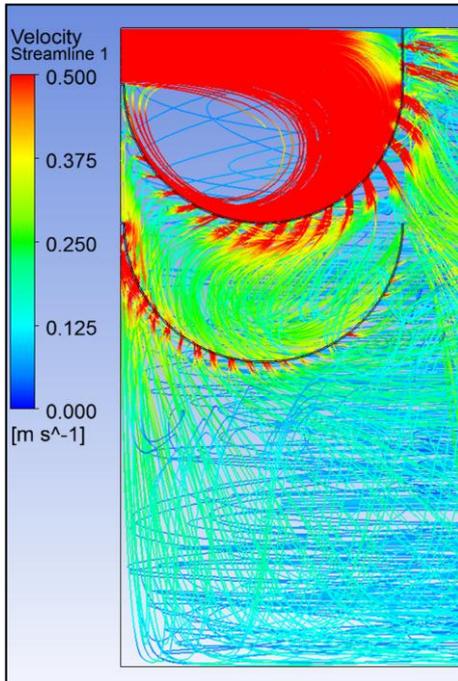
Diplomand Nino Brunner

## Ziel des Projekts

Ziel dieser Arbeit war es, ein neues Entsandersystem für Kleinkraftwerke und Suonen mit Hilfe der numerischen Simulation zu konstruieren, welches eine automatische Spülung durchführt.

## Methoden | Experimente | Resultate

Die Idee dieses Projektes kam von Peter Wenger, Inhaber der Firma Stahleinbau und Maschinen AG. Es gibt sehr viele kleinere Sandfänge hier bei uns im Wallis. Die meisten davon, müssen manuell gespült und entleert werden und ihr Wirkungsgrad lässt zu wünschen übrig. Da sich diese Sandfänge oftmals in abgelegenen und nicht befahrbaren Orten befinden, müssen die Verantwortlichen meistens zu Fuss zu den Anlagen gelangen. Der Weg zu den Anlagen und die anschliessende manuelle Spülung nimmt sehr viel Zeit in Anspruch und wird aus diesem Grund öfters vernachlässigt. Somit füllen sich die Entsanderanlagen randvoll mit Sand und dienen ihrem eigentlichen Zweck nicht mehr. Bei dieser Arbeit wurde eine Geometrie berechnet, diese mit Hilfe eines CAD-Programms gezeichnet und anschliessend an das numerische Rechenprogramm Ansys zur Simulation weitergegeben. Mit Hilfe dieser numerischen Simulation, kann die Strömung im Entsanderbecken simuliert und dargestellt werden. Anhand der Strömung kann anschliessend gesagt werden, welche Sandkörner sich absetzen können. Sind die Resultate nicht zufriedenstellend, beginnt der Prozess wieder von vorne mit der Anpassung der Geometrie. In dieser Arbeit wurde ein Entsandersystem konstruiert, welches bei einem Durchfluss von 200 l/s Sandpartikel von bis zu 0.2mm filtern sollte und diese anschliessend automatisch spült.



Diplomarbeit

| 2012 |

Studiengang

Systemtechnik

Anwendungsbereich

Design & Materials

Verantwortliche/r Dozent/in

Pr. Cécile Münch-Alligné

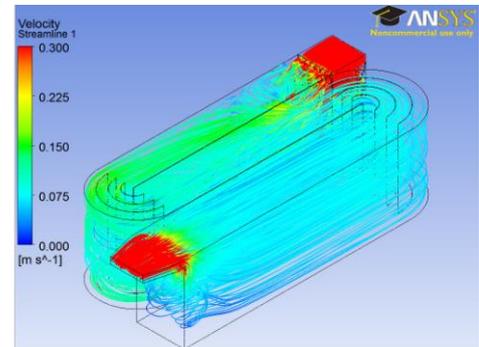
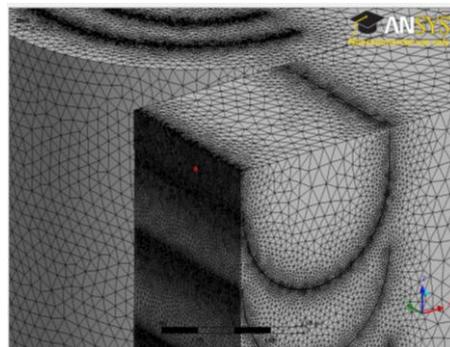
Cecile.muench@hevs.ch

Assistent

Sylvain Richard

Partner

Peter Wenger, Stahleinbau und Maschinen AG



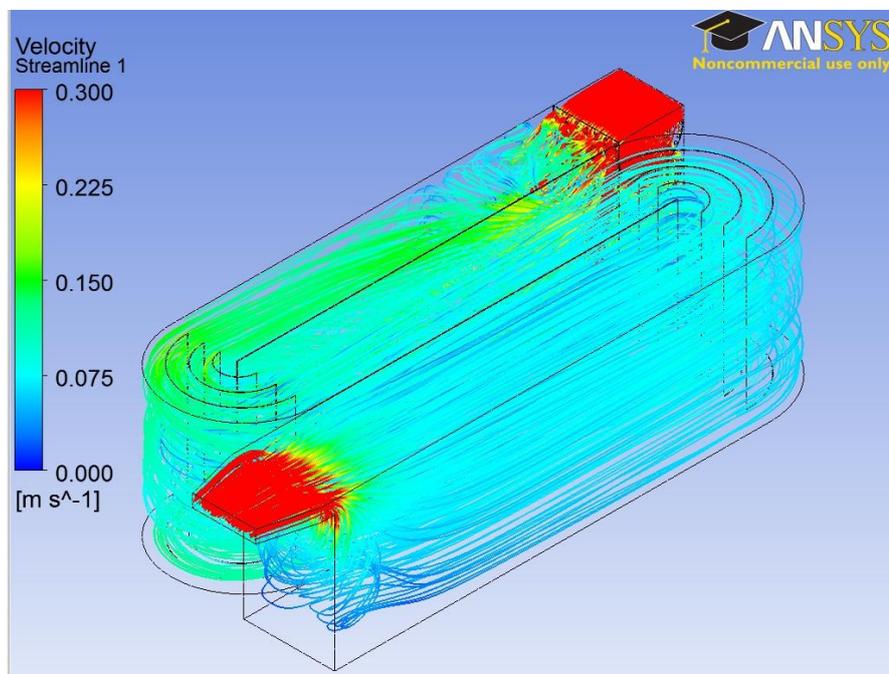
Im oberen Bild ist das Netz einer Entsander-Geometrie dargestellt. In jedem Knotenpunkt werden anschliessend Differentialgleichungen gelöst.

Im Bild oben, sind die Strömungslinien dargestellt. Anhand der Farbenskala kann die Geschwindigkeit des Fluids bestimmt werden.

HES-SO // Valais - Wallis

# Verbesserung des Leerungs- und Reinigungssystem von Sandfängen

Diplomarbeit



Dozent: Cécile Münch-Alligné  
Expert: Peter Wenger, Stahleinbau und Maschinen AG  
Assistent: Sylvain Richard  
Student: Nino Brunner

# Entsander

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Problematik</b> .....	<b>5</b>
2.1	Lagebestimmung vor Ort.....	6
<b>3</b>	<b>Theorie</b> .....	<b>8</b>
3.1	Sedimentation.....	8
3.2	Physik Modell.....	9
3.3	Numerisches modell .....	10
3.3.1	Netz.....	10
3.3.2	Stationäres Modell.....	11
3.3.3	Randbedingungen.....	11
3.3.4	Konvergenz.....	13
3.4	Methode.....	14
3.5	Hydraulische Bemessungen .....	14
3.5.1	Sinkgeschwindigkeit der Körner .....	15
3.5.2	Senkgeschwindigkeit mittels Zanke .....	16
3.5.3	Grenzgeschwindigkeit im Sandfang .....	17
3.5.4	Bemessung des Absetzbecken .....	17
3.6	Dimensionierung Entsander .....	18
<b>4</b>	<b>Resultate</b> .....	<b>20</b>
4.1	Entsander A1.....	20
4.2	Entsander A2.....	22
4.3	Entsander A3.....	23
4.4	Entsander A4.....	26
4.5	Entsander B0.....	28
4.6	Entsander B1.....	32
4.7	Entsander B2.....	33
4.8	Entsander B3.....	36
4.9	Entsander B4.....	38
4.10	Entsander B5 Schlussmodell.....	40
<b>5</b>	<b>Untersuchung Anzahl Lochbleche &amp; deren Position</b> .....	<b>43</b>
5.1	Anzahl Lochbleche .....	43
5.1.1	Modell 25 mit 2 Lochblechen .....	43
5.1.2	Modell 25 mit 3 Lochblechen .....	44
5.2	Position der Lochbleche.....	45
<b>6</b>	<b>Automatische Spülung</b> .....	<b>49</b>
6.1	Mit externer Spannungsquelle .....	49
6.1.1	Spülmechanismus.....	49
6.1.2	Kräfteberechnung auf Spülplatte.....	50

---

---

6.1.3	Auswahl der Hydraulikzylinder .....	52
6.1.4	Trübungssensor.....	53
6.2	Ohne externe Spannungsversorgung .....	54
6.2.1	Varianten rein mechanisch.....	54
	Variante Seilzug .....	54
6.2.2	Mit Hilfe einer Solaranlage .....	56
<b>7</b>	<b>Realisierung .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>58</b>
<b>9</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>58</b>
<b>10</b>	<b>Literatur .....</b>	<b>58</b>
<b>11</b>	<b>Unterschrift .....</b>	<b>59</b>
<b>12</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>60</b>
12.1	Dimensionen des Entsandermodells 25 .....	60
12.2	Senkgeschwindigkeit der Sandkörner .....	60
12.3	Entsander mit mechanischer Spülung Typ EDF .....	60
12.4	Trübungssensoren von Hach Lange.....	60
12.5	Datenblatt Absperrklappe Typ 140 PVC-U 24V Mit Handbetätigung.....	60
<b>13</b>	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>61</b>

## Symbolverzeichnis

Symbol	Einheit	Bedeutung
Q	$m^3/s$	Bemessungsdurchfluss
$d_B$	m	Durchmesser des Bemessungskorns
T	s	
$T_{SB}$	s	
V	$m^3$	Volumen des Beckens
B	m	Beckenbreite
h	m	Beckenhöhe
L	m	Beckenlänge
v	m/s	mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Sandfang
$w_B$	mm/s	mittlere Sinkgeschwindigkeit des Bemessungskorns $d_B$ im wirksamen Raum
w	mm/s	Feststoffsinkgeschwindigkeit ( in fließendem Wasser)
$w_0$	mm/s	Sinkgeschwindigkeit eines Korns
g	m/s	Erdbeschleunigung
p	$N/m^2$	Druck
$c_D$	-	Widerstandszahl des Korns
Re	-	Reynolds-Zahl

## Griechische Symbole

$\alpha$	-	Abminderungsfaktor
$\nu$	$m^2/s$	kinetische Zähigkeit bzw. Viskosität
$\mu$	-	Reibungskoeffizient
$\rho_w$	$kg/m^3$	Dichte von Wasser
$\rho_s$	$kg/m^3$	Dichte von Sand

## 1 EINLEITUNG

---

Die Firma Stahleinbau und Maschinen AG will ein neues System zur Leerung und Reinigung der für die Wasserfilterung von Bewässerungssystemen verwendeten kleinen Sandfänge entwickeln. Gegenwärtig werden solche Anlagen manuell und sehr häufig geleert, obwohl sie oft sehr schwierig zugänglich sind. Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines automatischen und effizienten Leerungs- und Säuberungssystem, das mithilfe von numerischen Simulationen dimensioniert und konstruiert werden kann.

## 2 PROBLEMATIK

---

Problem dieser Arbeit sind die unerwünschten Sedimente in den Wasseranlagen zu entfernen. Durch diese Sedimente werden bei Wasserkraftwerken die Turbinenräder durch Abrasion stark beschädigt. Durch diesen starken Verschleiss, müssen die Turbinenräder viel früher gewechselt oder aufgeschweisst werden. Die meisten Kraftwerke besitzen zwar Entsander, doch deren Wirkungsgrad lässt in den meisten Fällen zu wünschen übrig und so bleibt immer noch ein grosser Anteil an Sand im Wasser vorhanden. Dieselbe Problematik gibt es auch bei den Suonen. Die Sandpartikel verstopfen die Berieselungsanlagen sowie die Rohre, was zu einem enormen Aufwand im Unterhalt führt. Des Weiteren werden auch hier die Komponenten stark durch Abrasion beschädigt.

Ein weiterer Kernpunkt dieser Arbeit ist die automatische Spülung. Entsanderanlagen sind normalerweise direkt nach der Anfassung oder dem Entkieser (Abb. 2-1) anzutreffen. Dies aus dem einfachen und logischen Grund, dass die Sandteilchen nicht durch die Rohrleitungen befördert werden und diese abnützen. Somit liegen die Entsander meistens weit vom Dorf weg und sind nicht sofort erreichbar. Sie sollten jedoch regelmässig entleert und gereinigt werden, da ansonsten ihre eigentlich Aufgabe der Sandfiltrierung nicht mehr gewährleistet ist. Dies ist also mit einem hohen Personalaufwand verbunden. Mit unserem Entsander sollte eine automatische Spülung diese Probleme lösen.



Abb. 2-1: Entsander der Gemeinde Ausserberg im Baltschiedertal für die Niwärsch Suon

## 2.1 LAGEBESTIMMUNG VOR ORT

Herr Peter Wenger organisierte uns ein Rundgang zur Wasseranfassung der Gemeinde Ausserberg. Hier konnten wir die bestehende Entsanderanlage und ihre Problematik begutachten, sowie eine Durchflussmessung durchführen die später als Input für die numerischen Simulationen diente.

Am 18. April nachmittags wurde mit einem Verantwortlichen der Wasserwerke Ausserberg ein Rundgang gemacht. Anwesend waren Frau Cécile Münch, Herr Paul-André Vogel, Herr Fernando Biaggi von der Firma Stahleinbau und Maschinen AG, Herr Richard Sylvain, Herr Beat Theler, Verantwortlicher Wasserwerke der Gemeinde Ausserberg sowie der Student Nino Brunner. Wir starteten ob Ausserberg beim Wasserstollen Niwärch.

Das Niwärch (Neues Werk) ersetzte eine wesentlich ältere Leitung, das Chänilwasser. 1914 und 1946/47 wurde die Leitung saniert, bis der oberste Teil 1972 durch den Stollen ersetzt wurde. Dank der Initiative des SAC bleibt aber die alte Leitung erhalten. Die Fassung und die ersten 500 m liegen auf Gebiet der Gemeinde Baltschieder, das Wasser dient aber nur Ausserberg.



Abb. 2-2: Die alte Suon „Chänilwasser“

Mittels des neuen Wasserstollens gelangt man direkt ins Baltschiederthal. Die Eröffnung des Niwärchs-Stollens konnte im Jahre 1972 gefeiert werden. Es führt ein Kanal mit den Abmessungen von 40 cm Breite und 30 cm Höhe Wasser mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von 1,6 m/s durch den 1,5 km langen Tunnel. Dies ergibt ca. einen Durchfluss von 200 l/s was schon erheblich ist für eine Suon.



Abb. 2-3: Der Wasserstollen Niwärch mit dem Kanal auf der linken Seite

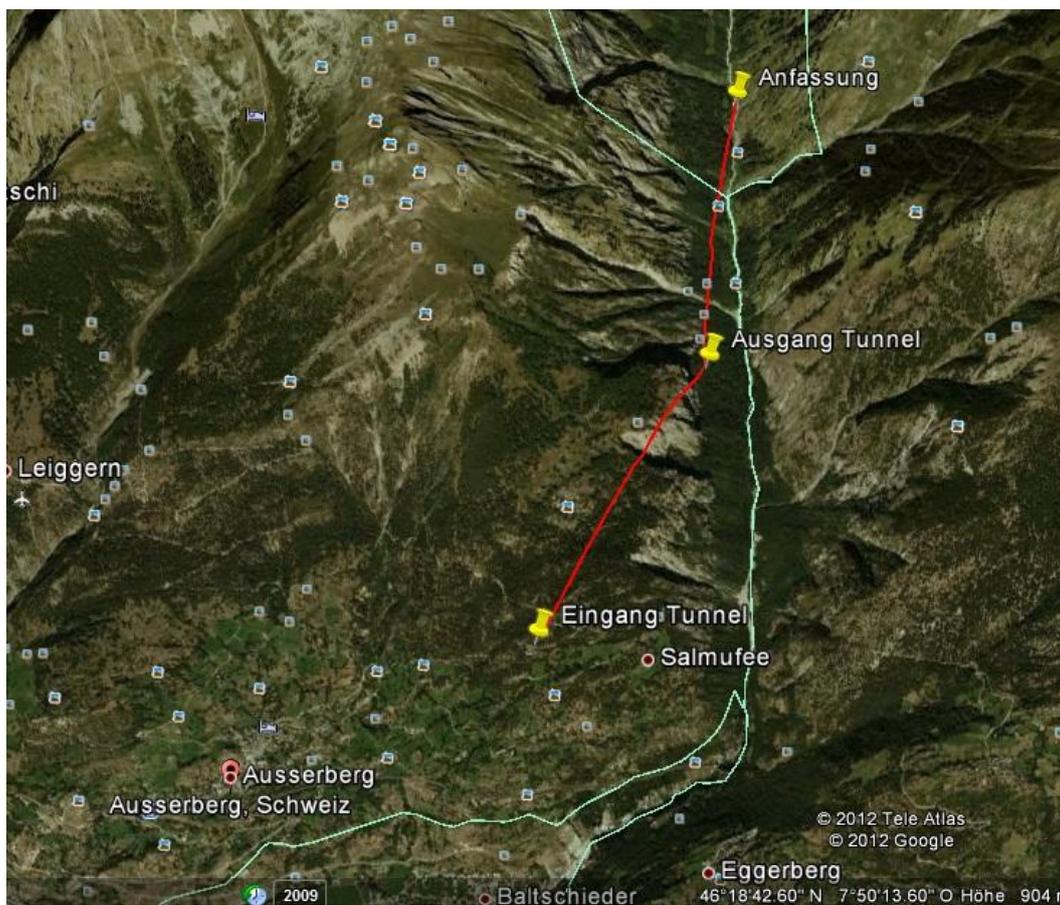


Abb. 2-4: Geographische Lage der Niwärch Suon von der Anfassung bis zum Ende des Wasserstollens

### 3 THEORIE

Für die Entwicklung eines neuen Entsandersystem wird die Hilfe der numerischen Simulation beigezogen. Mit Hilfe der numerischen Simulation kann zum Beispiel das Strömungsverhalten schon vor der Herstellung eines Prototyps getestet werden. Die FEM-Simulation (Finite Elemente Methode) erlaubt es, mit einem Produkt schneller am Markt zu sein. Besonders bedeutsam ist eine rasche Prototypenentwicklung. Die gewünschten Eigenschaften können schon während der Entwicklung getestet werden. Wenn die Eigenschaften erst an einem Prototyp getestet werden können, ist dies natürlich viel kostenintensiver.

Für unsere Simulationen wurde die Software Ansys [1] benutzt. Das Programm geht zurück auf eine Entwicklung der Britischen Atomenergiebehörde der 1970er Jahre. Im Jahre 1995 erfolgte die Umbenennung des Programmesystems in CFX. Die AEA.Technology fusionierte 1998 mit der Firma Advanced Scientific Computing, welche den Code Tascflow entwickelt hat. Die Codes wurden ebenfalls zusammengelegt. Eine weitere Fusion mit der Firma Ansys, welche bis dahin hauptsächlich auf dem Gebiet der Softwareentwicklung der Strukturmechanik bekannt war, folgte 2002. Der Hauptsitz von Ansys ist in Canonsburg, USA, und der Sitz von Ansys Germany ist in Otterfing bei München. Es gibt verschiedene Unterteilungen im Programm Ansys die je nach dem Problem gewählt werden müssen. Da wir bei unserem Problem vorwiegend mit Strömungen zu tun haben, wird das Unterprogramm CFD (computational fluid dynamics, oder numerische Strömungsmechanik) bebützt.

#### 3.1 SEDIMENTATION

Damit überhaupt klar war, mit welcher Grössenordnung gerechnet werden musste, wurde eine Sandprobe in Ausserberg bei den bestehenden Entsanderanlagen genommen und eine Granulometrie durchgeführt.

Mittels der Granulometrie kann die Grösse der Partikel, in unserem Fall Sandkörner bestimmt werden. Es wurden 2 Proben genommen. Die erste direkt beim der Anfassung im Entkieser (Abb. 3-1). Die zweite Probe (Abb. 3-2) wurde nach dem Wasserstollen in einem Sammelbecken genommen. Die Sandproben wurden zuerst während 24 h in einen Vakuumofen gelegt. Somit konnte dem Sand sämtliches Wasser entzogen werden. Anschliessend wurden die Sandproben gesiebt. Durch die Verwendung verschiedener Siebgrössen erhält man anschliessend die Grössenverteilung der Sandkörner.

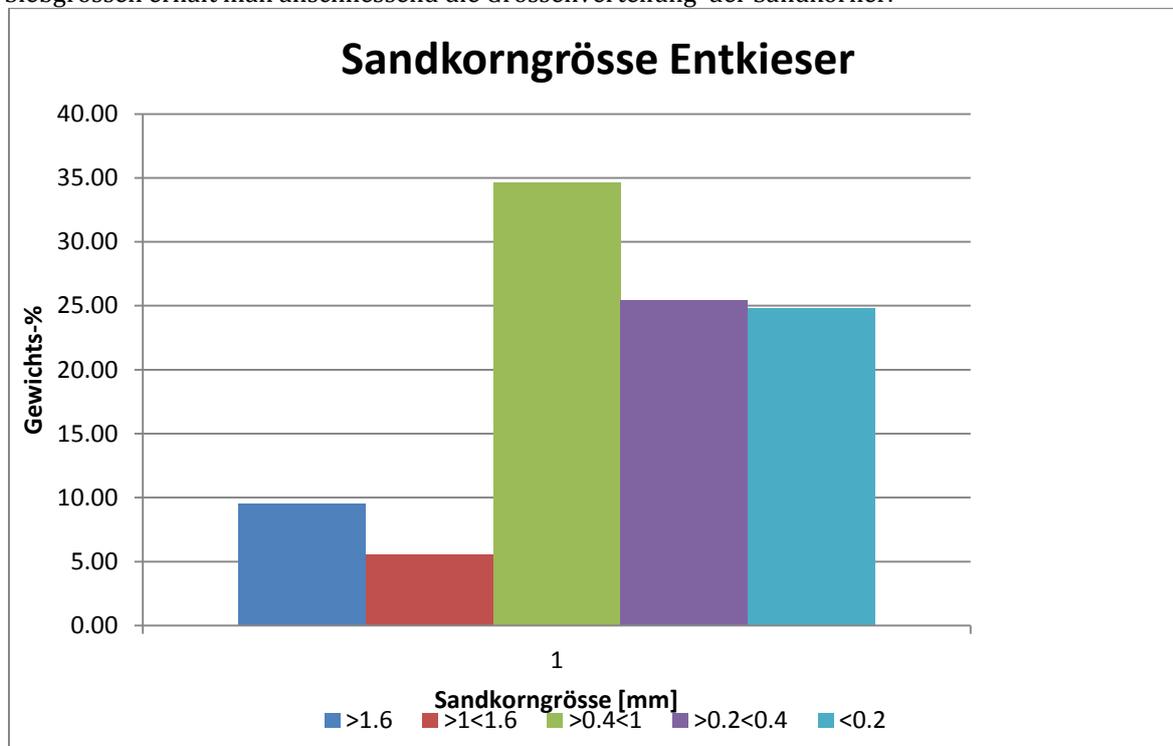


Abb. 3-1: Korngrössenverteilung in Gewichts-% bei der Anfassung

Für die Messung wurde eine Sandmenge von 100g genommen. Bei dieser Messung wurden die Sandkörner unter 0,2mm nicht mehr unterteilt, da Sie in etwa jener der zweiten Messung entspricht. Die meisten Körner befinden sich zwischen 0,2 und 1mm.

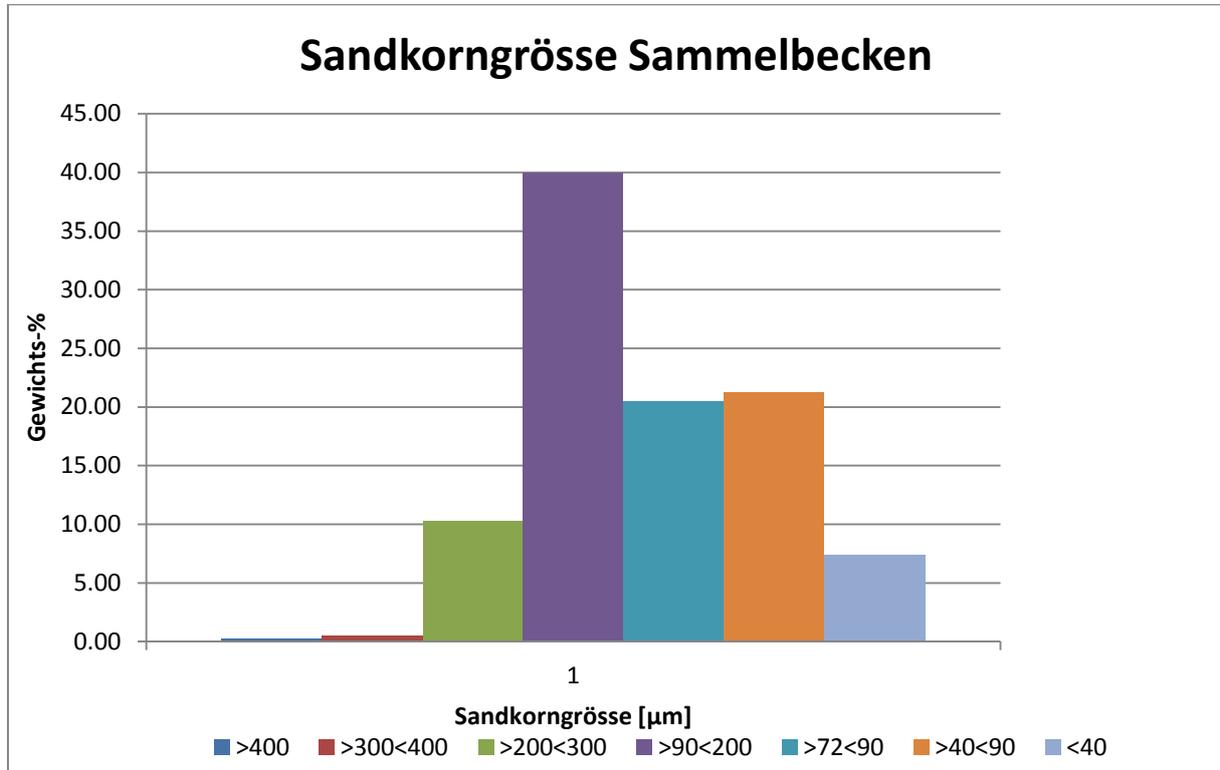


Abb. 3-2: Korngrößenverteilung in Gewichts-% beim Sammelbecken

Für diese Probe wurde ebenfalls eine Sandmenge von 100g verwendet. Es ist gut zu sehen, dass die meisten Körner zwischen 40 und 200 µm sind.

Mittels dieser Werte kann anschliessend berechnet werden, wie lange es dauert bis sich die Körner im Wasser absetzen. Diese Berechnungen erfolgen in der Diplomarbeit.

### 3.2 PHYSIK MODELL

Die Gleichungen in der Fluidmechanik werden durch die Navier-Stokes-Gleichungen beschrieben. Die Navier-Stokes-Gleichungen (nach Claude Louis Marie Henri Navier und George Gabriel Stokes) beschreiben die Strömung von newtonschen Flüssigkeiten und Gasen. Die Gleichungen sind somit eine Erweiterung der Euler-Gleichungen um die innere Reibung oder Viskosität. Navier-Stokes Gleichungen sind nichtlineare Differentialgleichungen.

Im engeren Sinne, insbesondere in der Physik, ist mit Navier-Stokes-Gleichungen die Impulsgleichung für Strömungen gemeint. Im weiteren Sinne, insbesondere in der Numerischen Strömungsmechanik, wird diese Impulsgleichung um die Kontinuitätsgleichung und die Energiegleichung erweitert und bildet dann ein System von nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen zweiter Ordnung. Dieses ist das grundlegende mathematische Modell der Strömungsmechanik. Insbesondere bilden die Gleichungen Turbulenz und Grenzschichten ab.

Diese Navier-Stokes Gleichungen werden anschliessend vom Software-Programm Ansys an jedem Knoten, welche durch die Vernetzung bestimmt wurden, berechnet.

Navier-Stokes Gleichung:

$$\frac{\partial}{\partial t} u_i + \sum_{j=1}^n u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = \nu \Delta u_i - \frac{\partial p}{\partial x_i} + f_i(x, t) \quad (x \in \mathbb{R}^n, t \geq 0) \quad (1)$$

$$\operatorname{div} u = \sum_{i=1}^n \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = 0 \quad (x \in \mathbb{R}^n, t \geq 0) \quad (2)$$

Mit den Anfangsbedingungen

$$u(x, 0) = u^o(x) \quad (x \in \mathbb{R}^n)$$

Die Gleichung  $u^o(x)$  ist eine Bekannte Funktion wie  $f_i(x, t)$  eine bekannte Kraft ist. (z. Bsp. Die Schwerkraft)

Die Gleichung (1) entspricht dem newtonschen Gesetz  $F = m \cdot a$  für ein Fluid Element, welches einer externen Kraft sowie den resultierenden Kräften der Reibung und des Drucks ausgesetzt ist

Die Gleichung (2) beschreibt lediglich dass das Fluid inkompressibel ist.

In diesem Gleichungssystem gibt es also 11 Unbekannte aber nur 3 Gleichungen. Es müssen also Hypothesen gemacht werden, welche den verschiedenen Modellen entsprechen.

### 3.3 NUMERISCHES MODELL

Beim numerischen Modell wurden folgende Annahmen getroffen.

#### 3.3.1 Netz

Der wichtigste Teil der numerischen Simulation ist das Netz. Die Vernetzung ist das Zerlegen der Geometrie in einfach beschreibbare Teilgebiete, die Elemente. Die einzelnen Elemente sind an den Eckknoten miteinander verbunden.

Die Vernetzung war früher ein Prozess, der von erfahrenen Spezialisten vorgenommen werden musste. Die Kunst bestand darin, die Geometrie und ihre Steifigkeit gut zu abzubilden und gleichzeitig aufgrund der begrenzten Rechenleistung mit möglichst geringen Elementen- und Knotenzahlen auszukommen. Noch zu Beginn der 90-er Jahre durfte eine Geometrie nicht weit über Zehntausend-Knoten haben. Somit war eine genaue Beschreibung der Geometrie nahezu unmöglich.

Durch die gestiegene Rechenleistung könne heute ohne Probleme Millionen Knoten berechnet werden. Das erlaubt es, heute für die Vernetzung Automatismen einzusetzen, die zwar zu grössere Knotenzahlen führen, jedoch den Anwender von der Frage einer detaillierten Qualitätsprüfung einzelner Elemente entlastet. Nach der automatischen Erstellung des Netzes durch die Software, können immer noch manuelle Eingriffe und Anpassungen erfolgen.

Bei empfindlichen Regionen, beispielweise Randregionen ist der Übergang von grober Netzstruktur zu feiner sehr wichtig. Ein schneller Übergang führt zu wenigen Elementen, allerdings kann bei kniffligen Strömungsverläufen der Gradient nicht immer korrekt abgebildet werden. Der sanftere Übergang erfordert mehr Elemente, gibt aber Sicherheit den Strömungsverlauf genauer zu berechnen. Bei Ansys wird dieser Schritt durch den **Netzgenerator ICEM-CFD** ausgeführt.

Dieses Programm erzeugt oder importiert die Form der Berandungen des Strömungsfeldes (Geometrie) sowie ein blockstrukturiertes Netz, bestehend aus Hexaedern, oder ein unstrukturiertes Netz, bestehend aus Tetraedern. Die Koordinaten der Netzpunkte sowie Informationen über die Zuordnung zueinander wird in einer Datei mit der Endung .gtm abgespeichert.

Unter der Abb. 3-3 ist eine typische Netzstruktur zu sehen.

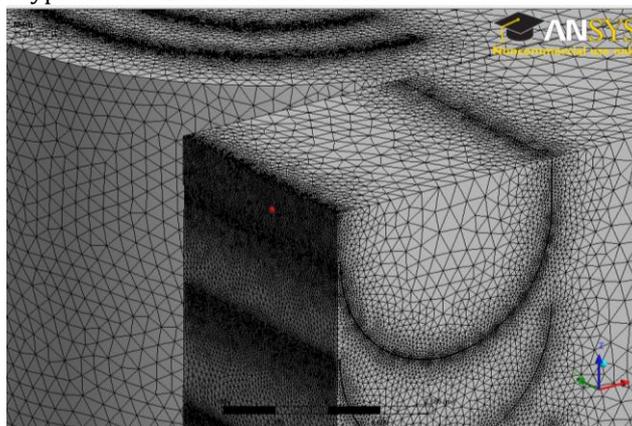


Abb. 3-3: Netzstruktur eines Entsanders beim Wassereintritt

### 3.3.2 Stationäres Modell

Damit die Rechnungen nicht zu kompliziert werden, wurde ein stationärer Durchfluss angenommen. Da sich diese Diplomarbeit auf die Entsanderanlage von Ausserberg im Baltschiedertal bezieht, wurde im Niwärch Stollen die Fliessgeschwindigkeit gemessen und mit Hilfe des Querschnittes der Wasserleitung konnte ein Durchfluss von 200 l/s gemessen werden. Dieser Durchfluss wird als stationärer Durchfluss für alle zukünftigen Berechnungen dieser Arbeit dienen.

### 3.3.3 Randbedingungen

Bei der Definition der Randbedingung sollte man deren Idealisierung beachten: Jede Randbedingung ist eine Vereinfachung für den „Rest der Welt“, der in der Berechnung durch die Randbedingung ersetzt ist. Durch diese Vereinfachung sind Ungenauigkeiten an der Randbedingung selbst eher die Regel als die Ausnahme. Ein wichtiges Hilfsmittel bei den Randbedingungen ist die Symmetrie. Die Symmetrie ermöglicht in der FEM-Simulation, statt der kompletten Struktur nur einen symmetrischen Bruchteil zu berechnen, also ein Halb-, Drittel-, Viertel-, Achtelmodell usw. Bei Ansys werden die Randbedingungen im **Preprozessor CFX-Pre** eingegeben. Hier werden die Fluide und die physikalischen Modelle (z.B. Turbulenzmodelle) sowie die Randbedingungen und Anfangsbedingungen definiert. Die numerische Behandlung, z.B. stationär oder zeitgenau, wird gewählt und numerische Parameter wie z.B. die Zeitschrittweite werden festgelegt. Diese Definitionen werden abgespeichert und zusammen mit der Geometrie an das nächste Modul in einer Datei mit der Endung .def übergeben. Folgende Randbedingungen wurden für sämtliche Berechnungen dieser Arbeit getroffen.

- Stationärer Eingangsdurchfluss von  $200 \text{ l/s} = 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$   
Eingangsquerschnitt =  $0,2 \text{ m}^2 \times \text{Normal Speed} (1 \text{ m/s}) = 0.2 \text{ m}^3/\text{s}$

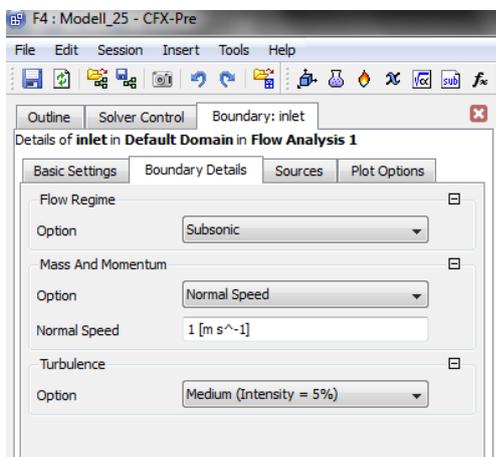


Abb. 3-5: Eingabe der Eintrittsgeschwindigkeit

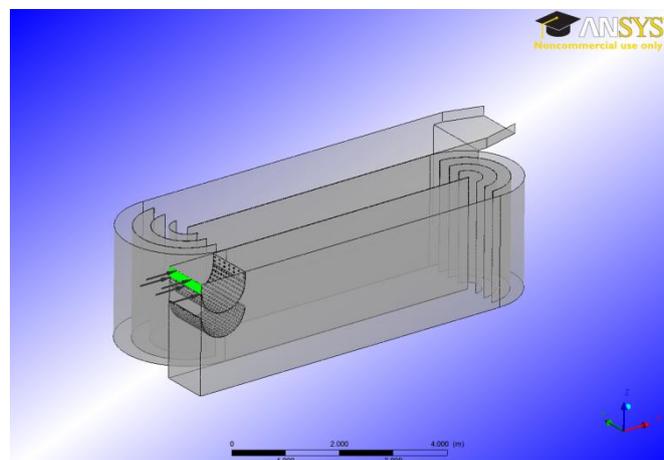


Abb. 3-4: Definition der Eintrittsfläche

- Atmosphärendruck am Ausgang (Relative pressure = 0Pa)

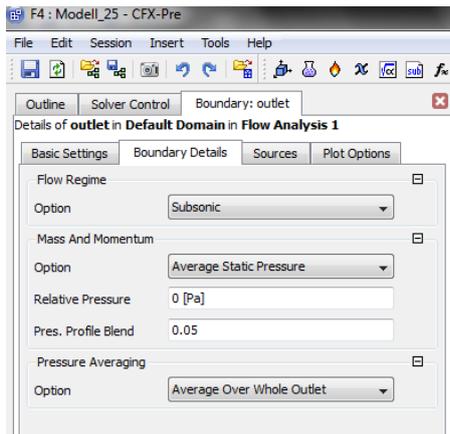


Abb. 3-7: Eingabe Ausgangsdruck

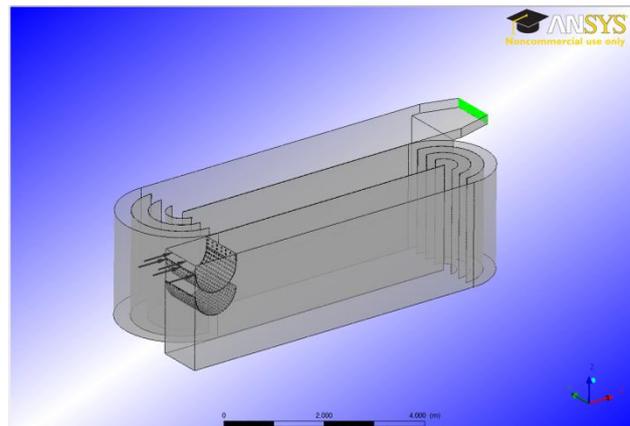


Abb. 3-6: Definition Austrittsfläche

- Symmetrie an der Oberfläche

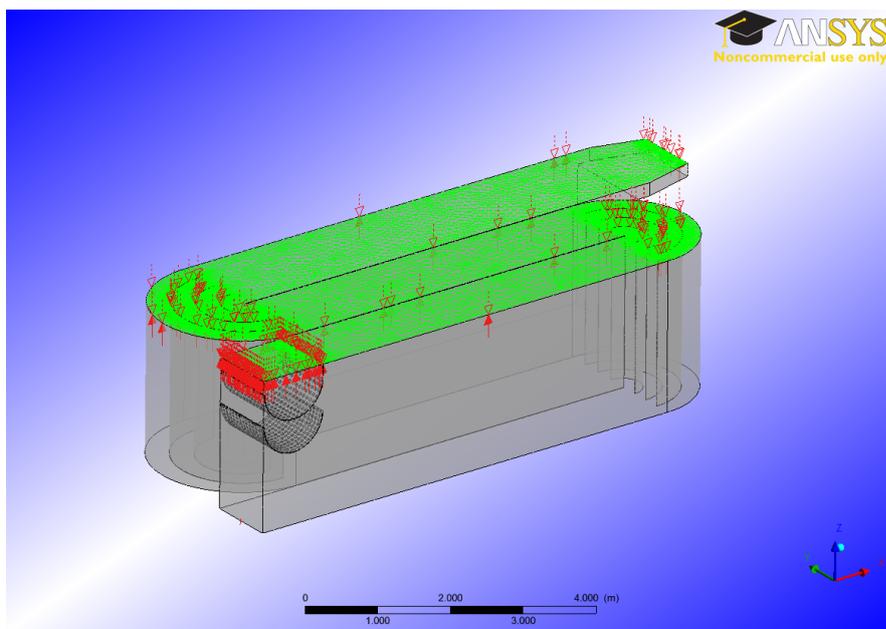


Abb. 3-8: Symmetrie auf der Oberfläche

### 3.3.4 Konvergenz

Sobald alle Parameter korrekt definiert sind, löst Ansys die Rechnungen mit Hilfe des **Rechenprogramms CFX-Solver**.

Ausgehend von der Definition des Rechenlaufes wird die räumliche und ggf. zeitliche Integration der Grundgleichungen unter den angegebenen Randbedingungen durchgeführt. Die Lösung der Gleichungen ist rechenintensiv und kann mehrere Stunden an Rechenzeit in Anspruch nehmen, wobei regelmässig eine Sicherungsdatei (.bak) abgespeichert wird. Das Fortschreiten der Rechnung kann durch Beobachtung des Residiums (stationäre Rechnung) oder der Strömungsgrössen an Monitorpunkten (instationäre Rechnung) beobachtet werden. Informationen zu jedem Zeitschritt werden in der Ausgabedatei (Endung .out) und Ergebnisse zu ausgewählten Zeitpunkten in der Ergebnisdatei mit der Endung .res gespeichert.

Anhand der Konvergenz-Kurve kann anschliessend beurteilt werden, ob die Rechnungen in Ordnung sind. Eine solche typische Konvergenzkurve zeigt die Abb. 3-9. Bei unseren Berechnungen wurden immer 1000 Iterationen durchgeführt.

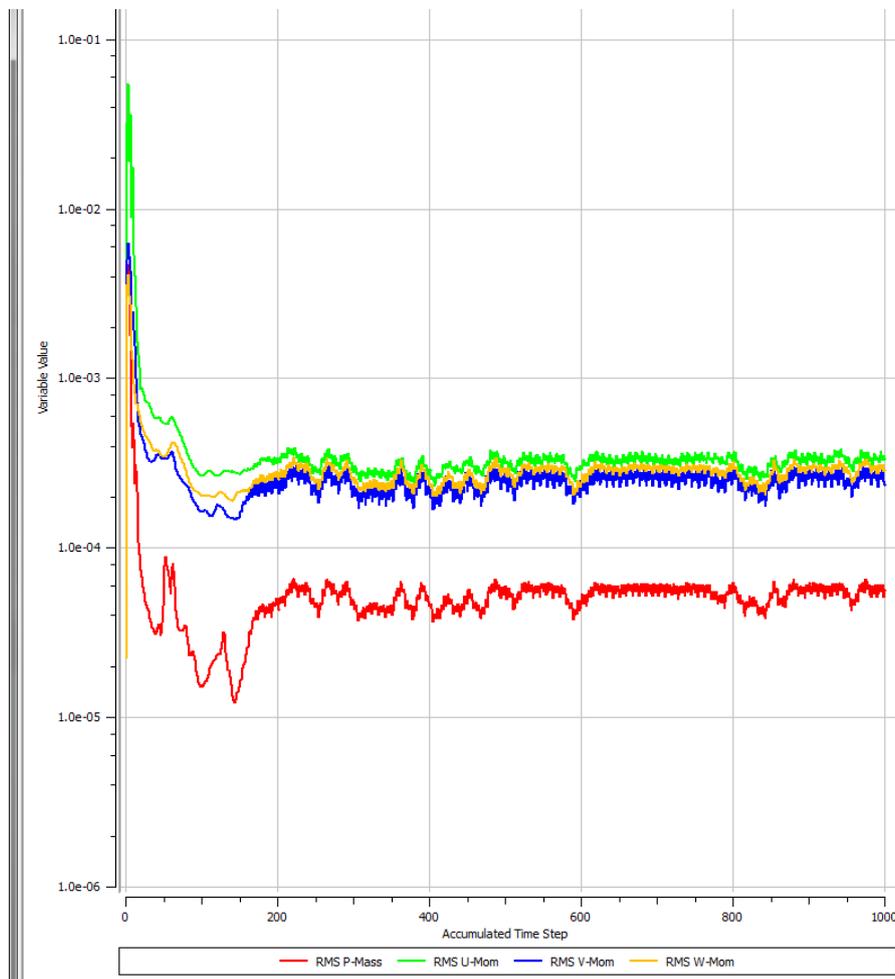


Abb. 3-9: Konvergenz einer Berechnung mit 1000 Iterationen

### 3.4 METHODE

Folgende Prozessschritte wurden für sämtliche Simulationen durchlaufen.

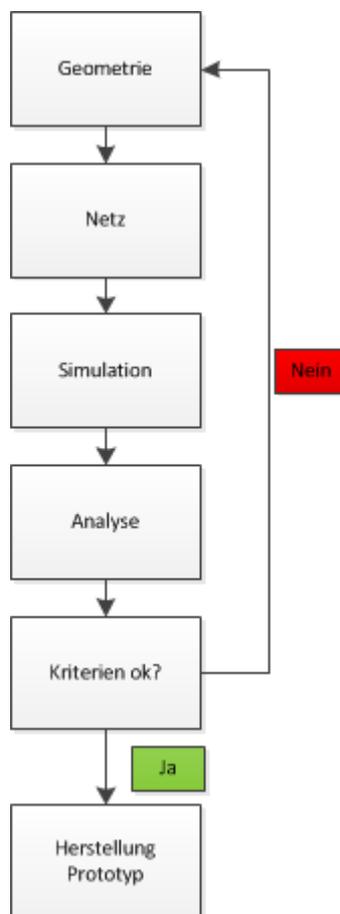


Abb. 3-10: Prozessschritte für Simulationen

Das wichtigste des ganzen Prozesses ist die Geometrie des Sandfangs. Wenn am Schluss die Strömung nicht den gewünschten Anforderungen entspricht, beginnt der ganze Prozess wieder von vorne. Die Geometrie kann jedoch nicht einfach beliebig gezeichnet werden. Im nachfolgenden Kapitel, werden ein paar grundlegende Gesetze aufgelistet, welche es möglich machen, einen Entsander korrekt zu dimensionieren.

### 3.5 HYDRAULISCHE BEMESSUNGEN

Dieses Kapitel beruht auf der Theorie des Buches Wasserbau [3]. Gegeben ist im Allgemeinen lediglich der *Bemessungsdurchfluss*  $Q$  des Beckens.

Durchfluss  $Q = 0.2 \frac{m^3}{s}$

Diese Vorgabe muss durch die Wahl eines *Bemessungskorns*  $d_B$  ergänzt werden. Alle Körner, deren Durchmesser  $d$  grösser oder gleich  $d_B$  sind, sollen sich absetzen, die kleineren jedoch nur zum Teil. Daraus folgt, dass die *Aufenthaltszeit*  $T$  des Bemessungskorns im wirksamen Raum mit seiner *Absinkzeit*  $T_{SB}$  übereinstimmen muss, d.h.

$$T = T_{SB} [s]$$

Der einfachste Rechensatz ergibt sich aus einer Mittelwertbetrachtung. Die mittlere Aufenthaltszeit  $T$  des Wassers im wirksamen Raum beträgt:

$$T = \frac{V}{Q} [s]$$

Mit

V Volumen des Sandfangs ( $V = B \cdot h \cdot L$ ) [ $m^3$ ]

Die mittlere Absinkzeit eines Bemessungskorns, das gerade an der Wasseroberfläche in den wirksamen Raum eingetragen wird und dann gleichmässig absinkt, beläuft sich auf:

$$T_{SB} = \frac{h}{w_B} [s]$$

mit

$w_B$  mittlere Sinkgeschwindigkeit des Bemessungskorns  $d_B$  im wirksamen Raum [ $m/s$ ]

Die Gleichsetzung  $T = T_{SB}$  liefert die Beziehungen:

$$\frac{B \cdot h \cdot L}{Q} = \frac{h}{w_B} [s] \text{ bzw. } \frac{L}{v} = \frac{h}{w_B} [s] \text{ bzw. } w_B = \frac{Q}{B \cdot L} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

mit

v mittlere Strömungsgeschwindigkeit im Sandfang  $v = \frac{Q}{B \cdot h}$  [ $\frac{m}{s}$ ]

B Sandfangbreite [ $m$ ]

L Sandfanglänge [ $m$ ]

h Wassertiefe [ $m$ ]

Fast noch anschaulicher ist ein Rechenansatz, der von der Situation gemäss Abb. 3-11 ausgeht. Dort sind die mittleren Absatzbahnen der Körner in Form von Geraden (gleichsam als linearisierte Partikelbahnen) angegeben.

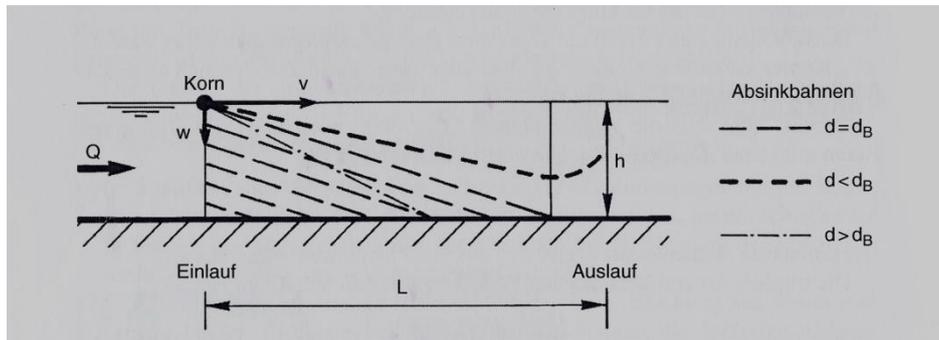


Abb. 3-11: Linearisierte mittlere Bahnkurven für verschieden grosse Körner (Quelle [3])

Aus der Bahn eines an der Wasseroberfläche befindlichen Kornes (Abb. 3-11) folgt aus einer einfachen Relation zwischen den auftretenden Geschwindigkeiten (Strömungsgeschwindigkeit  $v$  und Sinkgeschwindigkeit  $w$ ) und den Längen (Sandfänge  $L$  und Wassertiefe  $h$ ) die Bemessungsgleichung:

$$\frac{L}{v} = \frac{h}{w} [s]$$

Im Sinne der Mittelwertbetrachtung deutet (Abb. 3-11) auch an, dass sich in einem Langsandfang die größeren Körner zum grossen Teil, die kleineren Körner dagegen nur zu einem kleinen Teil absetzen. Feinstteile, wie etwa Gletscherschluff, setzten sich überhaupt nicht ab.

Es ist jedoch zu beachten, dass mit diesen vereinfachten Ansätzen ein sehr komplexes Strömungsproblem stark vereinfacht wird.

### 3.5.1 Sinkgeschwindigkeit der Körner

Die Sinkgeschwindigkeit  $w_0$  eines Kornes im ruhenden Wasser könnte eigentlich aus dem Gleichgewicht der angreifenden Kräfte bestimmt werden.

$$W = G - A$$

Woraus sich die sog. Formel von Newton oder Prandtl ableiten lässt:

$$w_0 = \left[ \frac{4}{3 \cdot C_D} \cdot g \cdot d \cdot \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \right]^{1/2} \left[ \frac{mm}{s} \right]$$

Nun ist aber die Widerstandszahl des Korns  $C_D$  im interessierenden Bereich von  $d = 0.1$  bis  $1.0$  mm stark von der Reynoldszahl des Korns  $Re_k$

$$Re_k = \frac{w_0 \cdot d}{\nu} [-]$$

Abhängig und damit von der Sinkgeschwindigkeit  $w_0$  selbst.

Die kinematische Zähigkeit  $\nu$  von reinem Wasser wird von der Temperatur beeinflusst. Die Grössenordnung von  $\nu$  zeigen die folgenden Werte:

$$\nu = 1.79 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \text{ bei } 0^\circ \text{ Celsius}$$

$$\nu = 1.31 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \text{ bei } 10^\circ \text{ Celsius}$$

$$\nu = 1.01 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \text{ bei } 20^\circ \text{ Celsius}$$

Bei  $Re_k < 0.5$ , das heisst für feine Körner von  $d < 0,08$ mm, darf  $C_D = 24/Re_k$  angenommen werden, was, in die Formel von Newton eingesetzt, zur Formel von Stokes führt:

$$w_0 = \frac{1}{18 \cdot \nu} \cdot g \cdot d^2 \cdot \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \left[ \frac{mm}{s} \right]$$

Die gängigen Werte für die Widerstandszahl  $C_D$  wurden vor allem an kugelförmigen Einzelkörnern im Wassertank bestimmt. Da wir aber in unserem Fall nicht in reinem, sondern in schmutzigem Wasser absinken, ist die Bestimmung der Sinkgeschwindigkeit sehr viel schwieriger.

### 3.5.2 Senkgeschwindigkeit mittels Zanke

Zanke [4] schlägt für die Berechnung der Sinkgeschwindigkeit eine empirische Formel vor. Diese lautet für Sandkörner mit  $(\rho_s/\rho - 1) = 1.65$  und Wasser von  $20^\circ$  Celsius:

$$w_0 = \frac{100}{9 \cdot d} \cdot \left[ (1 + 1.57 \cdot 10^2 \cdot d^3)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] \left[ \frac{mm}{s} \right]$$

mit

$w_0$  Sinkgeschwindigkeit eines Korns in ruhendem Wasser [mm/s]  
 $d$  Korndurchmesser [mm]

Die zugehörige Kurve zeigt Abb. 3-12.

Im fliessenden Wasser ist die Sinkgeschwindigkeit infolge der grösseren Turbulenz geringer oder gar Null (was ja der Grund für den Schwebstofftransport ist). Diese Abminderung wird näherungsweise mit dem Ansatz

$$w = w_0 - \alpha \cdot v \geq 0 \left[ \frac{mm}{s} \right]$$

mit

$w$  Sinkgeschwindigkeit des korns im fliessenden Wasser [mm/s]  
 $v$  mittlere horizontale Fliessgeschwindigkeit [mm/s]  
 $\alpha$  Abminderungsfaktor [-]

erfasst. Nach Mosonyi kann der Abminderungsfaktor mit  $\alpha = 0.132/h^{1/2}$  abgeschätzt werden, wobei die Wassertiefe  $h$  in m eingesetzt wird.

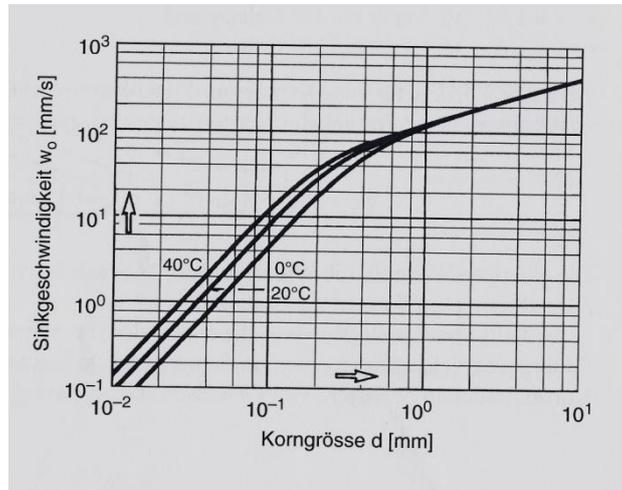


Abb. 3-12: Abhängigkeit der Sinkgeschwindigkeit  $w_0$  vom Korndurchmesser  $d$  und der kinematischen Zähigkeit  $\nu$  (Quelle [3]).

### 3.5.3 Grenzgeschwindigkeit im Sandfang

Damit sich die Körner absetzen, muss  $w > 0$  sein. Sobald die Körner aber den Sandfangboden erreichen, werden sie dort ggf. als Geschiebe weiter befördert. Möglicherweise führt die vorhandene Turbulenz aber auch dazu, dass die Materialien wieder in Suspension übergehen und in Form von Schwebstoff transportiert werden.

Soll dies nicht geschehen, darf die Fließgeschwindigkeit  $v$  im Sandfang die Grenzgeschwindigkeit  $v_{Gr}$  nicht überschreiten.

### 3.5.4 Bemessung des Absetzbeckens

Aus der mittleren horizontalen Fließgeschwindigkeit  $v$  und dem Bemessungsdurchfluss  $Q_B$  ergibt sich der erforderliche Durchströmungsquerschnitt im wirksamen Raum zu:

$$A = \frac{Q}{v} [m^2]$$

Die grösste Beckentiefe und damit auch die Höhe  $h$  des wirksamen Raums sind aus topografischen Gründen (u.a. Ausmündung des Spülkanals ins Unterwasser) meistens vorgegeben.

Die Beckenbreite wird somit  $B = A/h$  und sollte nicht grösser als  $1/8$  der Beckenlänge  $L$  gemäss

$$L = h \cdot \frac{v}{w} [m]$$

sein, um eine gleichmässige Durchströmung zu gewährleisten. Bei grossen Durchflüssen werden darum oft mehrere parallele Becken kleinerer Breite gebaut.

### 3.6 DIMENSIONIERUNG ENTSANDER

Das Hauptkriterium zur Dimensionierung ist der Durchfluss. Dieser wurde vor Ort gemessen.

$$Q = 200 \frac{l}{s} = 0.2 \frac{m^3}{s}$$

Anschliessend wurde der gewünschte Querschnitt auf

$$H = 2.5 \text{ m}$$

$$B = 2.5 \text{ m}$$

festgelegt.

Anschliessend wurde mittels des Gesetzes von Zanke [4] die Senkgeschwindigkeit der Körner im ruhenden Wasser bestimmt. (Abb. 3-13)

$$w_0 = \frac{100}{9 \cdot d} \cdot \left[ (1 + 1.57 \cdot 10^2 \cdot d^3)^{\frac{1}{2}} - 1 \right]$$

Da aber im fliessenden Gewässer die Sinkgeschwindigkeit infolge der grösseren Turbulenzen geringer oder gar Null ist, muss die Gleichung korrigiert werden.

$$w_B = w_0 - \alpha \cdot v \geq 0 \left[ \frac{mm}{s} \right]$$

Die mittlere Durchströmungsgeschwindigkeit wird durch die folgende Beziehung gegeben:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0.2 \text{ m}^3/s}{2.5 \text{ m} \cdot 2.5 \text{ m}} = 0.032 \frac{m}{s} = 32 \frac{mm}{s}$$

Der Abminderungsfaktor  $\alpha$  wird folgendermassen berechnet:

$$\alpha = \frac{0.132}{\sqrt{H}} = \frac{0.132}{\sqrt{2.5}} = 0.083$$

Somit kann anschliessend die Sinkgeschwindigkeit der Kornen in fliessendem Wasser berechnet werden, welche ebenfalls in der Abb. 3-13 zu sehen ist.

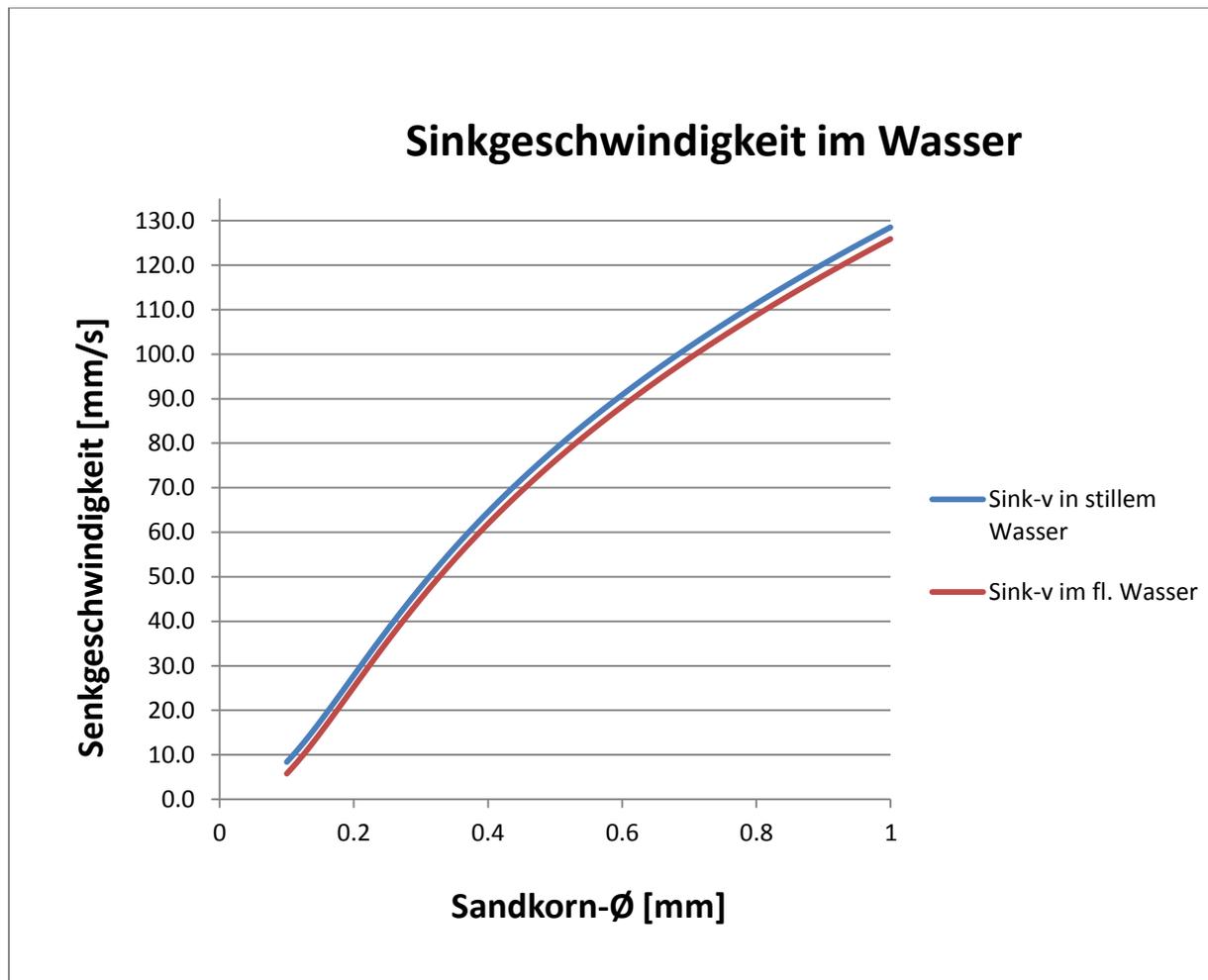


Abb. 3-13: Senkgeschwindigkeiten im Wasser in Funktion des Korndurchmessers

Die Eingabe der Parameter sowie die genauen Werte (Excel-Tabelle) dieses Grafen können unter dem Anhang 12.2 nachgesehen werden.

## 4 RESULTATE

Nachdem die Hauptbemessungen des Entsanders getroffen wurden (Kapitel 3.6), wurde immer nach dem Schema Abb. 3-10 vorgegangen. Eine Geometrie wurde mit Hilfe der Software Inventor gezeichnet, anschliessend ins Rechnungsprogramm ANSYS eingefügt und gelöst. Die Resultate wurden analysiert und flossen direkt in die Geometrieänderung ein. Die Entsander wurden fortlaufen mit A.. für ein Becken/Entsander, sowie B.. für mehrre Becken/Entsander nummeriert.

### 4.1 ENTSANDER A1

Anhand der Senkgeschwindigkeiten der Sandkörner welche unter dem Kapitel 3.5.2 bestimmt wurden, wurde nun eine erste Geometrie gezeichnet. Die Löcher im Gitter besitzen einen Durchmesser von 60 mm.

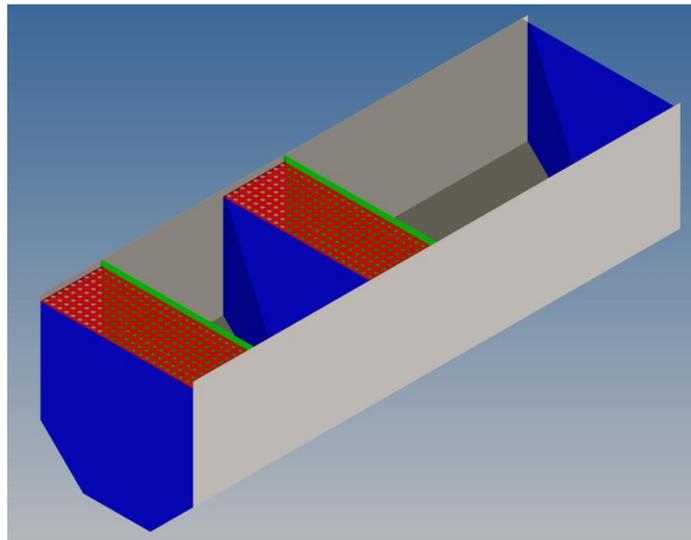


Abb. 4-1: Entsander Geometrie 1

Auf der folgenden Abb. 4-2 sind die theoretischen Fließgeschwindigkeiten des Wassers zu sehen. Diese wurden anhand des Durchflusses und des Querschnitts berechnet.

$$v = \frac{Q}{A} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

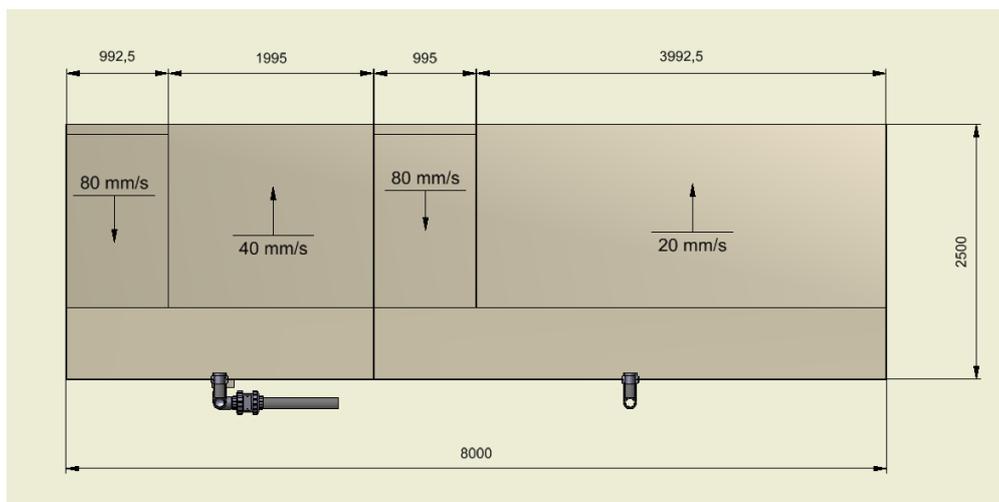


Abb. 4-2: Theoretische Wassergeschwindigkeit

Nachdem man die theoretischen Fließgeschwindigkeiten im Wasser kennt, kann die Senkgeschwindigkeit die mittels Zanke unter dem Kapitel 3.5.2 bestimmt wurde, abgezogen werden. Somit kann gesagt werden, dass sich im ersten Becken Körner welche  $\geq 0.3\text{mm}$  und im 2. Becken Körner  $\geq 0.2\text{mm}$  absetzen.

### Simulation

Anschließend wurde die Geometrie in Ansys übernommen, die Vernetzung und die Randbedingungen eingegeben und simuliert.

Anzahl Knoten: 2'294'736  
Anzahl Elemente: 12'465'175

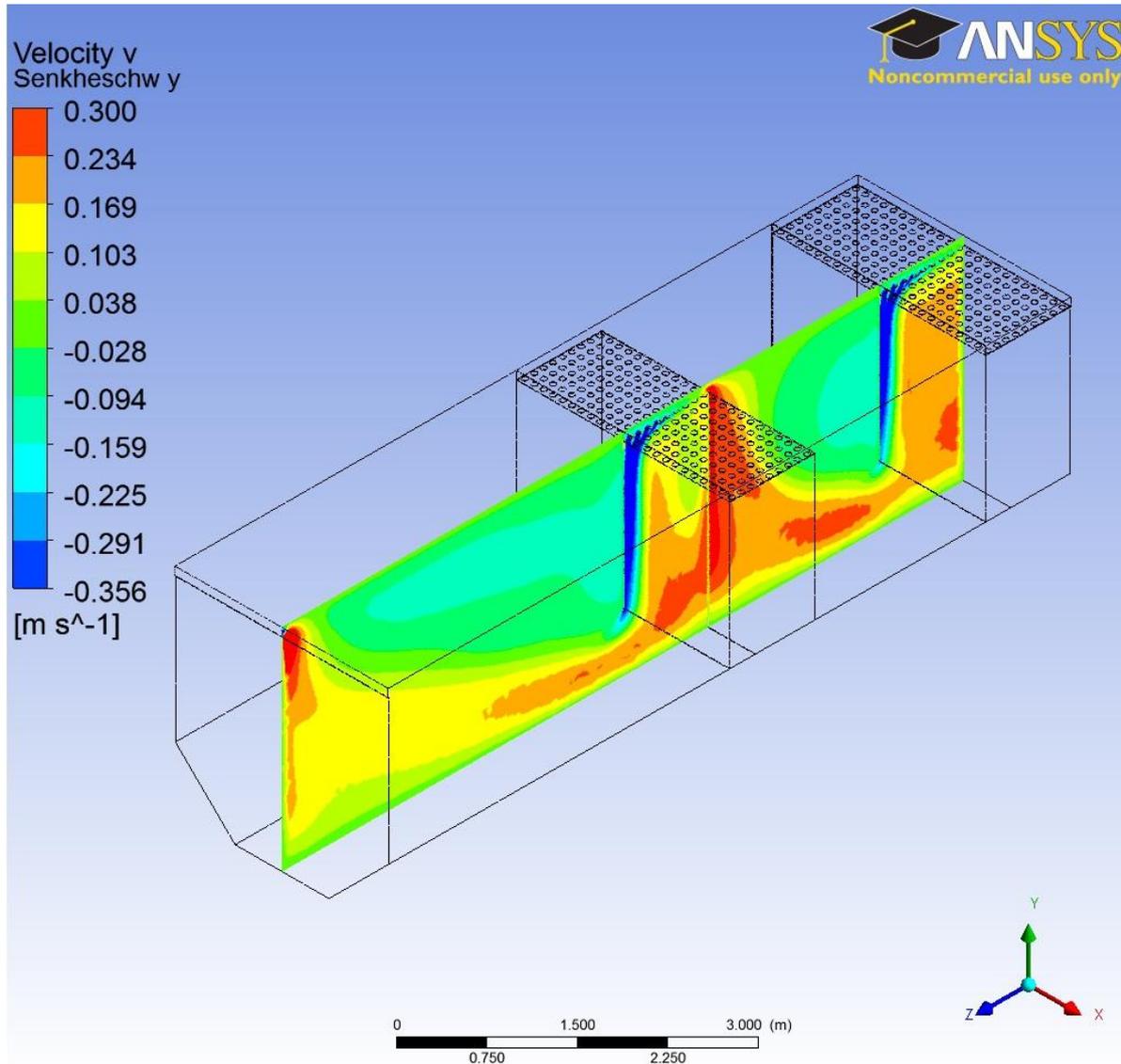


Abb. 4-3: Senk- und Steiggeschwindigkeit im Entsandermodell A1

Auf der Abb. 4-3 ist gut zu sehen, dass die Wirklichkeit nicht mit der Theorie übereinstimmt. Bei den theoretischen Betrachtungen haben wir Senkgeschwindigkeiten von 80 mm/s erhalten. Bei den Simulationen in Ansys gehen diese bis zu 350 mm/s. Dies lässt sich durch diverse Verwirbelungen sehen welche auf der Abb. 4-4 zu sehen sind. Dasselbe Phänomen tritt bei den Steiggeschwindigkeiten auf.

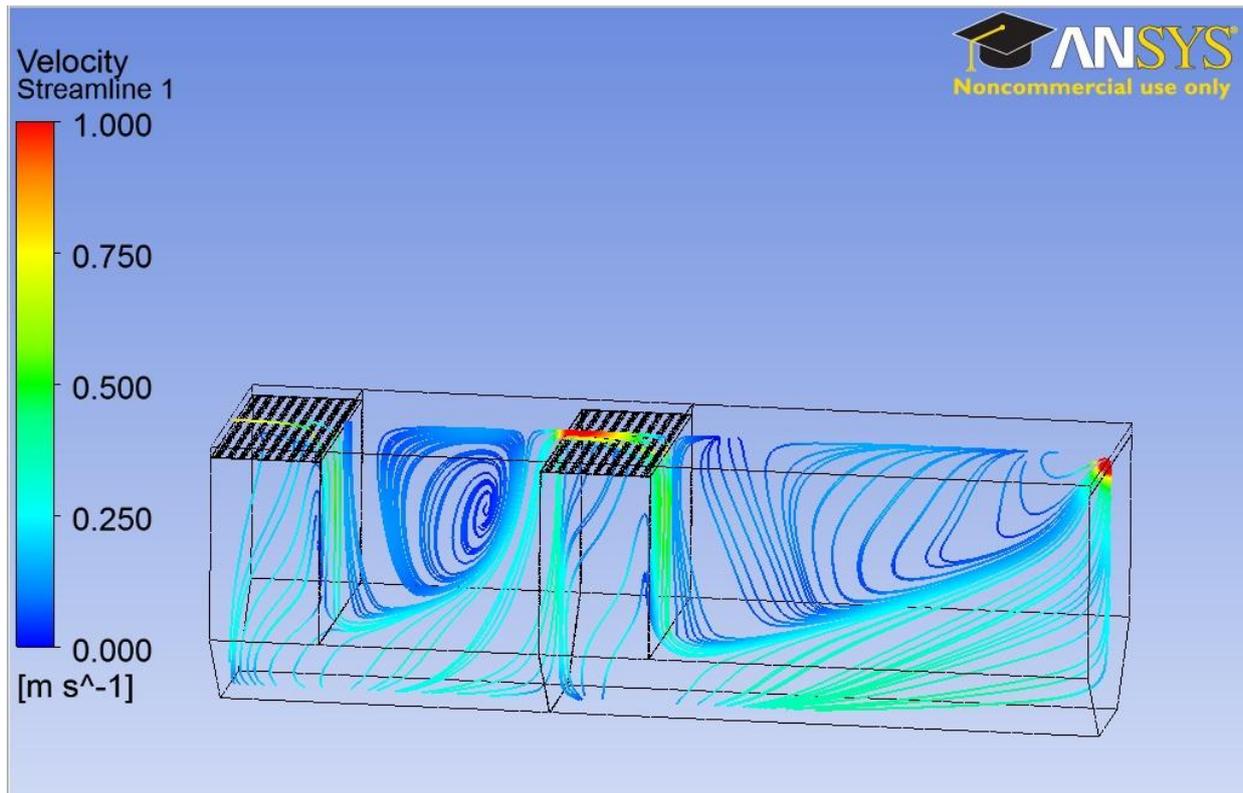


Abb. 4-4: Verwirbelungen im Becken

Die Verwirbelungen welche auf der Abb. 4-4 zu sehen sind, erklären dass die Senkgeschwindigkeiten grösser sind als jene der theoretischen Betrachtungen. Durch die Verwirbelungen kann nicht mehr der volle Querschnitt benutzt werden, um die Wassermenge nach oben respektive unten zu bringen. Der Querschnitt wird somit kleiner, der Durchfluss bleibt jedoch konstant also steigt die Senk- und die Steiggeschwindigkeit des Wassers.

#### Fazit der Geometrie

Die Aufteilung der Beckengrösse ist eine gute Lösung. Es treten jedoch noch viele Verwirbelungen in den einzelnen Kammern auf. Bei einem nächsten Modell muss versucht werden, diese Verwirbelungen zu zerstören.

## 4.2 ENTSANDER A2

Die Geometrie wurde vom Entsander A1 übernommen. Es wurde lediglich der Durchmesser im Gitter von 60 mm auf 120 mm vergrössert. Am Ausgang des Entsanders wurde noch eine Verlängerung hinzugefügt, damit die Rechnungen vom Programm korrekt ausgeführt werden.

#### Simulation

Anzahl Knoten: 1'825'975  
Anzahl Elemente: 9'811'875

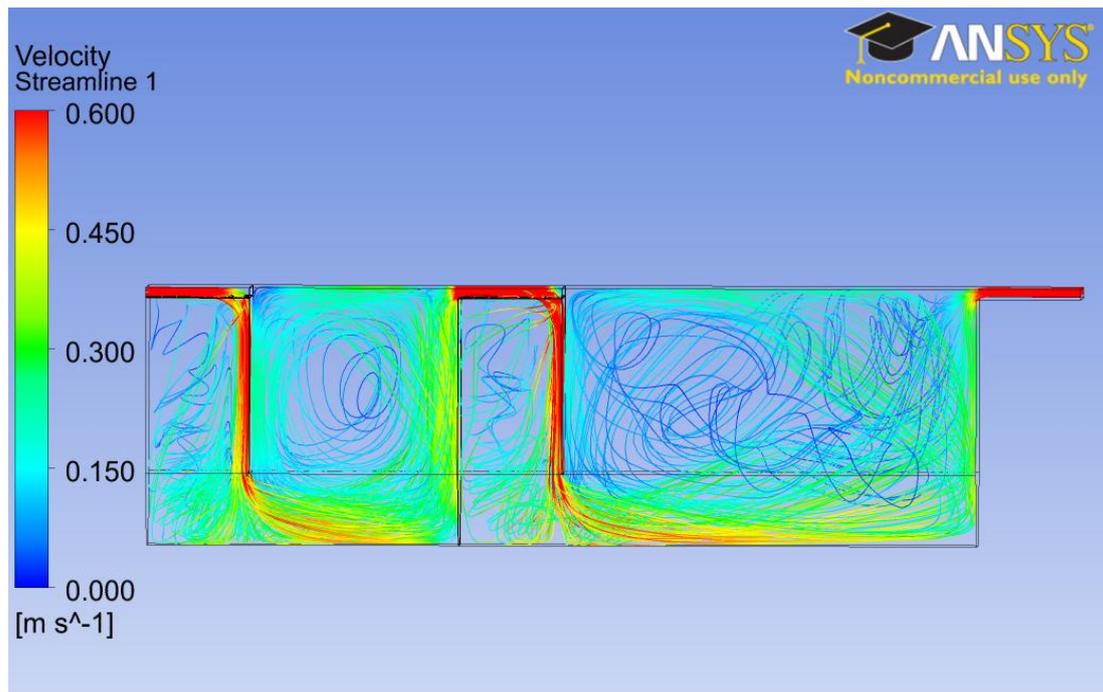


Abb. 4-5: Strömungslinien vom Modell A2

Anhand der Abb. 4-5 ist gut zu sehen, dass auch durch eine Vergrößerung der Löcher auf einen Durchmesser von 120mm das Wasser nicht in die ersten Löcher des Bleches einfließt. Es ist jedoch ein klein wenig besser als beim ersten Modell. Die Verwirbelungen sind auch noch vorhanden.

### 4.3 ENTSANDER A3

Beim Modell A3 wurden 2 wesentliche Änderungen vorgenommen. Als erstes wurde bei den Lochblechen senkrecht zur Bohrung 90 ° Winkel angeschweisst (Abb. 4-6). Diese sollen das Fluid besser in die Löcher führen, damit der Durchfluss gleichmässig auf die einzelnen Bohrungen verteilt wird.

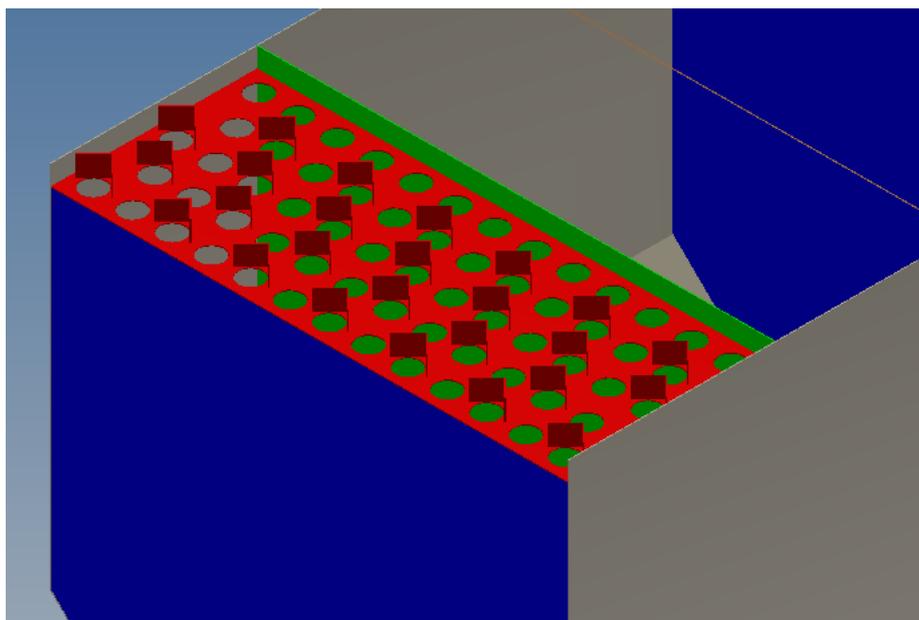


Abb. 4-6: Eingangsblech mit aufgeschweissten 90°-Winkeln

Des Weiteren wurden Bleche in die Kammern eingeschweisst, welche die Verwirbelungen brechen sollen (Abb. 4-7). Diese wurden in verschiedenen Lagen und Winkeln eingebaut, um heraus zu finden welche Lage am wirkvollsten ist.

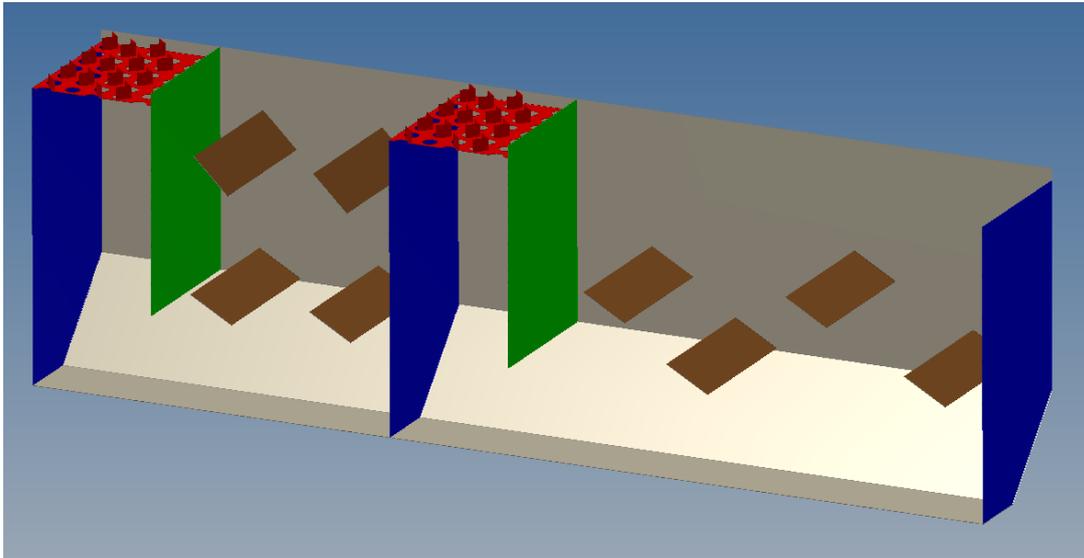


Abb. 4-7: Kammer-Entsander mit Verwirbelungsbrecher-Blechen

### Simulation

Anzahl Knoten: 6'915'012  
Anzahl Elemente: 37'787'673

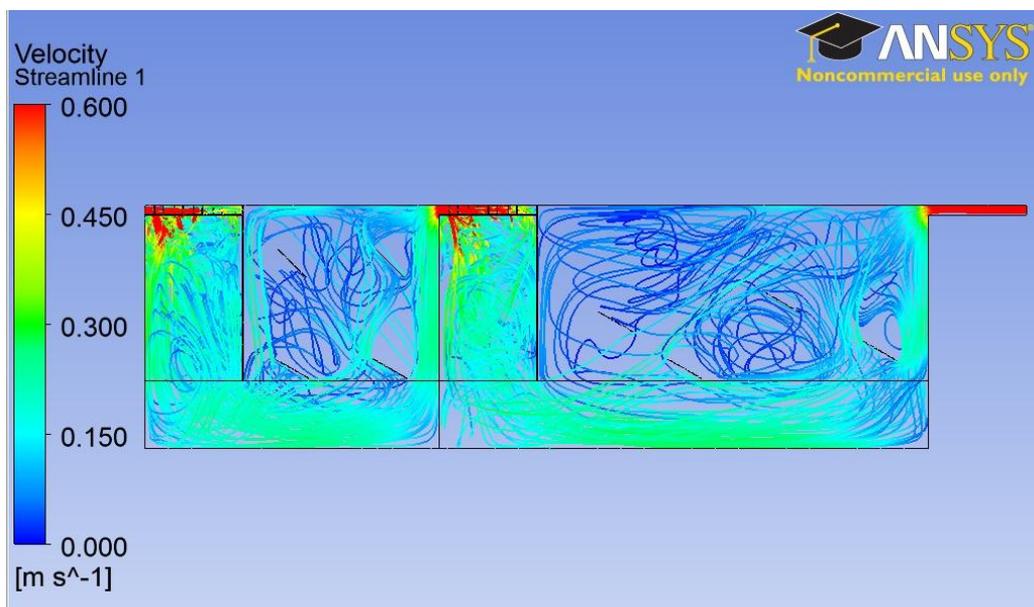


Abb. 4-8: Strömungslinien des Entsanders

Wie auf der Abb. 4-8 deutlich zu sehen ist, wird durch das verbesserte Lochblech mit den angeschweissten Winkeln das Senkverhalten des Wassers stark verbessert. Die Strömungslinien sind im Senkbereich schön gleichmässig verteilt. Eine weitere Verbesserung wäre die Anpassung der Winkelhöhe. Bei diesem Modell sind alle Winkel gleich hoch. Es wäre wahrscheinlich besser, ein stetes Ansteigen der Winkelhöhe zu haben, somit würde der Durchfluss noch besser verteilt.

Anhand der Strömungslinien ist auch zu sehen, dass wir eine sehr hohe Fließgeschwindigkeit von bis zu 0.3m/s am Beckenboden haben. Dies ist sehr schlecht, da sich somit das Sand nie absetzen würde.

Anhand dieser Erkenntnis muss die ganze Geometrie in Frage gestellt werden. Beim nächsten Modell wird versucht das Führungsblech beim Senkbecken ein bisschen abzuschneiden. Somit wird der Querschnitt unten vergrössert und die Fliessgeschwindigkeit sollte kleiner werden. Sollte dieser Eingriff ebenfalls nicht zu den gewünschten Ergebnissen führen, muss eine Geometrieänderung erfolgen.

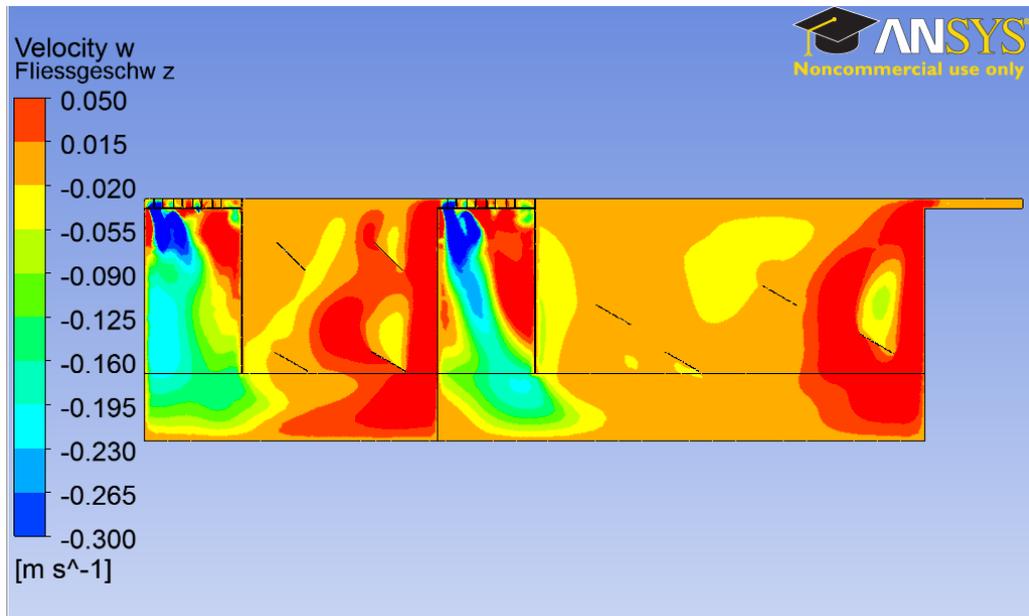


Abb. 4-9: Senk-Steiggeschwindigkeit

Auf der Abb. 4-16 ist die Senk- und Steiggeschwindigkeit zu sehen. Im 2. Becken werden in der Mitte Steiggeschwindigkeiten von 15mm/s erreicht, was unseren Erwartungen entsprechen würde. Somit würde sich Sand mit einem Bemessungskorndurchmesser von 0.2 mm absetzen. Unter Betracht der nächsten Abb. 4-10, die die Fliessgeschwindigkeit in x-Richtung (horizontal) zeigt, kommen wir zur selben Schlussfolgerung welche bereits durch die Strömungslinien festgestellt wurde.

Die Sandkörner setzen sich in den einzelnen Becken von der Oberfläche bis zum Boden ab, jedoch ist die Strömung am Boden zu stark und die Sandkörner werden mitgerissen.

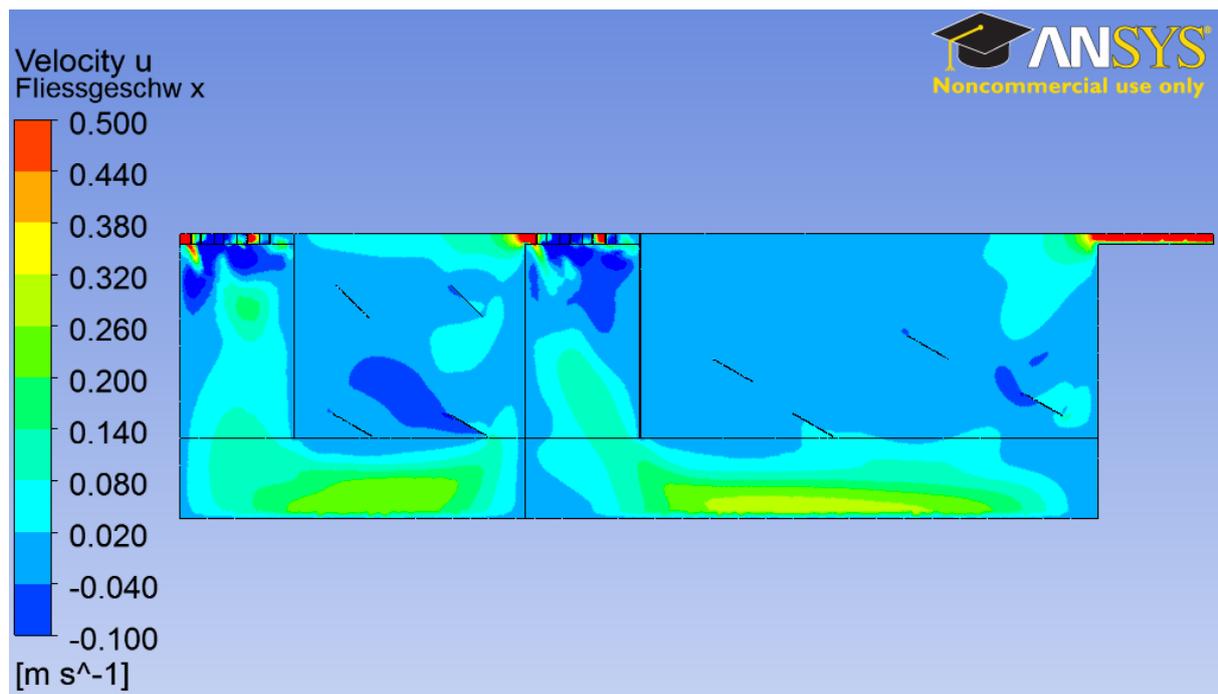


Abb. 4-10: Fliessgeschwindigkeit in x-Richtung

#### 4.4 ENTSANDER A4

Auf der folgenden Abbildung ist das verbesserte Entsandermodell des Modells A3 zu sehen. Die Höhe der Winkel im Einlaufblech wurde angepasst. Die Höhe des Winkels in der ersten Lochreihe misst nur noch 20 mm bis hin zu jener in der letzten Reihe welche 100mm hoch sind. Die wesentliche Änderung ist jedoch die Verkürzung der grünen Bleche. Mittels dieser Änderung erfolgt ein grösserer Querschnitt in der Übergangszone vom Senk- zum Steigbereich. Somit sollte eine kleinere horizontale Fliessgeschwindigkeit erreicht werden und die Sandkörner sollten sich absetzen können. Der Rest der Geometrie wurde von den Vorgängermodellen gleichbehalten.

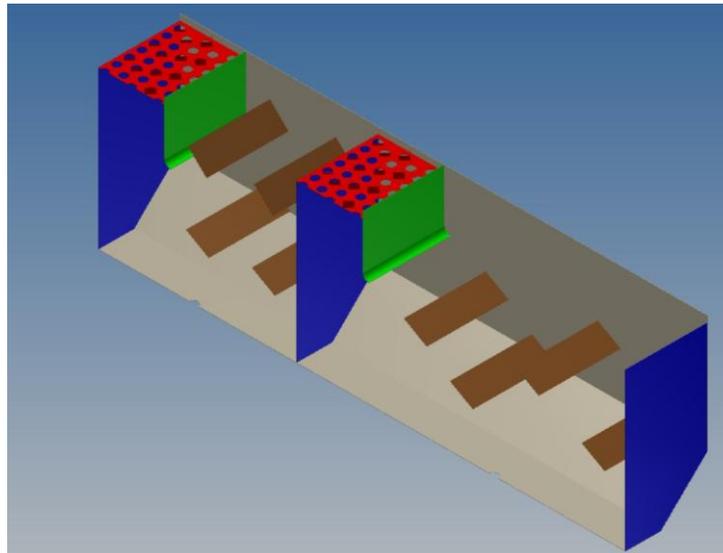


Abb. 4-11: Entsandermodell 4

##### Simulation

Anzahl Knoten: 6'264'982  
Anzahl Elemente: 33'554'055

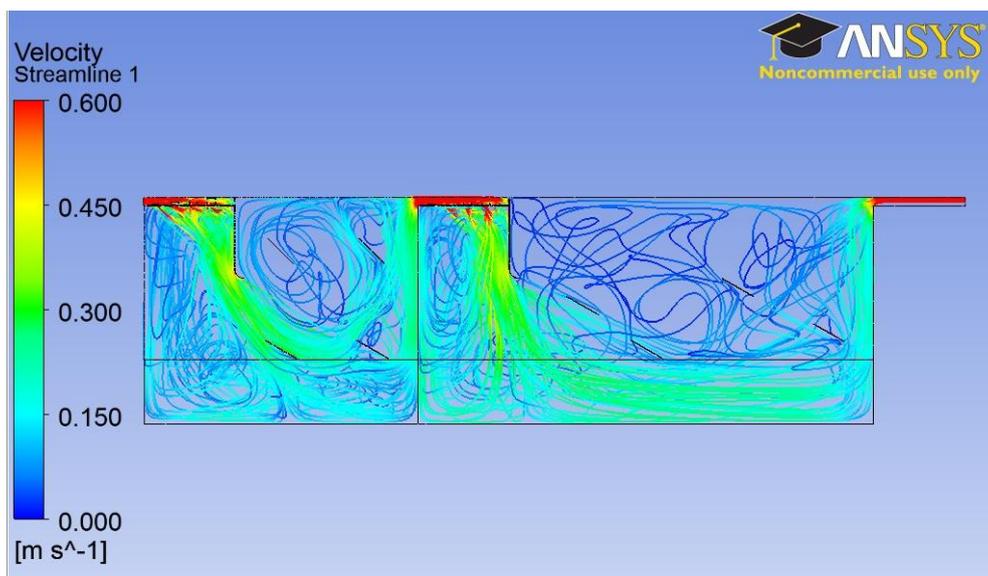


Abb. 4-12: Strömungslinien des Modells A4

Mit der Verkürzung der Leitbleche wurde erreicht, dass die Strömung am Beckenboden kleiner wird. Jedoch geht der Hauptfluss des Fluides jetzt schon auf halber Beckenhöhe in die Steigzone hinüber und im unteren Bereich haben wir stilles Wasser. Der Sand wird sich auch bei diesem Modell nicht absetzen

können, weil er durch den Hauptfluss, der eine grosse Geschwindigkeit von bis zu 0.3 m/s besitzt, mitgezogen wird. Des Weiteren wurden durch die Verkürzung der Führungsbleche Verwirbelungen in der linken Senkzone in beiden Becken hinzugefügt. Diese wirken sich auch negativ auf die Absetzung des Sandes aus.

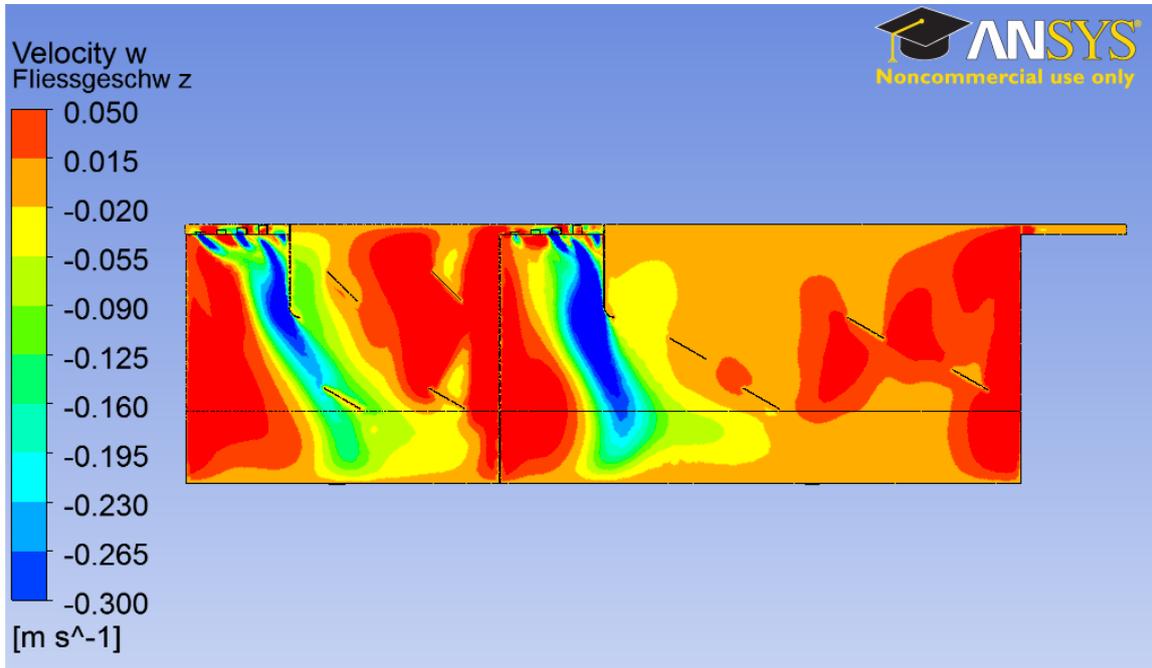


Abb. 4-13: Senk-Steigggeschwindigkeit des Modelles A4

Auch bei den Senk und Steigggeschwindigkeiten ist ersichtlich, dass durch die Verkürzung der Führungsbleche das System gegenüber Modell A3 eher verschlechtert als verbessert wurde. Die Verkürzung der Führungsbleche führt zu Verwirbelungen in der Senkzone, diese führen wiederum zu höheren Geschwindigkeiten und das Sand wird sich nicht absetzen.

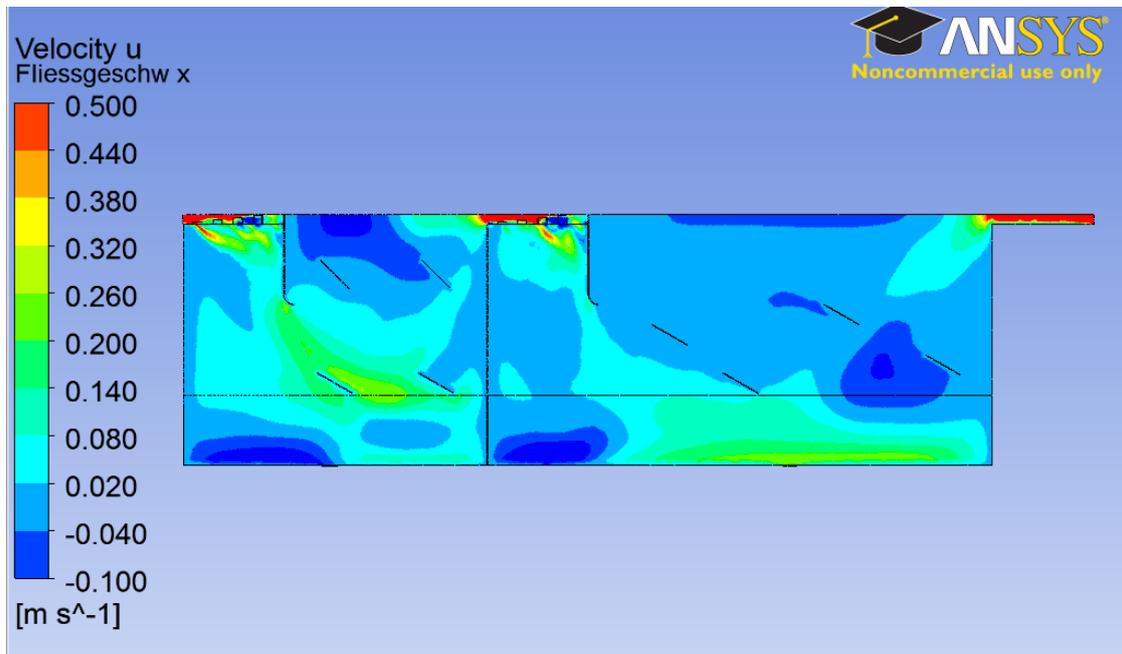


Abb. 4-14: Horizontale Fließgeschwindigkeiten des Modells A4

Bei der horizontalen Fliessgeschwindigkeit des Modells A4 treten negative Geschwindigkeiten auf. Diese sind auf die Verwirbelungen zurück zu führen. Alles in allem kann gesagt werden, dass das Modell A4 schlechter arbeitet als das Modell A3. Somit wird es kaum möglich sein, mit diesem System feiner Sand von einer Grössenordnung um die 0,2mm absetzen zu können.

#### 4.5 ENTSANDER B0

Da es bei den vorangehenden Modellen kaum möglich war den feinen Sand abzusetzen, musste eine andere Geometrie konstruiert werden.

Bei diesem Modell wurde eine komplett andere Geometrie des Entsandersystems angestrebt. Anstatt das Wasser wie bei den vorangegangenen Systemen durch mehrere Kammern zu leiten, bei welchem das Wasser die einzelnen Kammern vertikal durchqueren muss, besteht dieses System im Prinzip aus einer einzigen Kammer welche jedoch verschiedene Querschnitte besitzt. Das Fluid muss 3-mal die Beckenlänge durchfliessen. Der Querschnitt wird gegen Ende hin grösser. Genauer gesagt besitzt die erste Beckenlänge eine Breite von einem Meter, die mittlere 1,2 Meter und die letzte ist sogar 1,4m Breit. Somit sollte das Fluid gegen den Schluss hin langsamer fließen und auch das kleinere Sand sollte sich absetzen.

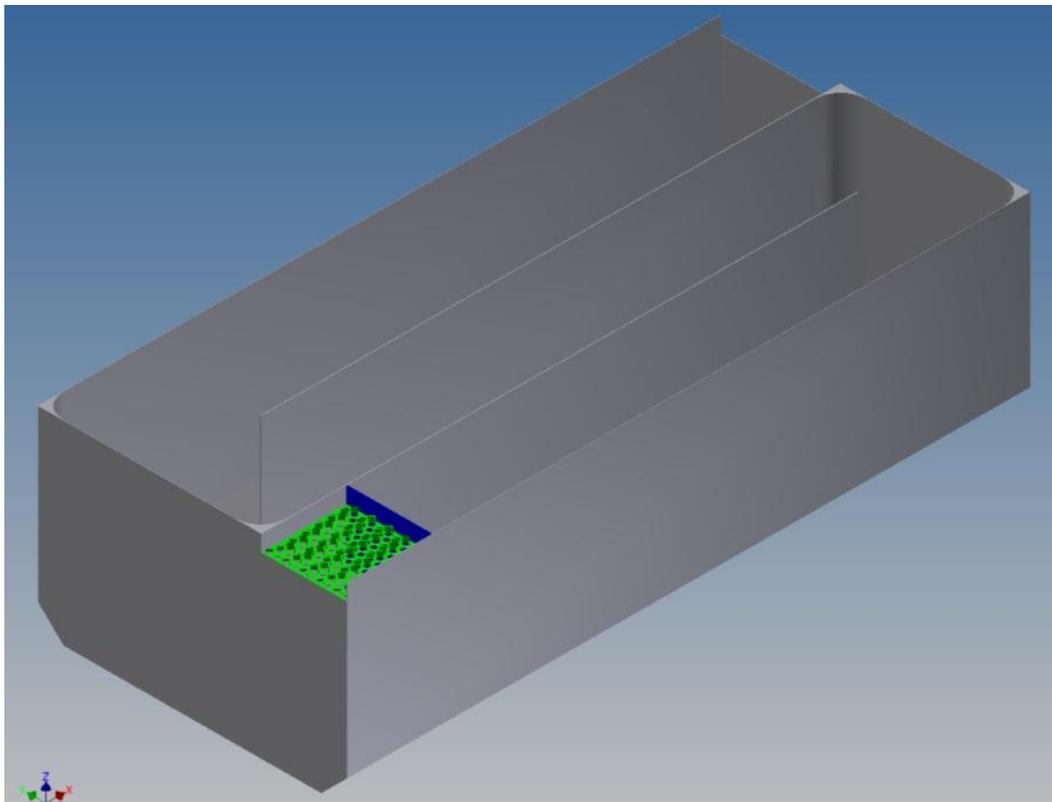


Abb. 4-15: Entsandermodell B0

Das Eintrittsblech des Entsander wurde von der Geometrie A4 übernommen.

Auf der folgenden Abbildung sind die Dimensionen des Sandfangs zu sehen.

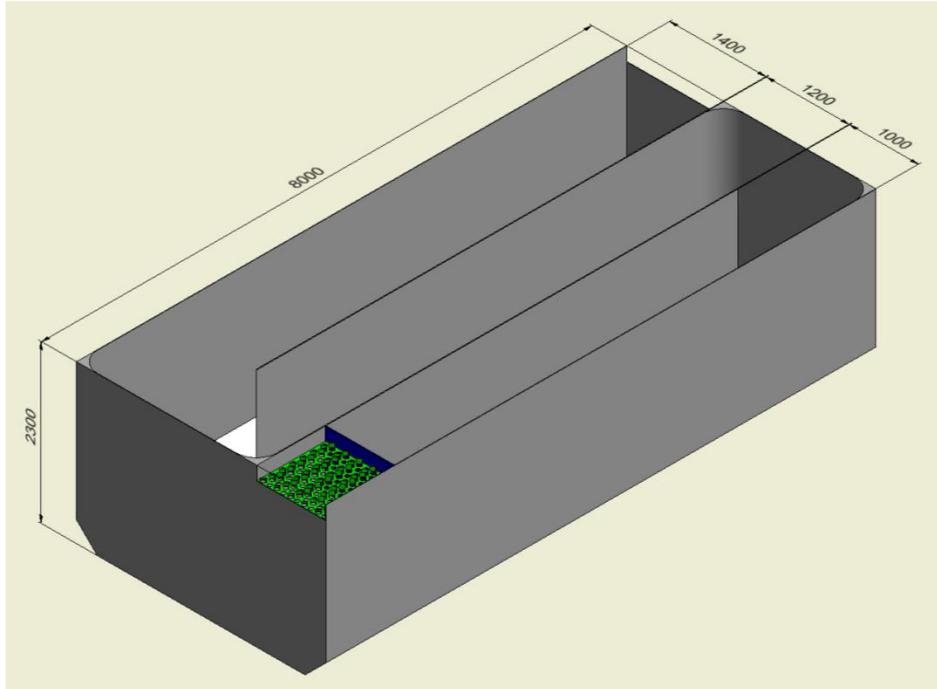


Abb. 4-16: Dimensionen des Entsandermodells B0

### Theoretische Betrachtungen Entsander B0

Anhand der Breite der verschiedenen Abschnitte, der Beckenhöhe und des Durchflusses kann die mittlere horizontale Fließgeschwindigkeit  $v$  berechnet werden. Anschliessend kann mittels der Formeln von Zanke, welche bereits im Kapitel 3.5.2 erläutert wurden, die Sinkgeschwindigkeit des Korns im stillen ( $w_0$ ) respektive im fließendem Wasser ( $w_B$ ) berechnet werden.

Es wurden folgende Annahmen gemacht:

Durchfluss	$Q =$	$0.2 \text{ m}^3/\text{s}$
Beckenhöhe	$H =$	$2.2 \text{ m}$

Anschliessend wurde die mittlere horizontale Fließgeschwindigkeit wie folgt berechnet:

$$v = \frac{Q}{A} \left[ \frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

Der Abminderungsfaktor  $\alpha$  ist gegeben durch:

$$\alpha = \frac{0.132}{\sqrt{h}} [-]$$

Die Berechnung der Sinkgeschwindigkeit eines Korns  $w_0$  wurde bereits im Kapitel 3.5.1 gezeigt. Wir nehmen an, dass sich alle Körner  $>0.2 \text{ mm}$  absetzen sollten. Das heisst:

$$w_0 = 28 \left[ \frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

Anschliessend kann mittels des Abminderungsfaktors  $\alpha$  und der mittleren horizontalen Fließgeschwindigkeit  $w_B$  berechnet werden.

$$w_B = w_0 - \alpha \cdot v \left[ \frac{\text{mm}}{\text{s}} \right]$$

Die Resultate der 3 verschiedenen Abschnitte sind unter der Abb. 4-17 zu sehen.

Abschnitt	Breite [m]	Höhe[m]	Querschnitt A [m <sup>2</sup> ]	V [mm/s]	α [-]	w <sub>0</sub> [mm/s]	w <sub>B</sub> [mm/s]
1	1	2.2	2.2	91	0.089	28	20
2	1.2	2.2	2.64	76	0.089	28	21
3	1.4	2.2	3.08	65	0.089	28	22

Abb. 4-17: Senkgeschwindigkeiten für Sandkörner > 0.2mm

Anhand der Sinkgeschwindigkeit w<sub>B</sub> im bewegten Wasser, kann nun berechnet werden, welche Länge der Entsander aufweisen muss, damit sich die Sandkörner absetzen können.

Aus der Bemessungsformel für den Sandfang:

$$\frac{L}{v} = \frac{h}{w_B}$$

oder

$$L = \frac{h \cdot v}{w_B}$$

Unter der Annahme, dass das gesamte Becken eine Breite von einem Meter hätte, würde der Sand >0.2mm eine Beckenlänge von :

$$L = \frac{2.2 \cdot 0.091}{0.02} = 10 \text{ m}$$

benötigen, um sich abzusetzen.

Da unser Modell eine Beckenlänge von 3 · 8m hat und die Geschwindigkeiten in der mittleren und letzten Kammer noch kleiner sind sollte sich der Sand theoretisch gut absetzen können.

**Simulation**

Anzahl Knoten: 1'536'791  
 Anzahl Elemente: 8'632'429

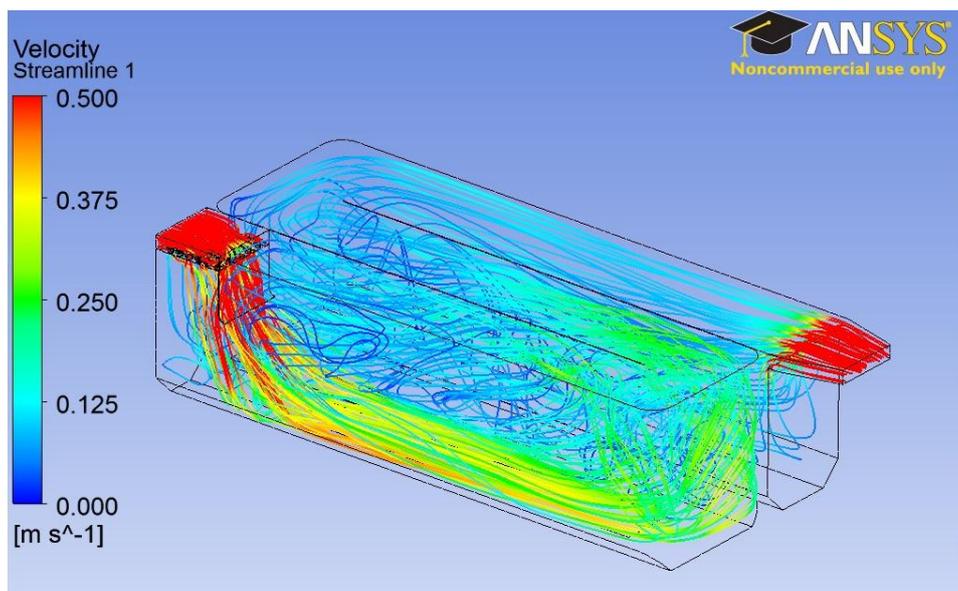


Abb. 4-18: Strömungslinien am Eingang des Entsandermodells B0

Anhand der Abb. 4-18 kann gesagt werden, dass der Wassereintritt nicht optimal ist. Das meiste Wasser wird auf den Beckenboden gedrückt und stark beschleunigt. Es muss versucht werden, beim nächsten Modell das Fluid so schnell wie möglich auf dem gesamten Querschnitt homogen zu verteilen. Nach der ersten Richtungsänderung verteilt sich das Fluid schön regelmässig auf den gesamten Querschnitt.

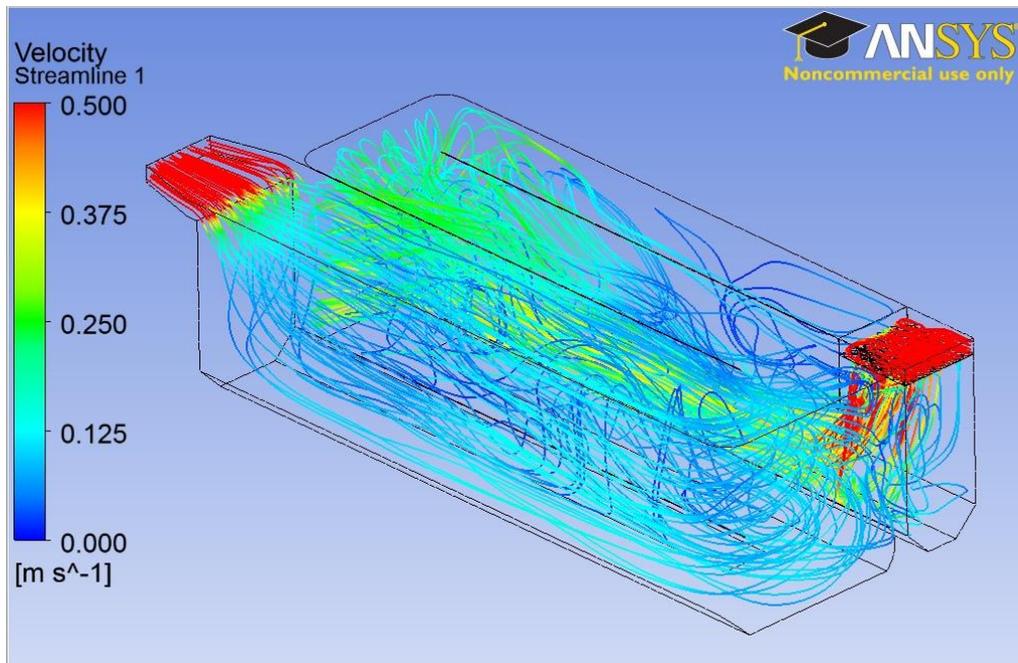


Abb. 4-19: Strömungslinien am Ausgang des Entsandermodells B0

Am Ausgang des Entsandermodells sind die Strömungslinien schön homogen und horizontal verteilt. Es werden Fließgeschwindigkeiten von unter 100mm/s erreicht. Anhand der theoretischen Berechnungen, welche gerade vorhin in diesem Kapitel ausgeführt wurden, sollten sich somit Sandkörner welche >0.2mm sind, am Beckenboden absetzen können.

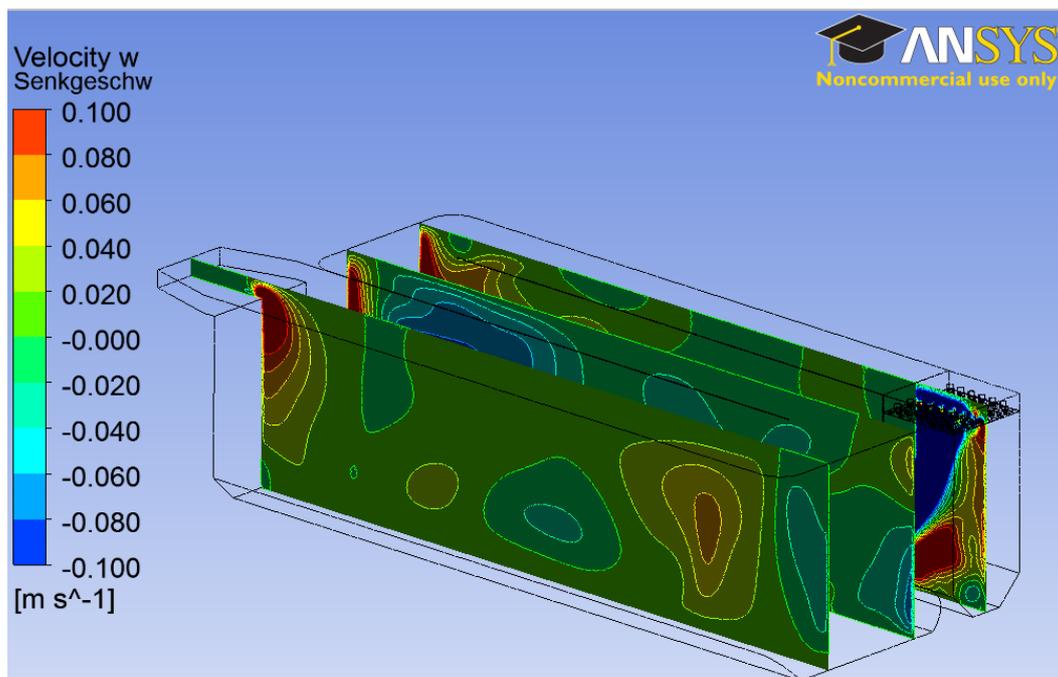


Abb. 4-20: Vertikale Wassergeschwindigkeit beim Ausgang des Entsanders B0

Bei der Betrachtung der vertikalen Wassergeschwindigkeit auf der Abb. 4-20, bestätigt sich die schöne gleichmässige horizontale Bewegung des Fluides, welche bereits durch die Strömungslinien vorausgesagt wurde. Das Wasser bewegt sich quasi nicht in vertikaler Richtung. Dies ist sehr gut für die Absetzung des Sandes.

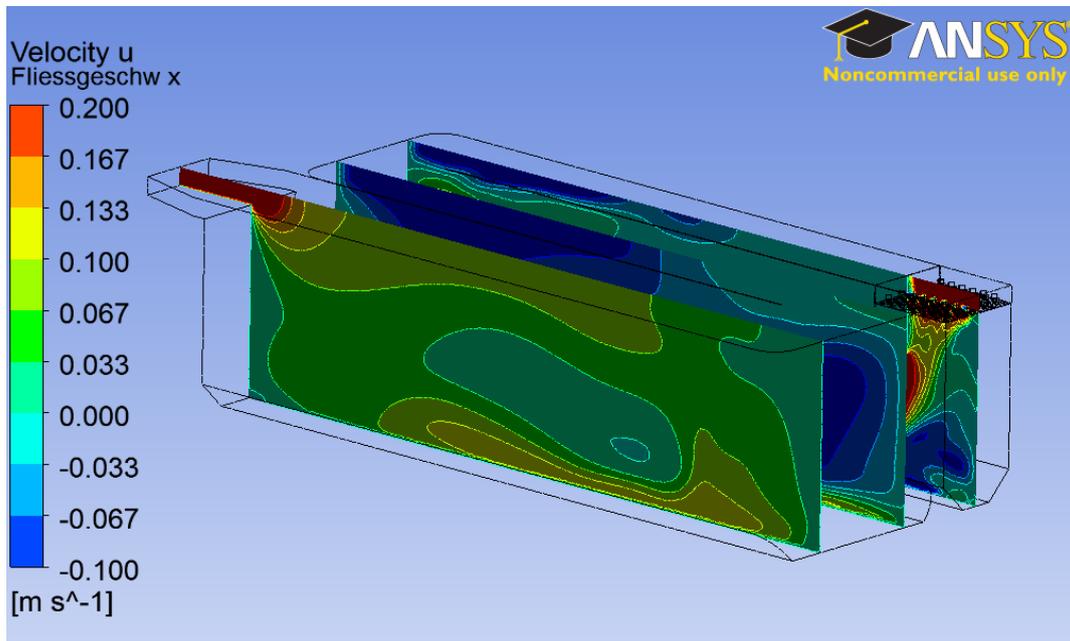


Abb. 4-21: Horizontale Wassergeschwindigkeit beim Ausgang des Modell B0

Die horizontale Geschwindigkeit ist beim Ausgang des Entsanders nicht überall schön gleichmässig. Am Beckenboden ist sie ein wenig schneller, was auf die Querschnittverkleinerung des Beckens durch die 45 ° Bleche zurückzuführen ist. Beim nächsten Modell sollte versucht werden, diese Geschwindigkeit noch ein wenig zu minimieren, da ansonsten der Sand auf dem Beckenboden zu „wandern“ beginnen könnte.

#### 4.6 ENTSANDER B1

Bei diesem Modell wurde versucht, den Wassereintritt zu verbessern. Beim Modell B0 wurde der ganze Durchfluss zum Beckenboden gedrückt und stark beschleunigt. Bei diesem Modell, sollte der Durchfluss durch 2 Führungsbleche (blau & grün) gleichmässiger verteilt werden.

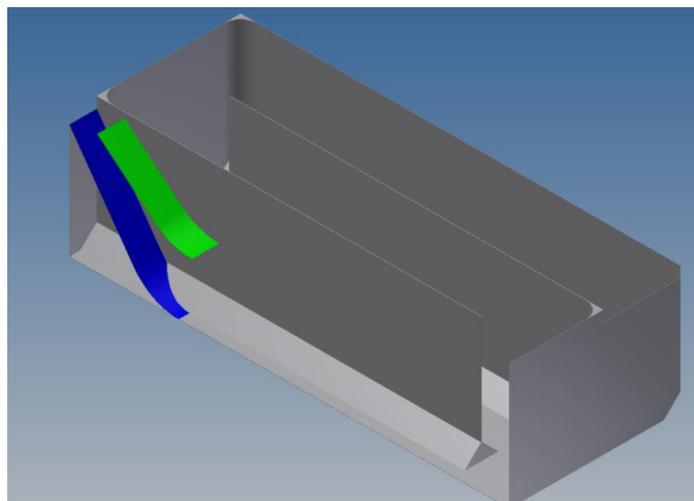


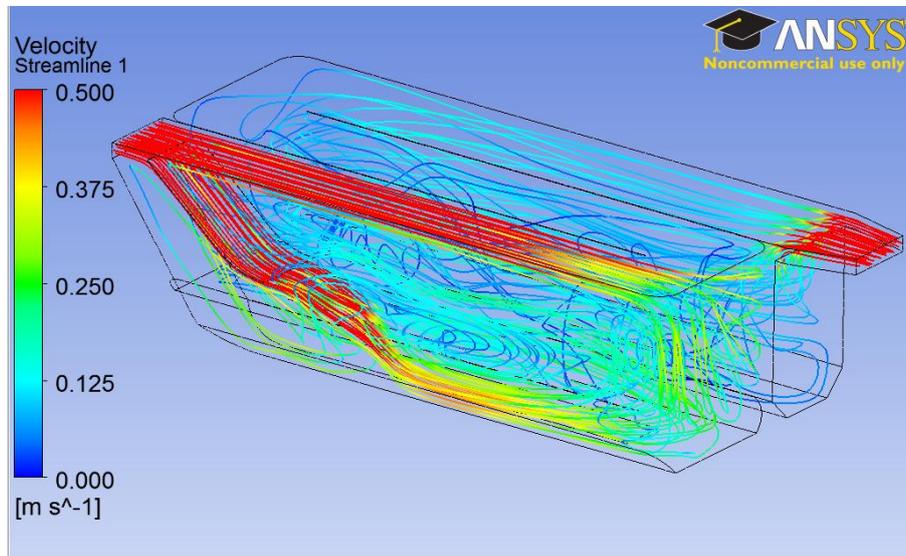
Abb. 4-22: Geometrie des Modells B1; geschnitten

**Simulation**

Anzahl Knoten: 2'063'280

Anzahl Elemente: 11'567'099

Die Simulation mit Ansys Workbench ergab folgende Ergebnisse.

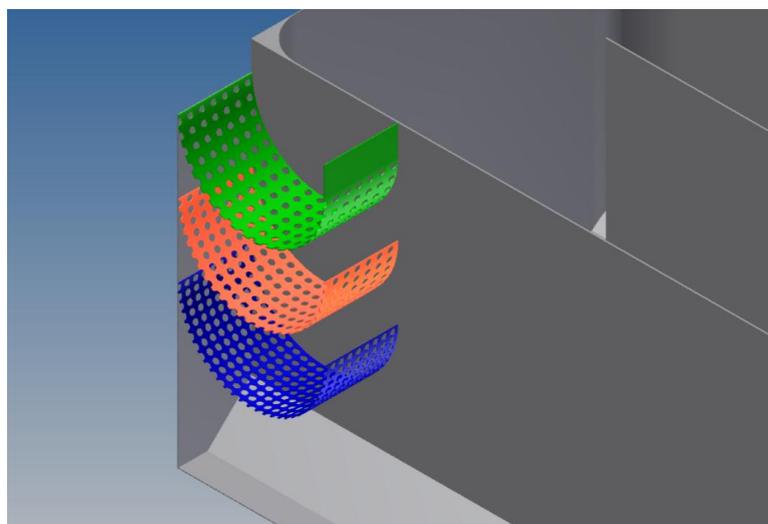


**Abb. 4-23: Strömungslinien des Entsandermodells B1**

Das Resultat dieses Modells ist nicht sehr befriedigend. Ein grosser Teil des Durchflusses am Eingang geht gerade aus und seine Geschwindigkeit sinkt erst nach der ersten Richtungsänderung im Entsander. Anschliessend verteilt sich das Fluid wieder sehr homogen auf den ganzen Querschnitt. Es muss eine weitere Geometrie konstruiert werden, bei welcher das Wasser nicht gerade aus durchfliessen kann und zugleich nicht zu stark gegen den Beckenboden hin gedrückt wird.

#### 4.7 ENTSANDER B2

Beim Modell B2 wurde eine weitere Alternative für den Einlass getestet. Es wurden u-förmige Lochbleche beim Eintritt eingeschweisst. Wie auf der Abb. 4-24 & Abb. 4-25 zu sehen ist, besitzt das oberste Lochblech am wenigsten Löcher. Nach unten hin werden die Anzahl Löcher vergrössert, dies vergrössert den Querschnitt und verlangsamt zugleich die Fliessgeschwindigkeit. Die Lochbleche dienen somit als Strömungsbrecher.



**Abb. 4-24: Geometrie des Modells 22; geschnitten beim Einlass**

Der Durchmesser der Löcher in den Lochblechen beträgt 40mm. Anschliessend kann mit der Anzahl Löcher im Blech die Fläche der Löcher berechnet werden. Mit Hilfe des Durchflusses erfolgt anschliessend die theoretische Durchflussgeschwindigkeit im Becken.

Position	Anzahl Löcher[-]	Fläche Löcher [m <sup>2</sup> ]	Fläche total [m <sup>2</sup> ]	Offen [-]	Durchflussgesch. [mm/s]
oben	247	0.31	1.57	19.76%	644
mitte	325	0.41	1.57	26.00%	490
unten	493	0.62	1.57	39.44%	323

Abb. 4-25: Angaben zu den Lochblechen

**Simulation**

Anzahl Knoten: 1'658'233  
 Anzahl Elemente: 9'165'039

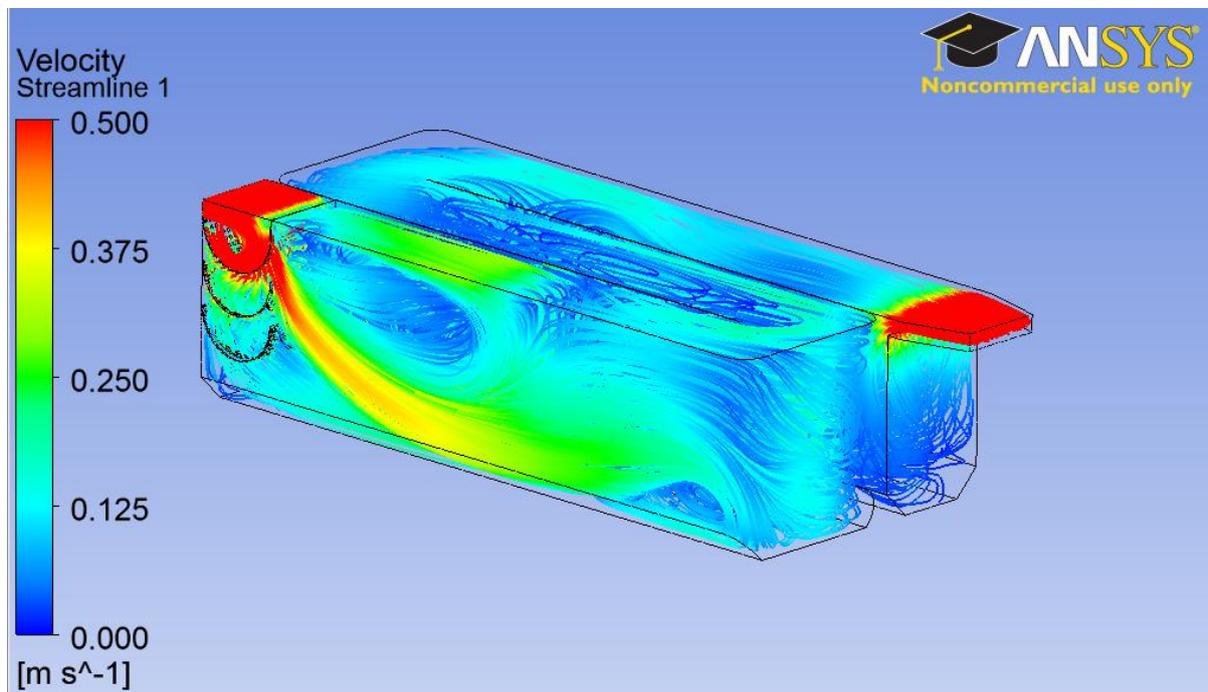


Abb. 4-26: Strömungslinien des Entsandermodells B2

Auf der Abb. 4-26 ist deutlich zu sehen, dass der Durchfluss im ersten Becken besser verteilt wird als bei den Modellen B0 und B1. Das Strömungsverhalten könnte noch verbessert werden, indem das die Anzahl Löcher auf den Lochblechen noch erhöht werden.

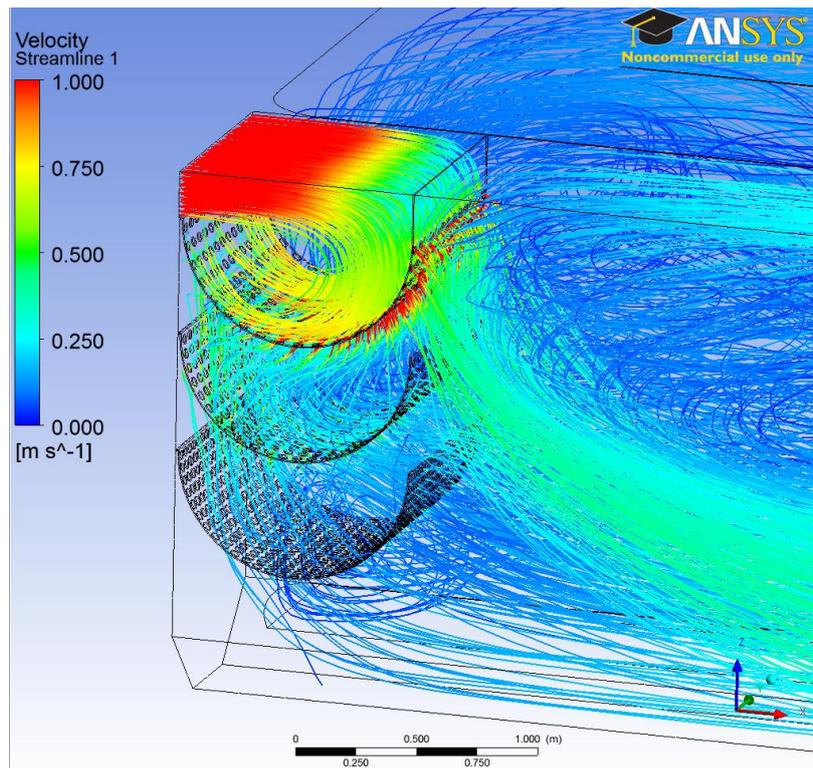


Abb. 4-27: Strömungsbrecher

Die Wassergeschwindigkeit von 1m/s wird durch die gebogenen Lochbleche und den anschliessend gross ausgelegten Beckenquerschnitt rasch auf unter 0,5m/s herab gebremst. Am Ende des ersten Beckens ist die Wassergeschwindigkeit bereits auf unter 0.125m/s gesunken.

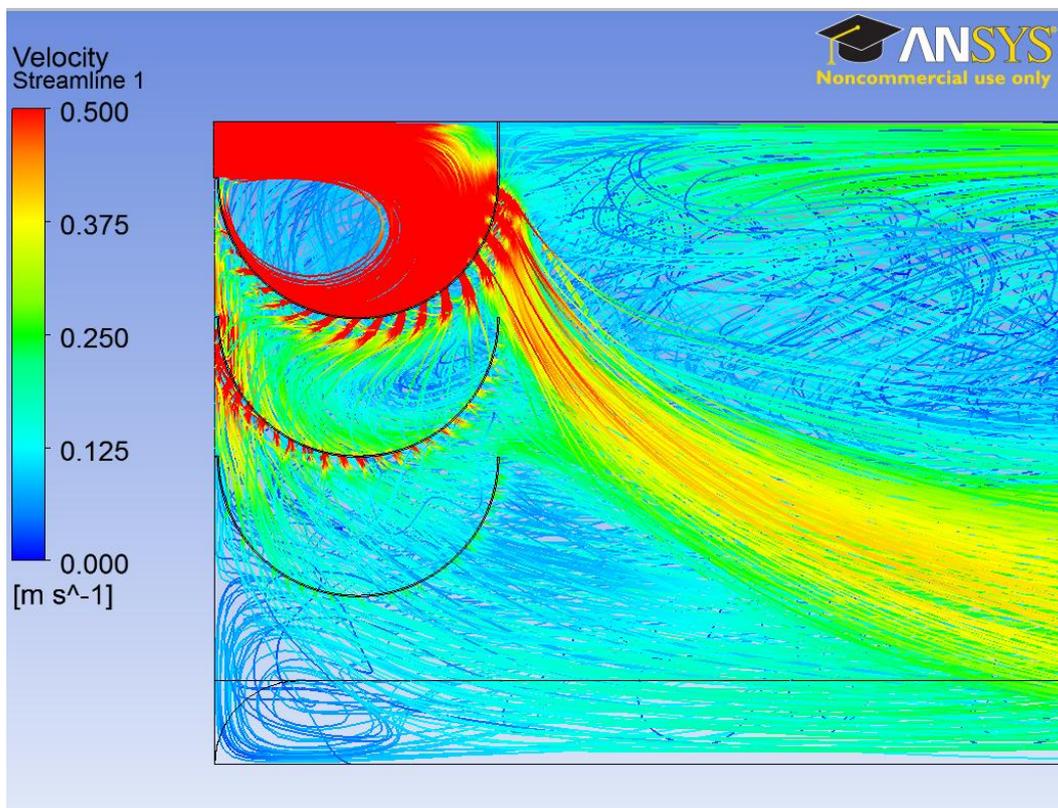


Abb. 4-28: Zoom auf Eintrittsbleche

Auf der Abb. 4-28 ist der Effekt des gebogenen Lochbleches gut zu sehen. Das Wasser fällt quasi in eine Spirale und ein Teil des Durchflusses wird direkt gegen das zweite Lochblech befördert.

Auf der nachfolgenden Abb. 4-29 ist das Strömungsverhalten aus der Vogelperspektive zu sehen. Bei jeder Richtungsänderung wird das Wasser gegen die äusserste Ecke gedrückt und dadurch stark beschleunigt.

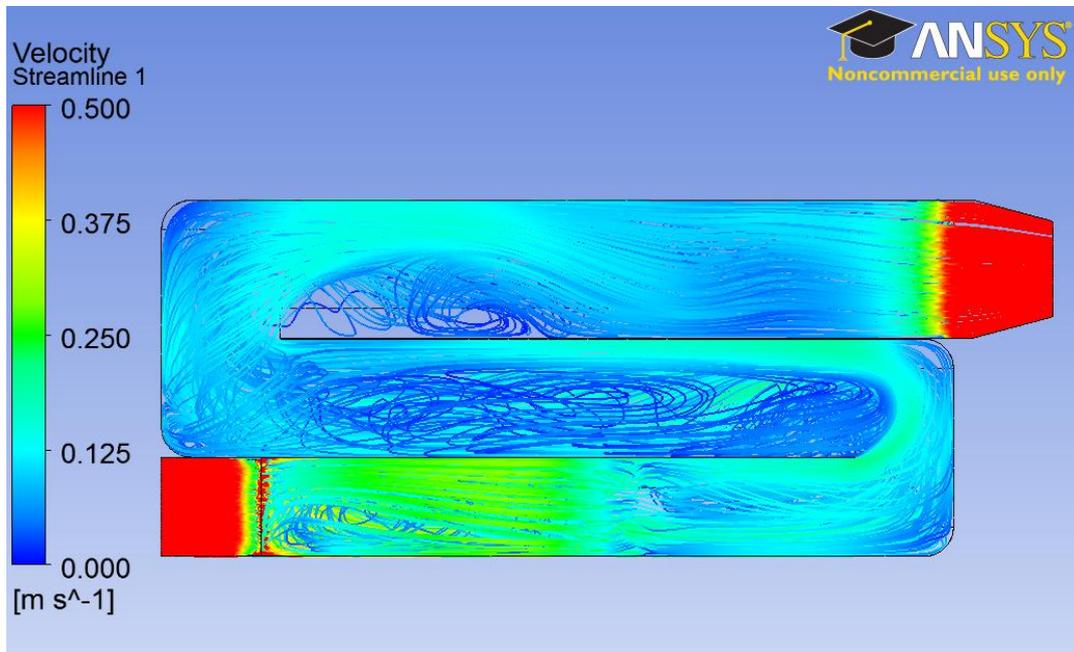


Abb. 4-29: Draufsicht Strömungslinien

Bei den nachfolgenden Geometrien muss versucht werden, der Eintrittsdruckfluss noch besser auf den gesamten Querschnitt zu verteilen und die Fliehkraft, bei der Drehrichtungsänderung gegen die Aussenwände hin, auf zu heben.

#### 4.8 ENTSANDER B3

Das Modell B3 unterscheidet sich vom Modell B2 lediglich durch die Anzahl Löcher in den Eintrittsblechen. Die genauen Angaben zu den Lochblechen sind unter der Abb. 4-30 ersichtlich.

Position	Anzahl Löcher[-]	Fläche Löcher [m <sup>2</sup> ]	Fläche total [m <sup>2</sup> ]	Offen [-]	Durchflussgesch. [mm/s]
oben	599	0.75	1.57	47.92%	266
mitte	793	1.00	1.57	63.44%	201
unten	913	1.15	1.57	73.04%	174

Abb. 4-30: Angaben zu den Lochblechen

## Simulation

Anzahl Knoten: 1'894'665  
Anzahl Elemente: 10'636'318

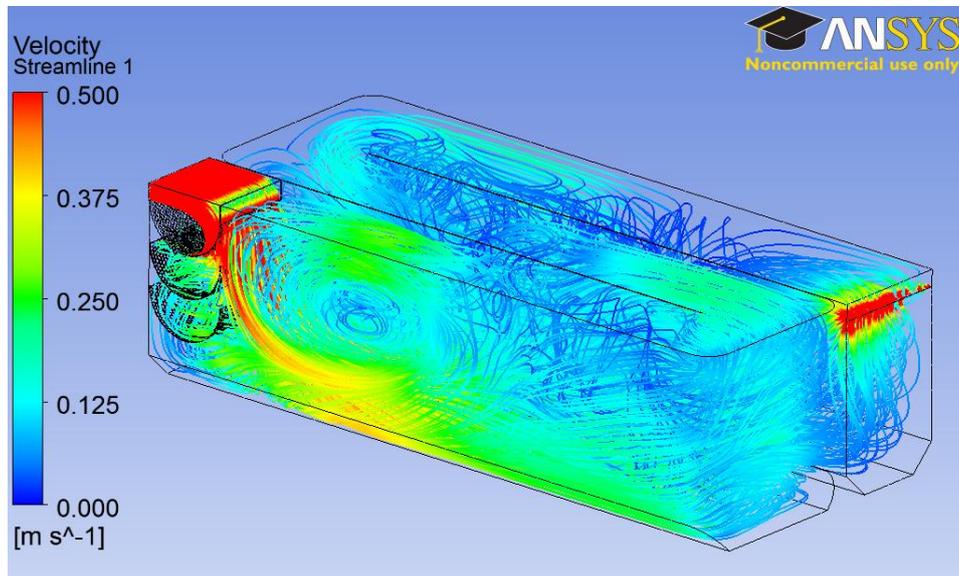


Abb. 4-31: Strömungslinien des Entsandermodells B3

Obwohl die Anzahl Löcher erhöht wurde und die Strömungsgeschwindigkeit am Eingang kleiner wird, weist das Becken mehr Verwirbelungen und weniger Homogenität als das Vorgängermodell B2 auf. Durch vergleichen der Abb. 4-28 und Abb. 4-32 wird ersichtlich, dass eine zu grosse Anzahl der Löcher auf dem Lochblech nicht zwingend von Vorteil ist.

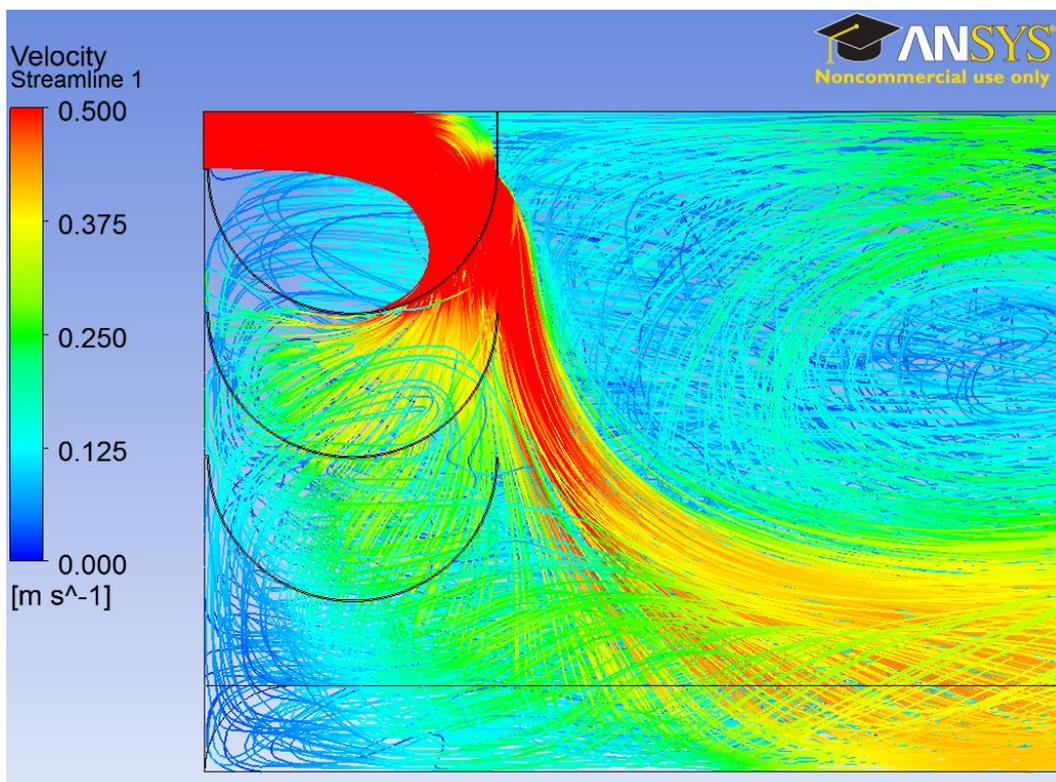


Abb. 4-32: Zoom auf Eintrittsbleche

Durch die Steigerung der Anzahl Löcher, wird das Fluid im obersten Lochblech nicht mehr schön verteilt. Der grösste Teil des Durchflusses geht gerade aus hindurch. Die Anzahl Löcher spielt also eine bedeutende Rolle bei diesem System.

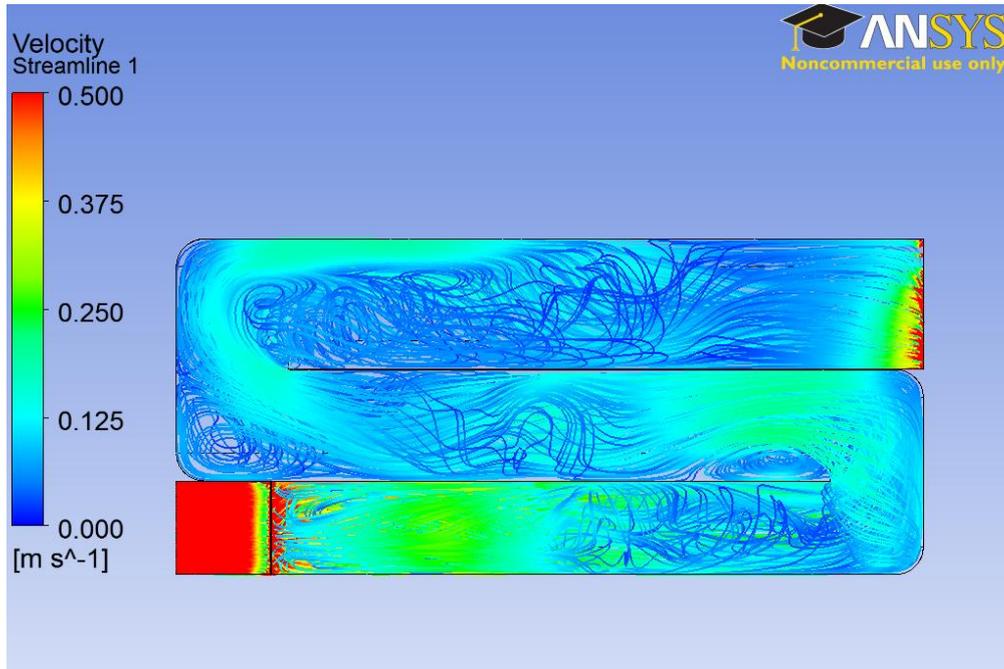


Abb. 4-33: Draufsicht Strömungslinien

Auf der Draufsicht ist ebenfalls zu sehen, dass das Entsandermodell B2 (Abb. 4-29) weniger Verwirbelungen enthält als das Modell B3.

#### 4.9 ENTSANDER B4

Da das Lochblech des Modells B3 schlechter war, als jenes vom Modell B2, wurde wieder auf das Modell B2 zurückgegriffen. Die Geometrie ist genau die gleiche wie beim Modell B2, jedoch wurden im obersten Blech (gelb) noch 14 Löcher mit einem  $\varnothing$  von 40mm hinzugefügt. Somit sollte ein kleiner Teil des Fluides gerade aus-strömen können.

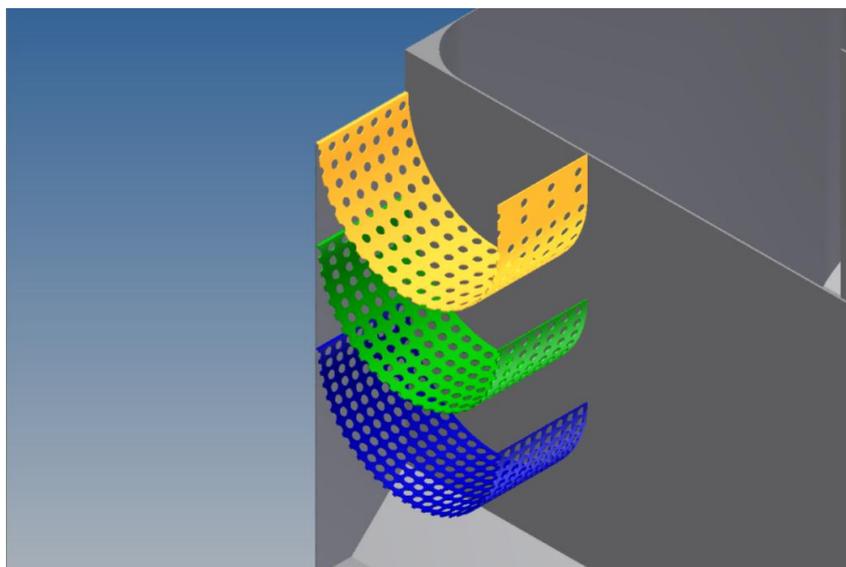


Abb. 4-34: Geometrie der Lochbleche des Modells 24

## Simulation

Anzahl Knoten: 1'671'624

Anzahl Elemente: 9'231'844

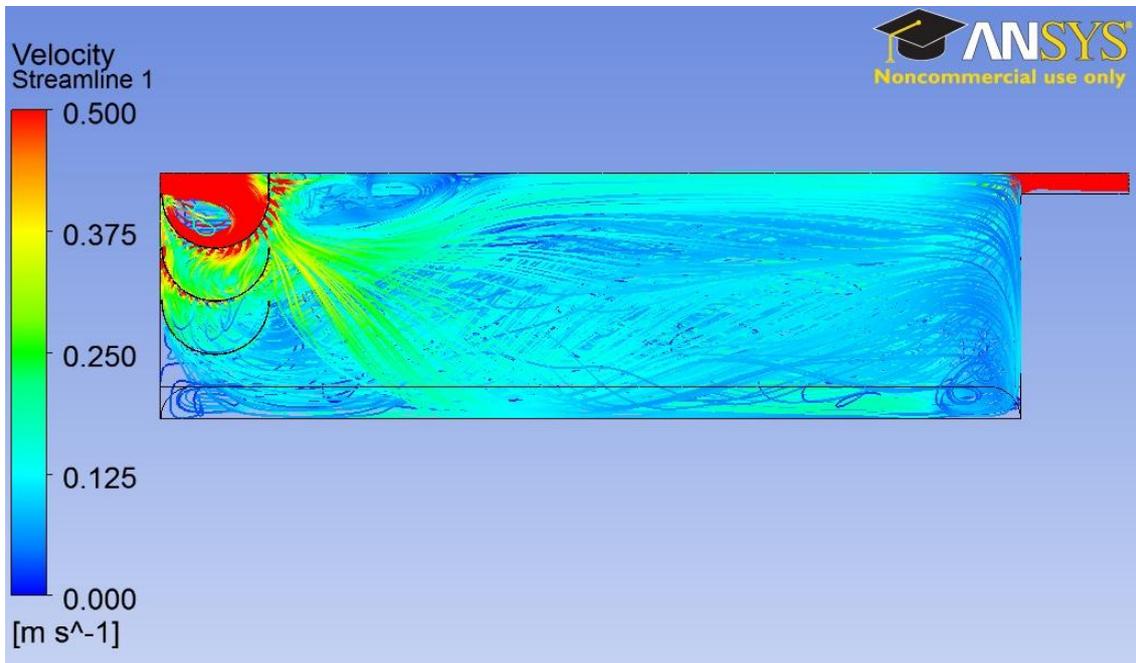


Abb. 4-35: Strömungslinien des Entsandermodells B4 am Eingang

Es ist klar ersichtlich, dass die Verteilung der Strömung auf den ganzen Querschnitt sehr gut und schnell geschieht. Betrachtet man lediglich die Homogenisierung des Durchflusses im Becken, ist dieses Modell bislang klar das Beste. Im Kapitel 5 wird weiter untersucht, ob evtl. das unterste Lochblech weggelassen werden könnte und welchen Einfluss eine Änderung der Abstände zwischen den einzelnen Lochblechen haben würde.

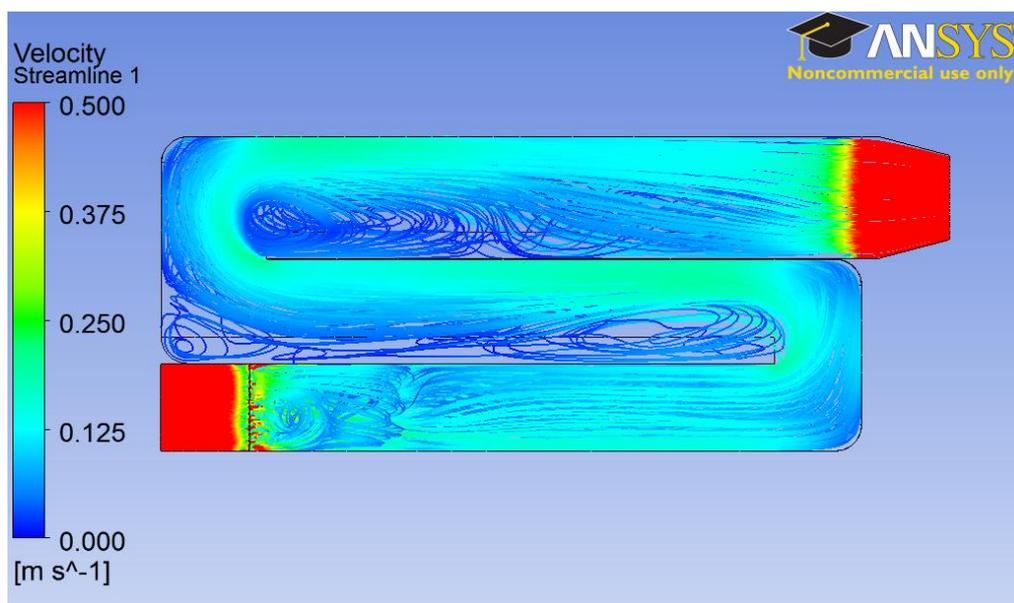


Abb. 4-36: Draufsicht Strömungslinien

Bei der Betrachtung der Strömungslinien von der Draufsicht her, fällt auf, dass bei diesem Modell höhere Randgeschwindigkeiten erreicht werden. Vergleicht man die Abb. 4-36 des Modelles B4 mit der Abb. 4-29 & Abb. 4-33 der Modellen B2 & B3, treten beim Modell B4 klar die grössten Randgeschwindigkeiten auf. Diese sind sehr schlecht, da sie den Sand mitziehen.

#### 4.10 ENTSANDER B5 SCHLUSSMODELL

Bei den vorherigen Modellen wurde das Fluid bei der Richtungsänderung immer an die Aussenwand gedrückt und stark beschleunigt. In der „Kurveninnenseite“ befindet sich somit stilles oder sogenanntes totes Wasser. Da der Durchfluss nicht auf den gesamten Querschnitt verteilt wird, sind die Geschwindigkeiten am Rand höher als die theoretisch berechneten. Somit wird der ganz feine Sand, <0.3mm, in dieser Strömung kaum eine Chance haben, sich abzusetzen. Damit das Wasser auch nach der Richtungsänderung wieder schön regelmässig auf dem gesamten Querschnitt verteilt wird, wurden richtungsweisende Bleche zur Geometrie hinzugefügt. Diese teilen den ganzen Querschnitt jeweils in 4 Teile. Da nach der Richtungsänderung das Becken jeweils um 0.2m breiter wird, wird die Querschnittsänderung bereits durch die Bleche eingeleitet. Es wird erhofft, durch diese Bleche eine gleichmässigerer Strömung nach der Richtungsänderung zu haben.

Des Weiteren wurde beim Eintritt in den Sandfang das unterste Lochblech weggelassen, da bei An Betrachtung der Abb. 4-35 dieses als nicht notwendig erachtet wurde.

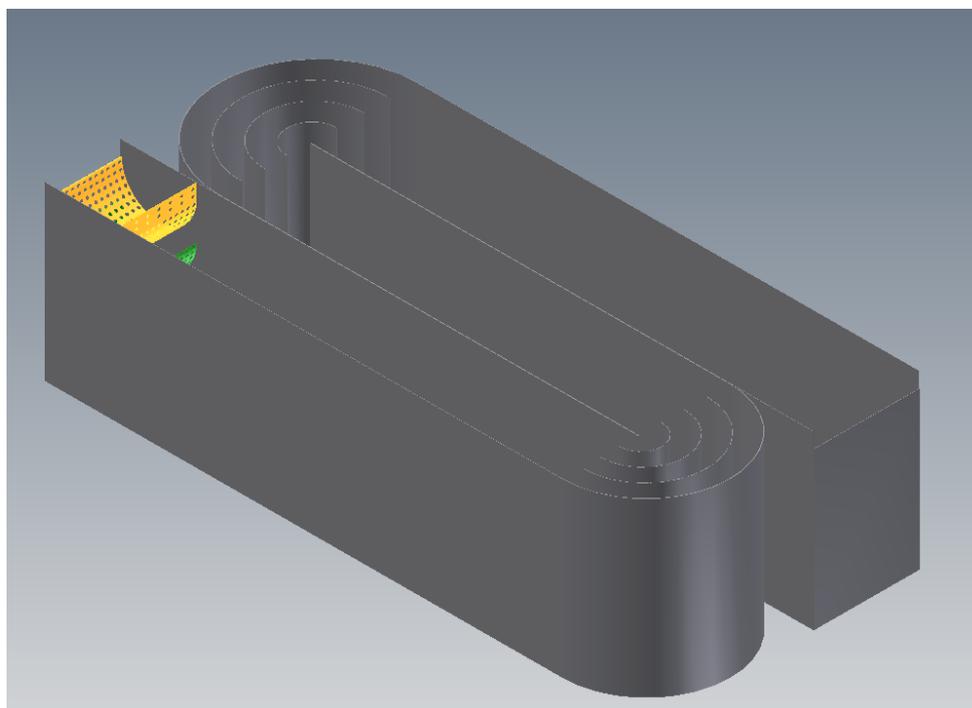


Abb. 4-37: Gesamtansicht Modell 25

Die genauen Dimensionen des fertigen Entsander sind im Anhang 12.1 zu finden.

#### Simulation

Anzahl Knoten: 4'098'925  
Anzahl Elemente: 22'195'993

Wie auf der nachfolgenden Abb. 4-38 zu sehen ist, haben die Führungsbleche bei der Richtungsänderung einen sehr positiven Einfluss auf das Strömungsverhalten.

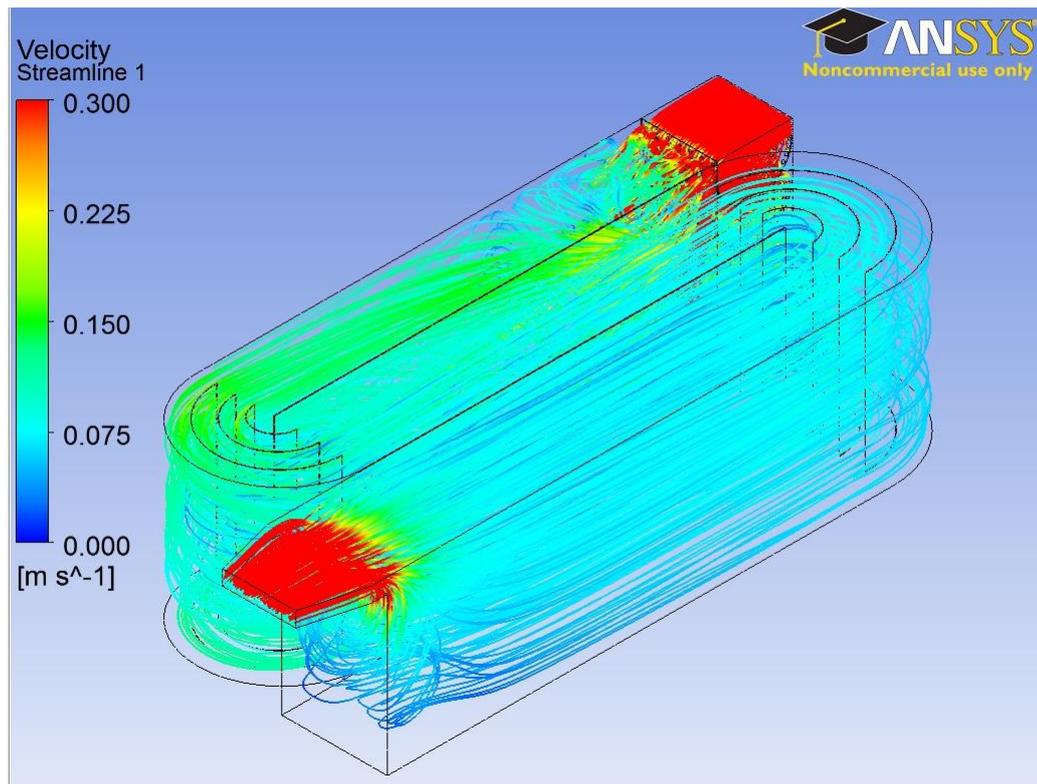


Abb. 4-38: Strömungslinien des Modells B5

Durch die addierten Führungsbleche wird bei der Richtungsänderung nicht mehr das gesamte Fluid an den Rand gedrückt. Derselbe Durchfluss wie vorhin ist auf den gesamten Querschnitt besser verteilt, was eine kleinere Fließgeschwindigkeit im Becken zur Folge hat.

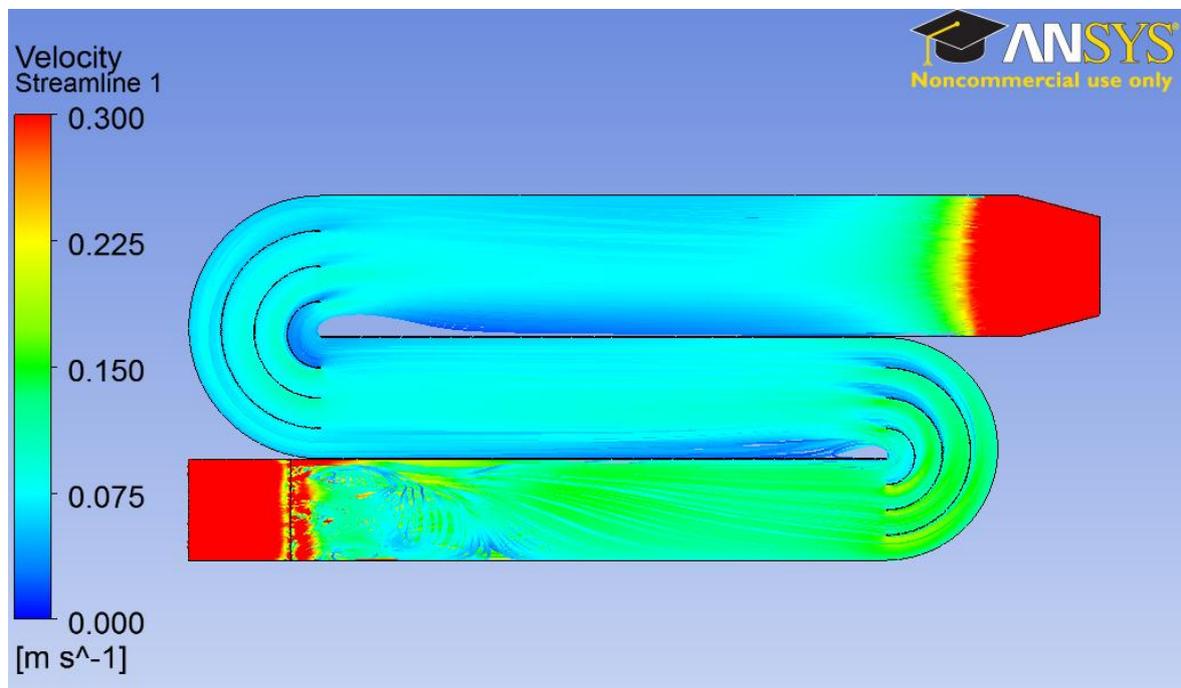
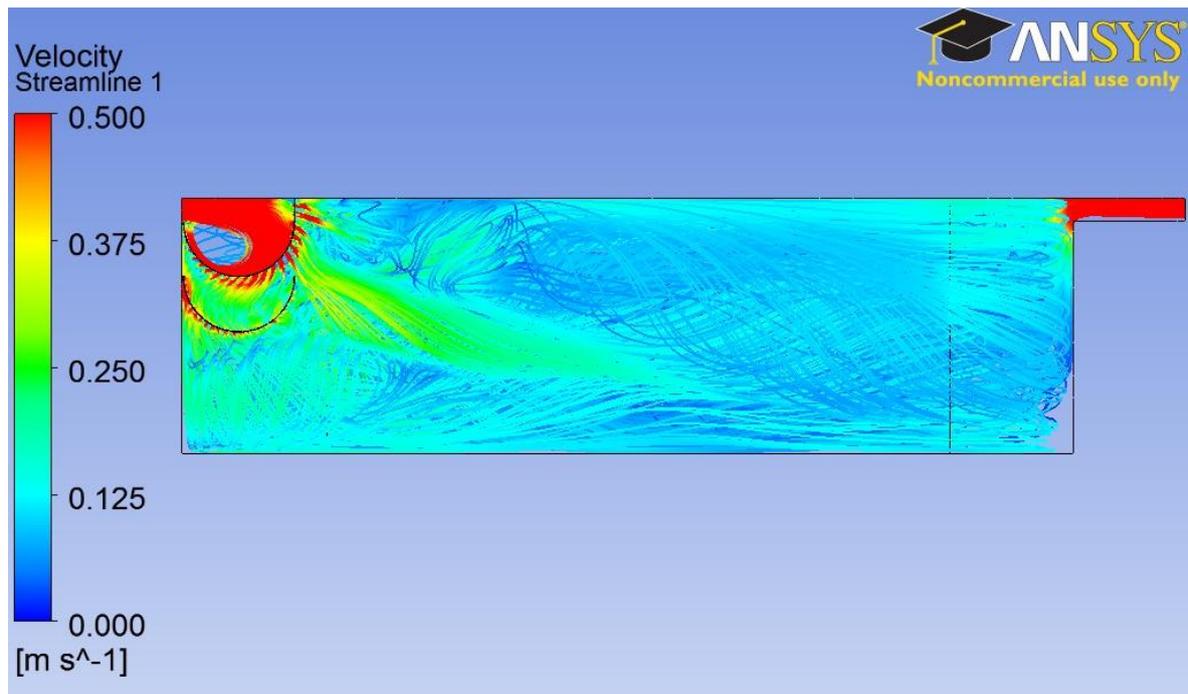


Abb. 4-39: Strömungsverhalten des Modells B5 aus der „Vogelperspektive“

Auch anhand der Abb. 4-39 ist klar ersichtlich, dass dieses Modell bis jetzt klar das Beste ist. Im nächsten Kapitel (Kapitel 5) wird zur Verbesserung des Modells noch die Anzahl der Lochbleche im Eintritt und deren Position untersucht.



**Abb. 4-40: Strömungsverhalten beim Eintritt der Lochbleche**

Bei diesem Modell wurden erstmals nur 2 Lochbleche verwendet. Wird diese Konfiguration mit jener der Abb. 4-35 verglichen, kann kein grosser Unterschied gesehen werden. Im Kapitel 5 werden deshalb die Anzahl der Lochbleche und ihr Einfluss auf das Strömungsverhalten noch weiter untersucht.

## 5 UNTERSUCHUNG ANZAHL LOCHBLECHE & DEREN POSITION

In diesem Kapitel sollen zur Verbesserung des Modells B5 noch die Anzahl Lochbleche und deren Position bestimmt werden. Die Anzahl Löcher wurde schon in den Modellen B2 bis B5 optimiert.

Damit die einzelnen Anpassungen verglichen werden können, wird auf 3 Linien jeweils die horizontale Fliessgeschwindigkeit gemessen. Optimal wäre, wenn die Fliessgeschwindigkeit von zuoberst bis zuunterst der Wasserhöhe identisch wäre. Somit wäre die Fliessgeschwindigkeit homogen verteilt, der ganze Beckenquerschnitt genützt, die Fliessgeschwindigkeit am geringsten und das Sand könnte sich am schnellsten absetzen.

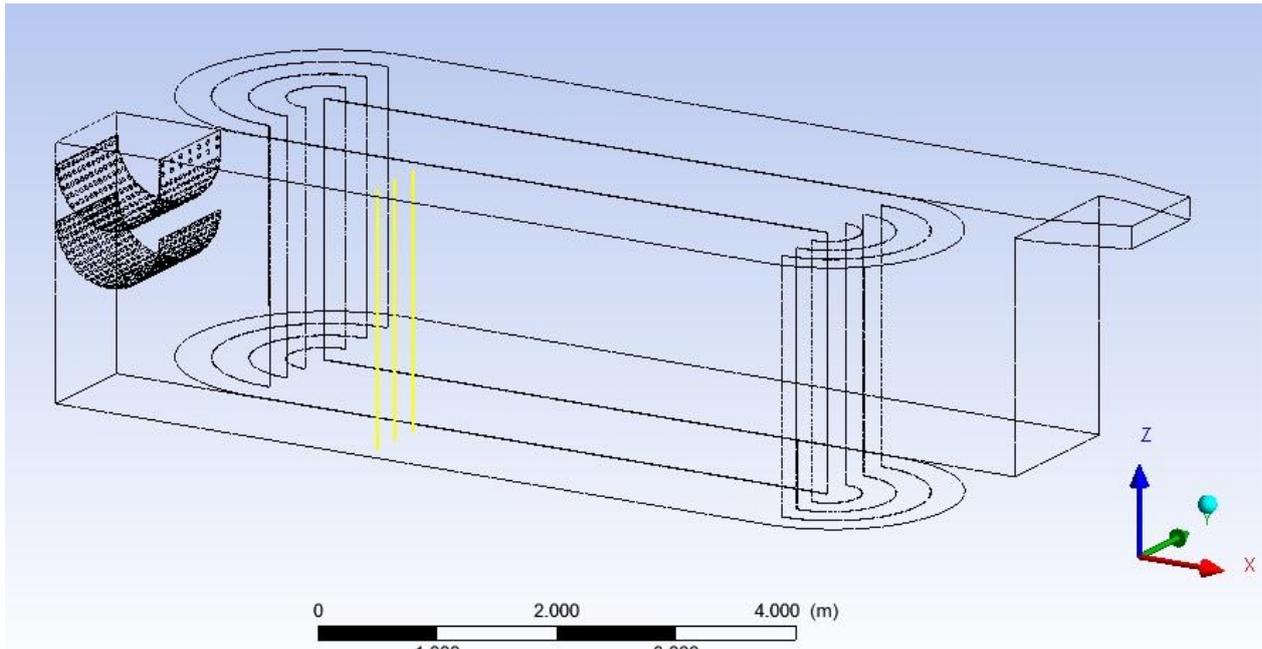


Abb. 5-1: Strömungsverhalten beim Eintritt der Lochbleche

Die horizontale Fliessgeschwindigkeit wird entlang 3 Linien gemessen. Die Linien befinden sich alle in einem Abstand von 3m in x-Richtung vom Wassereintritt entfernt. Eine Linie befindet sich in y-Richtung inmitten des Zentrums des 1. Beckens die anderen beiden jeweils +/- 0.3m in y-Richtung entfernt davon.

### 5.1 ANZAHL LOCHBLECHE

#### 5.1.1 Modell 25 mit 2 Lochblechen

Auf der nachfolgenden Grafik (Abb. 5-2) sind die horizontalen Fliessgeschwindigkeiten entlang der 3 oben beschriebenen Linien zu erkennen. Auf der Linie im Zentrum des Beckens wird eine maximale Fliessgeschwindigkeit von 0.2m/s erreicht. Wäre der Durchfluss schön auf den gesamten Querschnitt verteilt, würde eine theoretische Fliessgeschwindigkeit von 87mm/s erreicht. Positiv sind die sehr langsamen Fliessgeschwindigkeiten am Beckenboden. Diese verhindern ein wegsülen des Sands. Die Homogenisierung der Fliessgeschwindigkeit auf den gesamten Querschnitt hätte sicherlich noch Verbesserungspotential, ist jedoch schon sehr gut, In Anbetracht der Tatsache das 3m vorher der gesamte Durchfluss mit einer Geschwindigkeit von 1m/s auf einer Fläche von 0.2m<sup>2</sup> fließt.

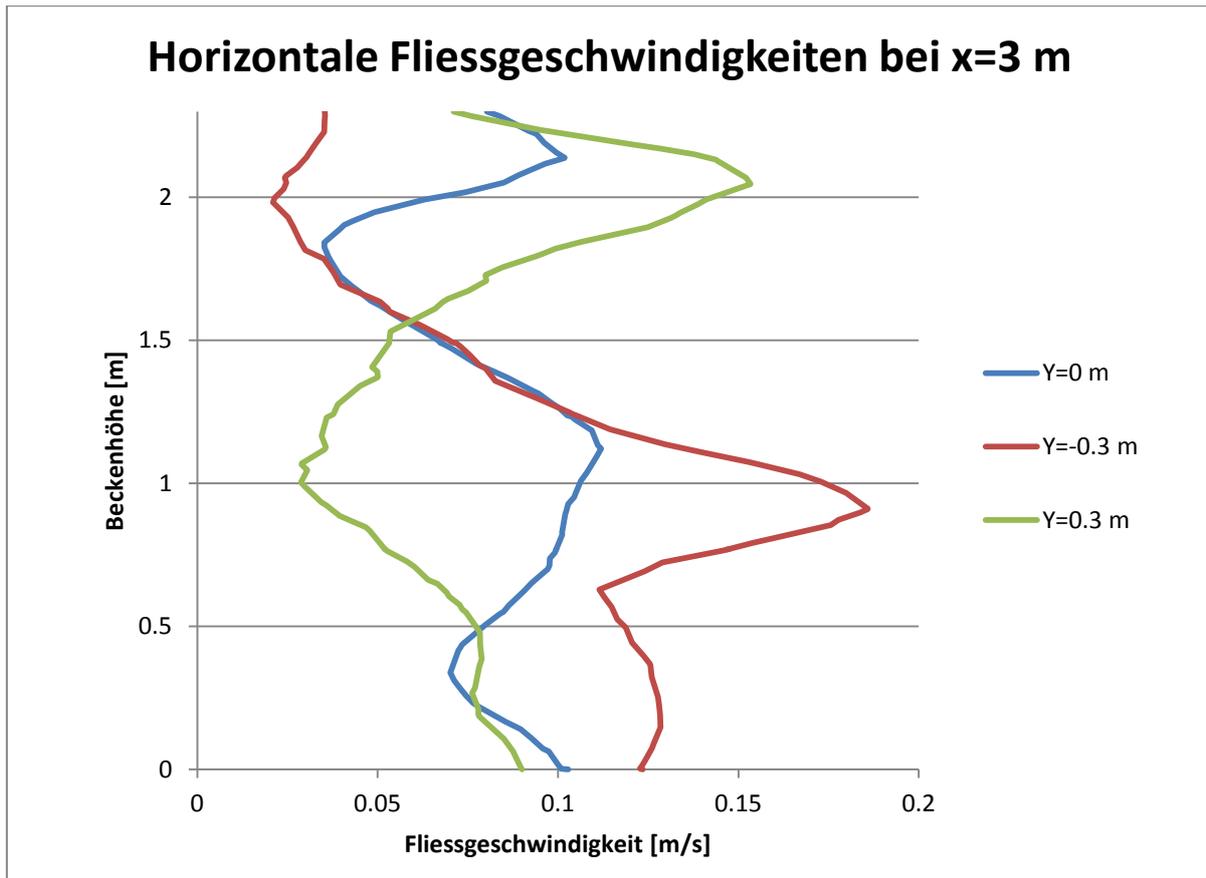


Abb. 5-2: Horizontale Fließgeschwindigkeit nach 3m des Modells 25 mit 2 Lochblechen

### 5.1.2 Modell 25 mit 3 Lochblechen

Auf der Abb. 5-3 ist die horizontale Fließgeschwindigkeit des Modell B5 mit 3 Lochblechen im Eintritt zu sehen. Es fällt sofort auf, dass die maximale Fließgeschwindigkeit nach 3m mit 0.15m/s tiefer ist als jene desselben Modells mit 2 Lochblechen. Auf der Zentrumslinie geht die Fließgeschwindigkeit auf einer Höhe von 1.9m fast gegen 0m/s. Beim Modell mit 3 Lochblechen liegen alle Geschwindigkeiten zwischen 0m/s bis 0.15m/s. Beim Modell mit 2 Lochblechen hingegen liegen die Geschwindigkeiten zwischen 0 m/s und 0.2m/s. Diese Daten sprechen auch für das Modell mit 3 Lochblechen, da die Fließgeschwindigkeit kleiner ist und somit besser auf den gesamten Querschnitt verteilt ist.

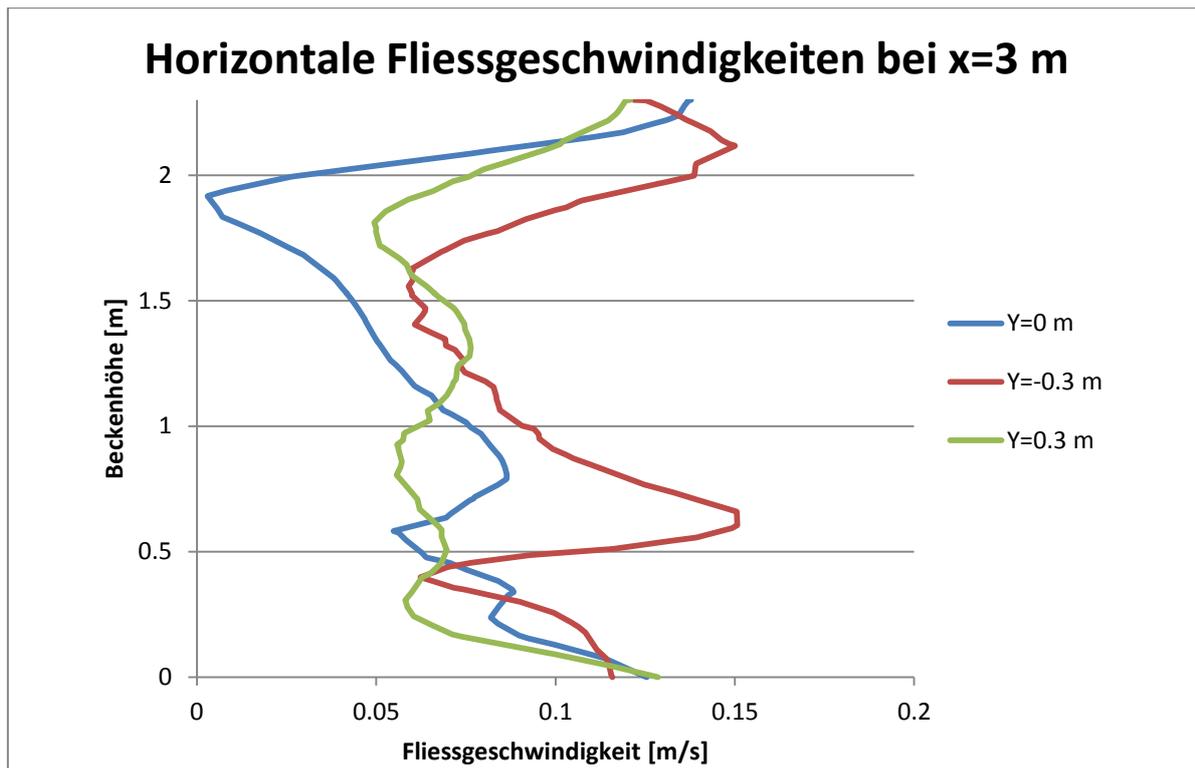


Abb. 5-3: Horizontale Fließgeschwindigkeiten nach 3m des Modells 25 mit 3 Lochblechen

Im Ganzen kann also gesagt werden, dass die Fließgeschwindigkeit mit 3 Lochblechen schneller abnimmt, als mit 2 Lochblechen.

In der Praxis stellt sich jedoch sicherlich die Kostenfrage. Es stellt sich die Frage, ob die Mehrkosten die das zusätzlich gebogene Lochblech mit sich bringt, durch die bessere Verteilung des Durchflusses gerechtfertigt wird.

## 5.2 POSITION DER LOCHBLECHE

Die Positionen und die Distanzen der Lochbleche wurden in einem ersten Versuch frei gewählt (Abb. 5-4). In diesem Kapitel wird versucht, die Distanzen zwischen den Lochblechen optimal anzupassen. Durch Vergleichung der Fließgeschwindigkeiten werden die einzelnen Varianten miteinander verglichen. Dieselbe Art der Optimierung wurde bereits im vorherigen Kapitel, Anzahl Lochbleche, angewandt.

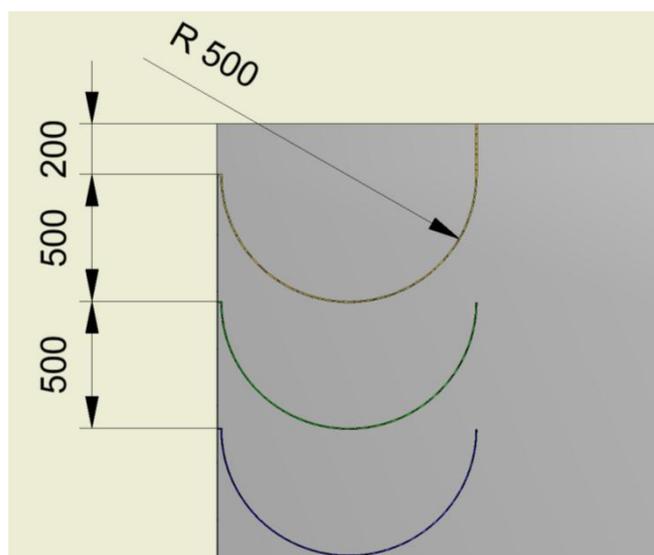


Abb. 5-4: Abstände zwischen den Lochblechen Modell 25 mit 3LB

Zur Anpassung der Distanzen zwischen der Lochbleche wird ein Zoom auf das schon vorhandene Modell zur Hilfe genommen (Abb. 5-5).

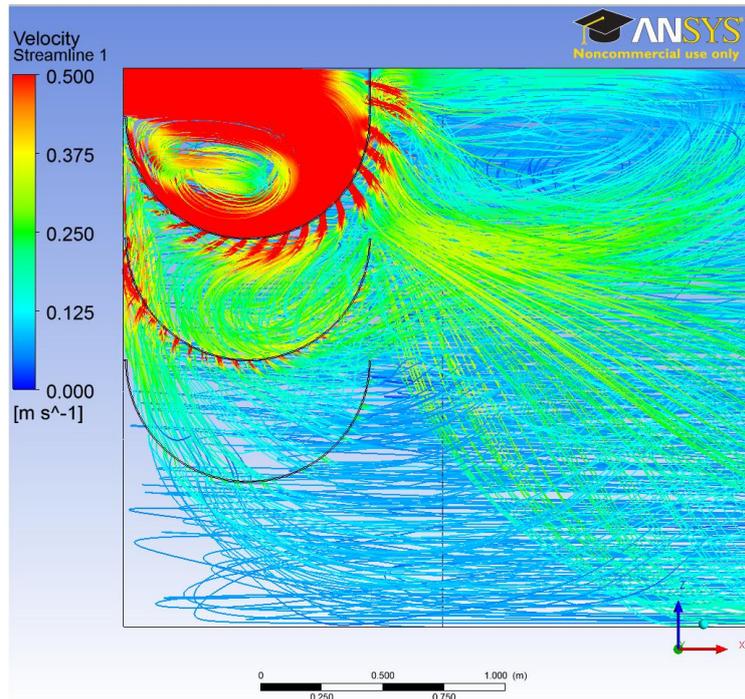


Abb. 5-5: Zoom auf den Wassereintritt

Es könnte angenommen werden, dass durch Verminderung der Distanzen zwischen dem obersten und dem mittleren Lochblech der Fluss noch besser aufgeteilt werden könnte. In einem letzten Versuch wird eine Simulation mit engeren Distanzen zwischen den Blechen (Abb. 5-6) ausgeführt. Anschliessend werden die Strömungsgeschwindigkeiten gemessen und verglichen.

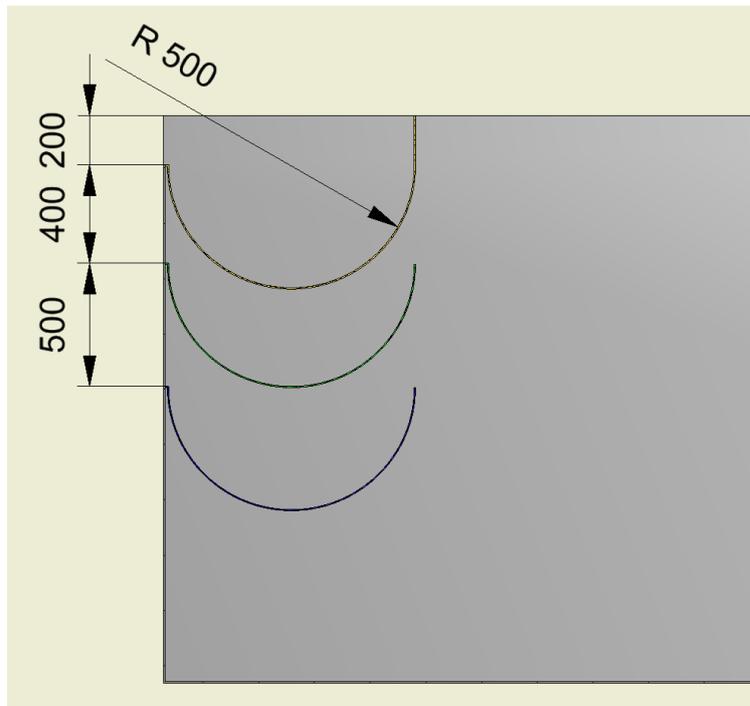


Abb. 5-6: Engere Abstände zwischen den Lochblechen Modell 25 mit 3LB

Die Simulation mit den verkürzten Distanzen zwischen den Lochblechen ergab folgendes Ergebnis.

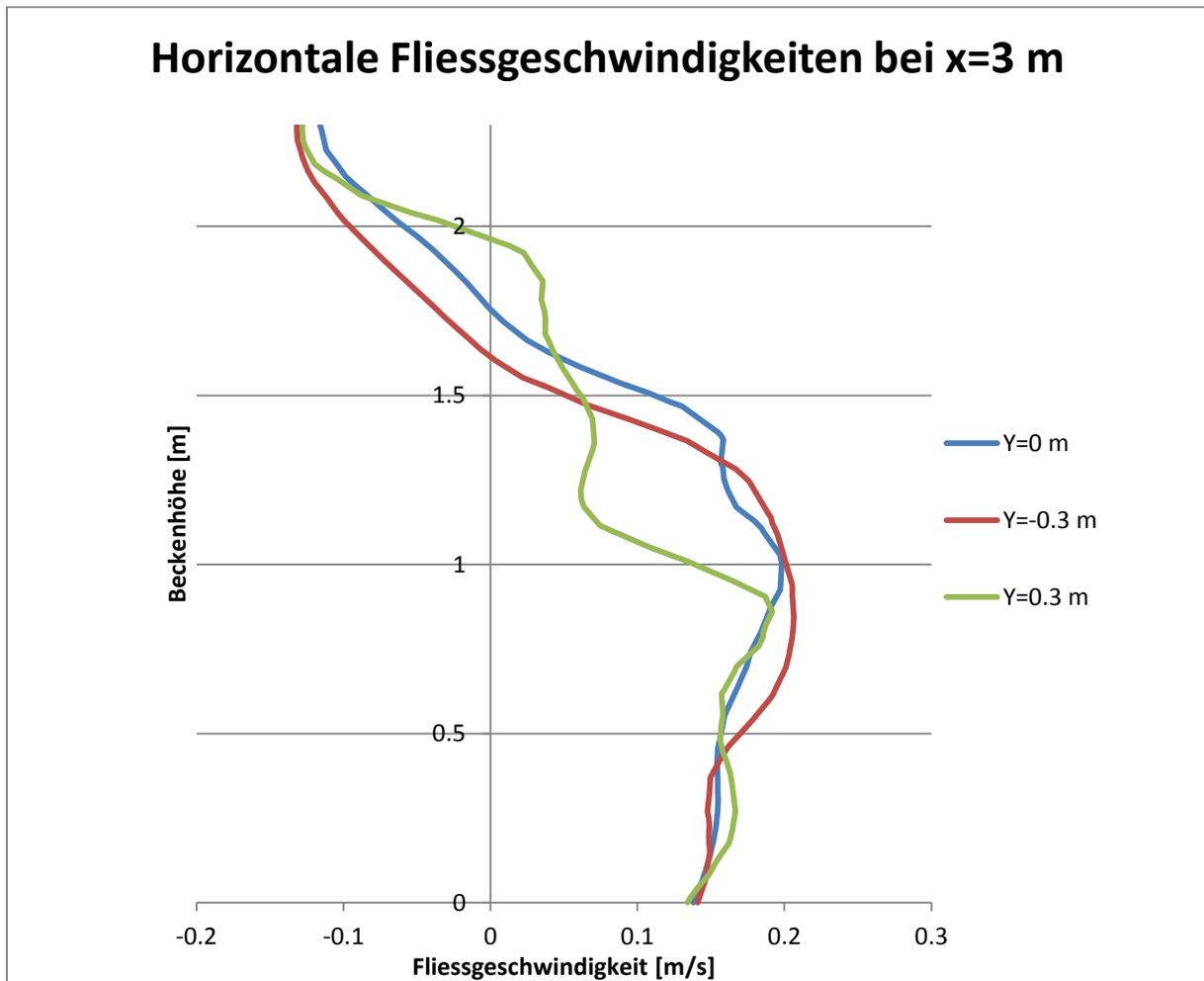


Abb. 5-7: Horizontale Fließgeschwindigkeit mit kleineren Distanzen zwischen Lochblechen

Es fällt sofort der Unterschied zur vorherigen Abb. 5-3 auf. Bei dieser Konfiguration haben wir im obersten Teil des Beckens eine negative Fließgeschwindigkeit. Dies bedeutet, dass das Fluid im obersten Teil gegen die Flussrichtung fließt, was aufgrund von Verwirbelungen zurück zu führen ist. Werden die Strömungsvektoren auf die Symmetrie-Ebene projiziert, werden unsere Vermutungen wiederlegt. Im obersten Teil des Beckens entsteht ein grosser Wirbel, welcher bei grösseren Abständen zwischen den Lochblechen nicht entstanden ist.

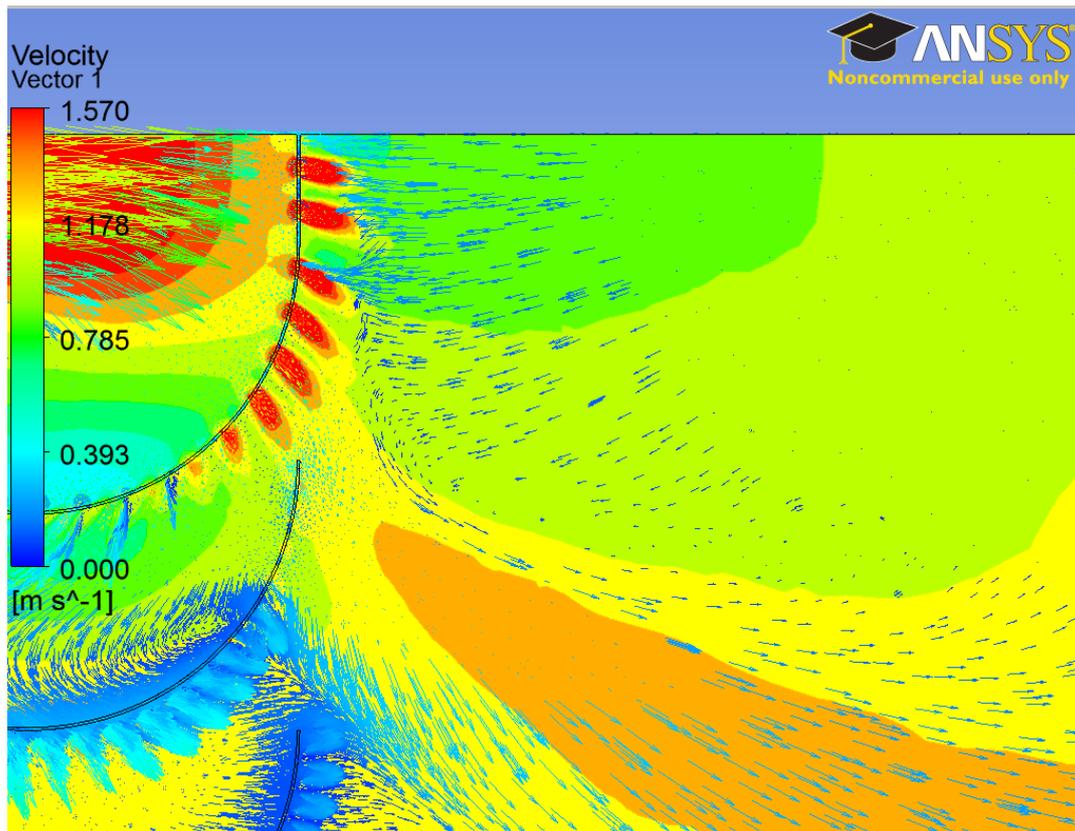


Abb. 5-8: Strömungsvektoren am Entsandereintritt

Als Schlussfolgerung über die Abstände zwischen den einzelnen Lochblechen kann also gesagt werden, dass die Abstände nicht kleiner als 500 mm (Abb. 5-4) sein sollten. Die Lochbleche sollten sich auf keinen Fall berühren.

## 6 AUTOMATISCHE SPÜLUNG

Der Wassereintritt beträgt 200 l/s. Damit während eines Spülvorganges in der Leitung nach dem Entsanderbecken keine Luft angesaugt wird, muss der Spüldurchfluss also kleiner als 200l/s sein. Somit wurde der Spüldurchfluss auf 150 l/s definiert.

### 6.1 MIT EXTERNER SPANNUNGSQUELLE

Wenn eine externe Spannungsquelle vorhanden ist, kann der Spülvorgang relativ einfach ausgeführt werden. Es gibt natürlich verschiedene Lösungen um diesen Spülvorgang auszuführen. Die hier vorgeschlagene gehört sicherlich zu den effizientesten aber nicht zu den preiswertesten.

#### 6.1.1 Spülmechanismus

Um eine einfache und effiziente Spülung durchzuführen, wird mit einem Bieri (Abb. 6-1) ähnlichen Spülsystem gearbeitet.

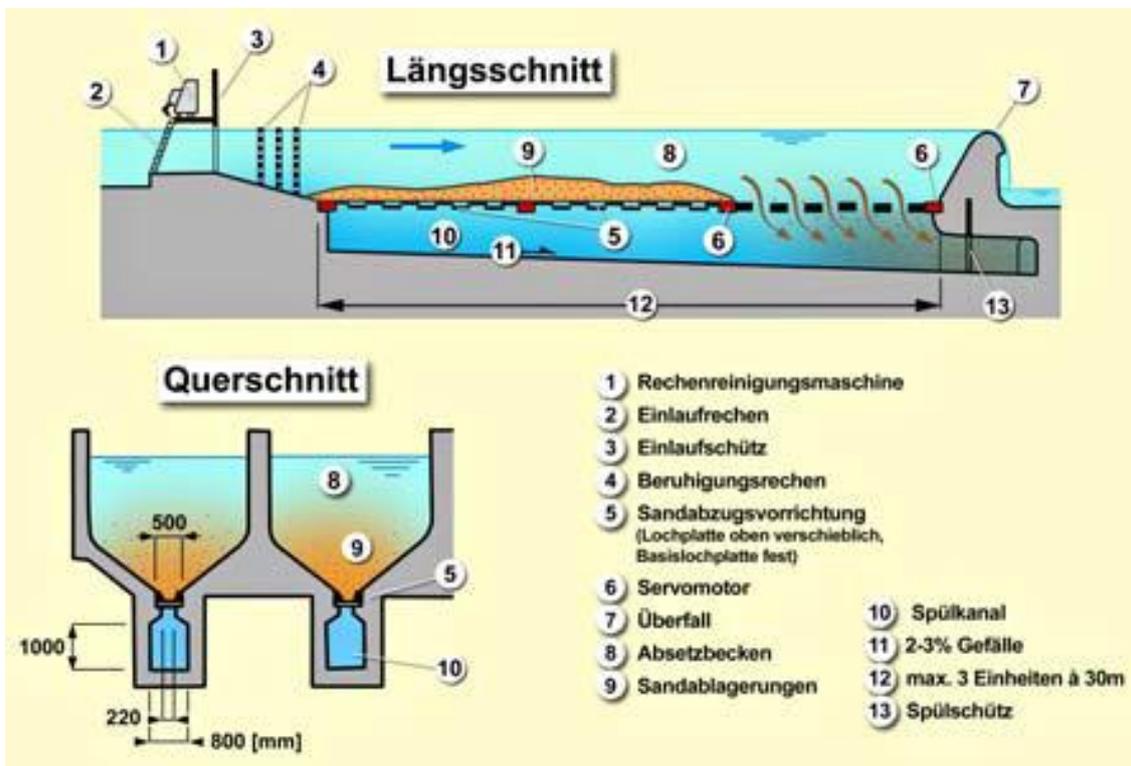


Abb. 6-1: Bieri-Entsander (Quelle: ETHZ)

Es liegen folgende Vorteile dieses Systems auf der Hand. Die Anlage kann „unter Druck“ gespült werden. Die Entsanderkammer muss also zum Spülen nicht entleert werden. Die einzelnen Sektionen, in unserem Fall 3 Kammern, können einzeln gespült werden.

Es gibt jedoch auch ein Nachteil dieser Anlage. Da grosse Kräfte auf die Spülplatte wirken, müssen grosse Servomotoren oder ggf. sogar Hydraulikaggregate für den Spülbetrieb eingebaut werden. Nachfolgend wird berechnet, was für Kräfte auf unser Modell wirken und welche Motorenart gewählt werden müsste.

### 6.1.2 Kräfteberechnung auf Spülplatte

Die Berechnungen wurden für alle 3 Becken individuell ausgeführt. Es wurde jeweils eine Sand-Höhe von 300 mm angenommen, was schon beträchtlich für ein solch kleines System ist. Die Kraft welche auf die Schieberplatte wirkt, berechnet sich aus der Gewichtskraft des Wassers, der Gewichtskraft des Sandes sowie der Reibungskraft zwischen der Schieberplatte aus Kunststoff und dem Entsanderbecken aus Stahl. Folgende Annahmen wurden für die Berechnungen gemacht. Für die Berechnungen wurde noch die alte Entsandergeometrie Modell 24 gewählt. Beim Modell 25, welches unten keine 45° Kanten hat, wären die Schieberplatten noch grösser & die daraus resultierenden Kräfte noch höher.

Dichte von Sand :

$$\rho_s = 2650 \frac{kg}{m^3}$$

Dichte von Wasser:

$$\rho_w = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

Erdbeschleunigung:

$$g = 9.81 \frac{m}{s^2}$$

Reibungskoeffizient:

$$\mu = 0.5$$

Die Masse des Beckens wurden anhand des Modells B4. gewählt. Die Dimensionen der einzelnen Kammern sind auf der Abb. 6-2 ersichtlich. Die Beckenlänge beträgt 8m.

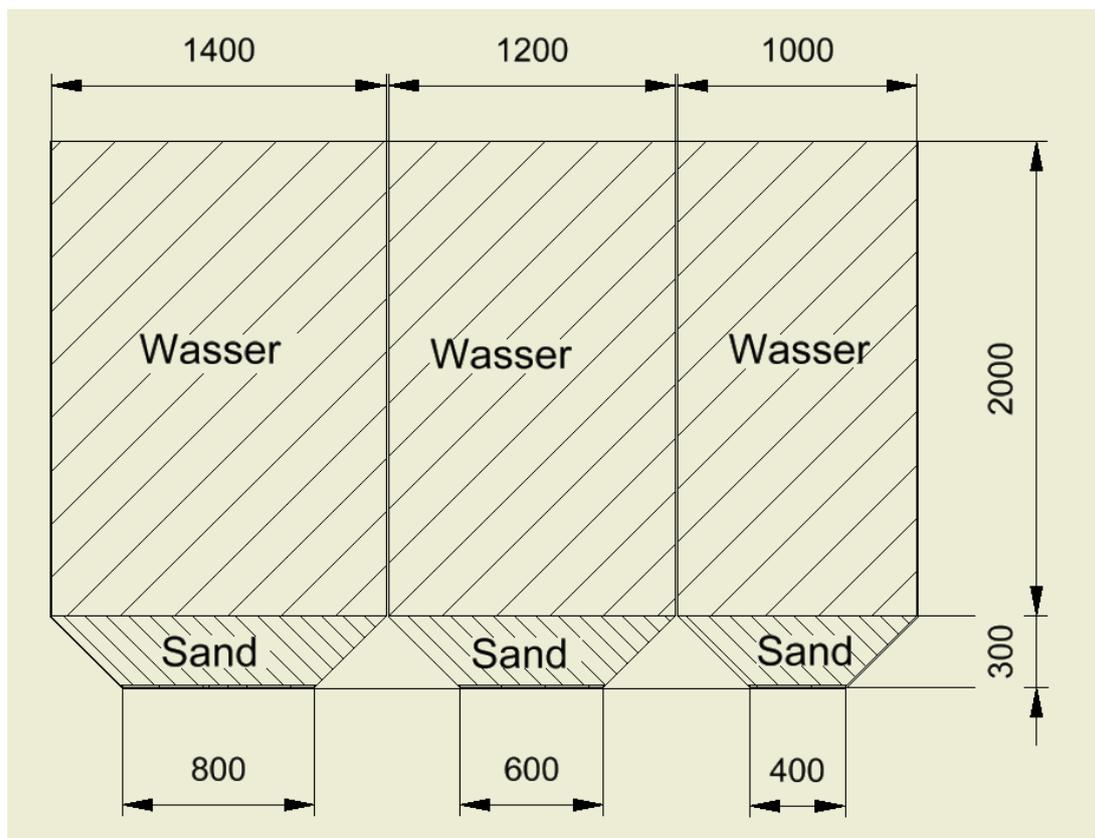


Abb. 6-2: Dimensionen der einzelnen Kammern

### Spülplatte Becken 1m

Fläche der Schieberplatte:

$$A_S = 0.4 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 3.2 \text{ m}^2$$

Sandvolumen welches auf Schieberplatte drückt:

$$V_s = A_s \cdot \text{Höhe Sand} = 3.2 \text{ m}^2 \cdot 0.3 \text{ m} = 1 \text{ m}^3$$

Gewichtskraft des Sandes:

$$F_s = m_s \cdot g = V_s \cdot \rho_s \cdot g = 1 \text{ m}^3 \cdot 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 26 \text{ kN}$$

Wasservolumen welches auf Schieberplatte drückt:

$$V_w = A_s \cdot \text{Höhe Wasser} = 3.2 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ m} = 6.4 \text{ m}^3$$

Gewichtskraft des Wassers:

$$F_w = m_w \cdot g = V_w \cdot \rho_w \cdot g = 6.4 \text{ m}^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 63 \text{ kN}$$

Totale Gewichtskraft auf Schieberplatte:

$$F_t = F_s + F_w = 63 \text{ kN} + 26 \text{ kN} = 89 \text{ kN}$$

Aufzubringende Zug- respektive Druckkraft auf Schieberplatte:

$$F = F_t \cdot \mu = 89 \text{ kN} \cdot 0.5 = 44.5 \text{ kN}$$

### Spülplatte Becken 1,2m

Fläche der Schieberplatte:

$$A_S = 0.6 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 4.8 \text{ m}^2$$

Sandvolumen welches auf Schieberplatte drückt:

$$V_s = A_s \cdot \text{Höhe Sand} = 4.8 \text{ m}^2 \cdot 0.3 \text{ m} = 1.44 \text{ m}^3$$

Gewichtskraft des Sandes:

$$F_s = m_s \cdot g = V_s \cdot \rho_s \cdot g = 1.44 \text{ m}^3 \cdot 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 37.5 \text{ kN}$$

Wasservolumen welches auf Schieberplatte drückt:

$$V_w = A_s \cdot \text{Höhe Wasser} = 4.8 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ m} = 9.6 \text{ m}^3$$

Gewichtskraft des Wassers:

$$F_w = m_w \cdot g = V_w \cdot \rho_w \cdot g = 9.6 \text{ m}^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 94 \text{ kN}$$

Totale Gewichtskraft auf Schieberplatte:

$$F_t = F_s + F_w = 94 \text{ kN} + 37.5 \text{ kN} = 131.5 \text{ kN}$$

Aufzubringende Zug- respektive Druckkraft auf Schieberplatte

$$F = F_t \cdot \mu = 131.5 \text{ kN} \cdot 0.5 = 66 \text{ kN}$$

### Spülplatte Becken 1,4m

Fläche der Schieberplatte:

$$A_s = 0.8 \text{ m} \cdot 8 \text{ m} = 6.4 \text{ m}^2$$

Sandvolumen welches auf Schieberplatte drückt:

$$V_s = A_s \cdot \text{Höhe Sand} = 6.4 \text{ m}^2 \cdot 0.3 \text{ m} = 1.92 \text{ m}^3$$

Gewichtskraft des Sandes:

$$F_s = m_s \cdot g = V_s \cdot \rho_s \cdot g = 1.92 \text{ m}^3 \cdot 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 50 \text{ kN}$$

Wasservolumen welches auf Schieberplatte drückt:

$$V_w = A_s \cdot \text{Höhe Wasser} = 6.4 \text{ m}^2 \cdot 2 \text{ m} = 12.8 \text{ m}^3$$

Gewichtskraft des Wassers:

$$F_w = m_w \cdot g = V_w \cdot \rho_w \cdot g = 12.8 \text{ m}^3 \cdot 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 125.5 \text{ kN}$$

Totale Gewichtskraft auf Schieberplatte:

$$F_t = F_s + F_w = 125.5 \text{ kN} + 50 \text{ kN} = 175.5 \text{ kN}$$

Aufzubringende Zug- respektive Druckkraft auf Schieberplatte

$$F = F_t \cdot \mu = 175.5 \text{ kN} \cdot 0.5 = 88 \text{ kN}$$

### 6.1.3 Auswahl der Hydraulikzylinder

Nach dem im vorangehenden Kapitel die benötigte Zug- respektive Druckkraft berechnet wurde, kann nun die Grösse der Hydraulikzylinder berechnet werden.

Es wurde angenommen, dass das Hydraulikaggregat einen Betriebsdruck von  $p = 200 \text{ bar}$  liefert. In der nachfolgenden Tabellen wurden die Hydraulikzylinder-Grössen bestimmt.

Die benötigte Zug- respektive Druckkraft folgt aus den Berechnungen des vorangehenden Kapitels. Mittels des Gesetzes

$$p = \frac{F}{A}$$

kann anschliessend der benötigte Querschnitt berechnet werden. Durch die Umstellung der Gleichung

$$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$$

erhält man den theoretischen minimalen Durchmesser des Hydraulikzylinders, der benötigt wird, um die Schieberplatte mit einem Druck von 200 bar zu bewegen.

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

		Becken1m	Becken1,2m	Becken 1,4m
Benötigte Zug-od. Druckkraft	[kN]	44.5	66	88
Benötigter Querschnitt	[mm <sup>2</sup> ]	2225	3300	4400
Theoretischer Min-Ø	[mm]	53.23	64.82	74.85
Stangen-Ø	[mm]	60	70	75
Zylinder-Ø	[mm]	100	120	140

Abb. 6-3: Dimensionen der Hydraulikzylinder

Nicht zu vergessen ist, dass bei den Hydraulikzylindern der Stangendurchmesser immer viel kleiner als der Zylinderdurchmesser ist. Wenn also die berechnete Kraft auf Zug- und Druckseite des Zylinders gewünscht wird, muss der minimale berechnete Durchmesser auf den Stangendurchmesser erfolgen. Es wäre jedoch sinnvoller, die Zylinder so auszulegen, dass sie nur in Druck- oder Zugseite die maximale Kraft welche berechnet wurde aufbringen müssen. Wenn der Sand einmal weggespült worden ist, sinkt die benötigte Kraft für die Bewegung der Schieberplatte rapide ab und unsere Zylinder, anhand Abb. 6-3, wären deutlich überdimensioniert. Es sollte darum zwingend vor dem Erbauen der Anlage genauestens abgeklärt werden, in welche Arbeitsrichtung der Zylinder welche gewünschte Arbeit ausrichten muss.

### 6.1.4 Trübungssensor

Mittels eines Trübungssensors wird der Feststoffgehalt in jedem Becken einzeln gemessen. Besonders geeignet sind dafür die Trübungssensoren der Firma HACH LANGE ([3] & Anhang 12.4). Diese besitzen ein patentiertes Duo-Streulichtverfahren zur Messung der Feststoffe (Abb. 6-4)

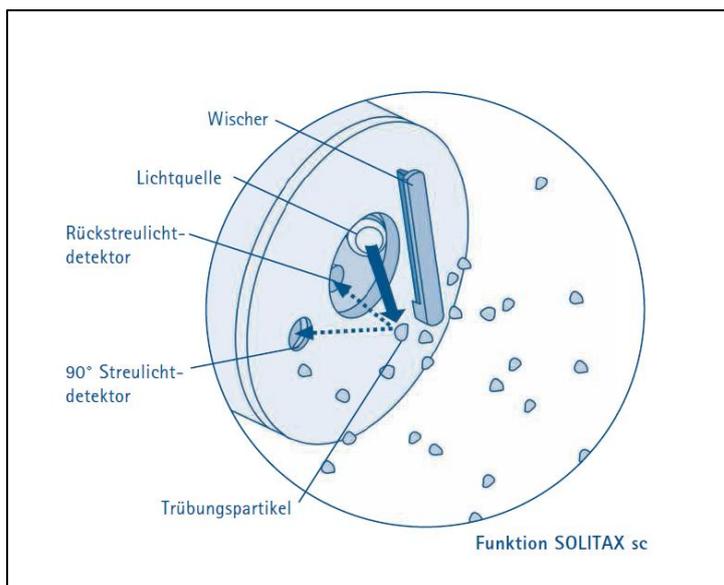


Abb. 6-4: Prinzipschema des Trübungssensor Solitax der Firma Hach Lange

## 6.2 OHNE EXTERNE SPANNUNGSVERSORGUNG

Wenn am Einbauort des Entsanders keine externe Spannungsversorgung vorhanden ist, gibt es trotzdem verschiedene Möglichkeiten um den Spülprozess auszuführen. Die, von Seite der Herstellung betrachtet, einfachste Lösung wäre eine manuelle Entsandung. Auf die Jahre hin berechnet ist diese Lösung jedoch sicherlich eine der teuersten. An unserem Besichtigungsort, beim Entsander der Gemeinde Ausserberg im Baltschiederthal, muss der Verantwortliche während den Sommermonaten nahezu jeden Tag eine Spülung durchführen. Aus geographischen Gründen erfolgt der Weg zum Sandfang hin zu Fuss und nimmt viel Zeit in Anspruch. Somit würde sich ein automatisches System an solch exponierten Stellen rasch amortisieren und auf alle Fälle lohnen.

Nachfolgend sind 2 Lösungsvorschläge gegeben, wie eine Entsanderanlage an einer exponierten Stelle wirtschaftlich betrieben werden könnte.

### 6.2.1 Varianten rein mechanisch

Da bei einem Sandfang normalerweise immer Wasser in der Nähe ist, wäre es naheliegend, ein mechanisches Spülssystem mithilfe der Wasserkraft zu betreiben. Die Systeme sind jedoch sehr komplex und werden in der heutigen Zeit eher durch elektrische ersetzt, da diese besser von der Ferne gesteuert und kontrolliert werden können. Rein mechanische Systeme können zu irgendeinem beliebigen Zeitpunkt eine Spülung durchführen, die niemand vorher sehen kann und somit Menschen in Gefahr bringen.

Nachfolgend werden 2 verschiedene mechanische Lösungen vorgeschlagen.

#### Variante Seilzug

Die Lösung auf der folgenden Abbildung Abb. 6-5 wurde von Herrn Peter Wenger der Firma Stahleinbau gezeichnet & vorgeschlagen. Für das vorgeschlagene System besteht der Sandfang aus einer einzigen Kammer und geht zuunterst im  $45^\circ$  Winkel zusammen, wie beim Modell 1. Das Funktionsprinzip der Anlage ist wie folgt.

Am Rande bei der  $45^\circ$ -Neigung befindet sich auf einer vordefinierten Höhe ein feines Sieb. So lange sich das abgesetzte Sand unterhalb dieses Siebes befindet, fliesst Wasser vom Sieb durch ein Rohr in einen Stahlbehälter. Dieser Stahlbehälter besitzt den ebenbenannten Zufluss, einen Überlauf sowie einen Auslass zuunterst des Stahl-Behälters der kleiner ist als der Zulauf. Hat das Sand das Sieb also noch nicht erreicht, fliesst Wasser vom Entsanderbecken in den Stahl-Behälter und von dort an durch den Überlauf und den Auslass zum Auslauf.

Sobald das Sand die Siebhöhe erreicht hat, sollte theoretisch kein Wasser mehr zum Stahl-Behälter fließen. Der Stahl-Behälter sollte sich langsam durch den Auslass entleeren. Sobald das Gegengewicht schwerer ist, als der sich am entleerende Stahl-Behälter, zieht das Gegengewicht das Entleerungsventil des Sandfangs auf. Der Sand sollte sich durch die Spülleitung entleeren. Während des Entleerungsvorganges des Sands, fliesst „sauberes“ Spülwasser über das Sieb. Dieses sollte das mit Sand verstopfte Sieb reinigen und den Wasser-Durchgang zum Sieb wieder gewährleisten.

Sobald das Wasser wieder hin zum Stahl-Behälter fliesst, füllt sich dieser wieder auf und wird schwerer als das Gegengewicht. Somit schliesst sich das Ventil wieder, der Spülvorgang ist beendet und der Prozess kann wieder von vorne beginnen.

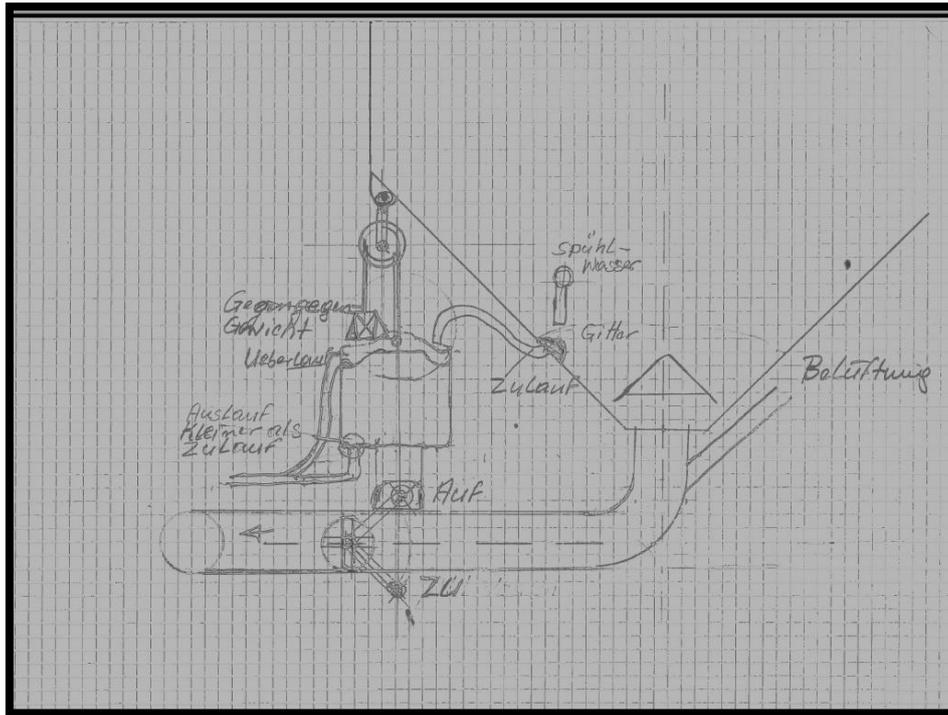


Abb. 6-5: Prinzipschema einer rein mechanischen Spülung

### Patent EDF

Es gab schon in den frühen 60-er Jahren eine Firma in Frankreich welche rein mechanisch betriebene, automatisierte Entsander-Anlagen bauten. Diese Systeme haben sich sehr bewährt und einige von Ihnen sind noch bis heute in Betrieb. Die Systeme sind jedoch sehr komplex und eine genauere Betrachtung dieser Systeme würde den Zeitrahmen dieser Diplomarbeit überschreiten.

Der grosse Schwachpunkt dieser Anlagen ist, dass sie nicht automatisiert sind und somit keine kontrollierte Spülung ausgeführt werden kann. Es kann grosser Schaden an Personen folgen.

Einige dieser Anlagen sind deshalb automatisiert worden und funktionieren nicht mehr rein mechanisch. Somit kann in die Spülintervalle eingegriffen werden. Diese können dann zum Bsp. während der Nacht erfolgen, wenn die Gefahr für die Menschen kleiner ist von einer Spülung in einem Bachbett mitgezogen zu werden. Ein Beispiel einer solchen Spülung befindet sich im **Anhang 12.3**

### 6.2.2 Mit Hilfe einer Solaranlage

Wenn eine Anlage gewünscht wird, welche von der Ferne aus gesteuert und kontrolliert werden kann, jedoch kein Strom vorhanden ist, gibt es noch die Lösung mit einer Solaranlage.

Um nicht zu grosse Solaranlagen zu verwenden, sollten der Spülvorgang und die Steuerung so einfach wie möglich sein und mit möglichst wenigen elektrischen Komponenten ausgelegt werden.

Nachfolgend ist eine einfache Lösung aufgelistet.

#### Absperrklappe Typ 140 PVC-U 24V Mit Handbetätigung

Die elektrisch angetriebene Absperrklappe Typ 140 von GF Piping Systems (Anhang 12.5) ist unter verschiedensten Bedingungen einsetzbar und ermöglicht ein breites Spektrum an Anwendungen. Weiter hat dieser Schieber den Vorteil, dass er über 24 V AC/DC betrieben kann, was uns bei der Solaranlage sehr gelegen kommt. Der Schieber kann direkt an die Kunststoffrohre angeschweisst werden.

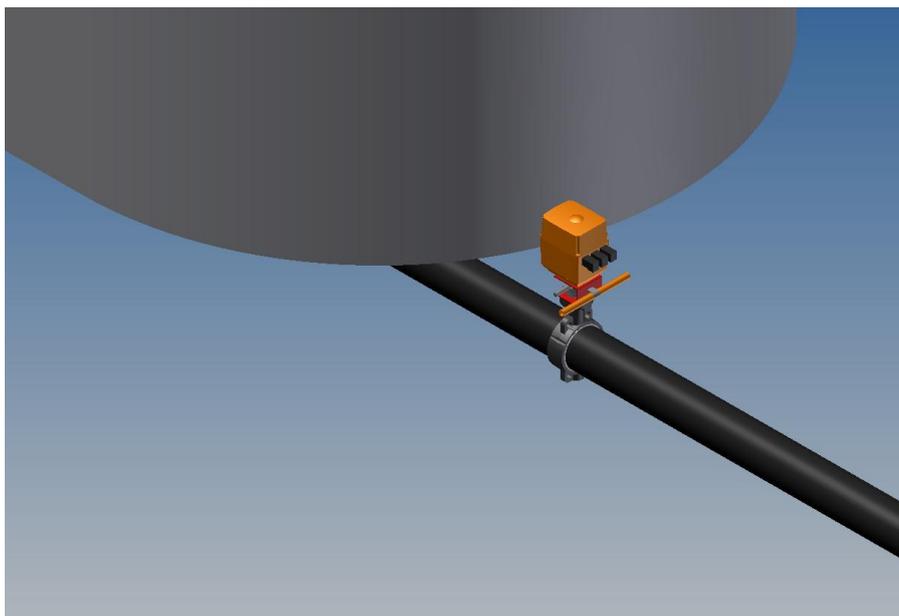


Abb. 6-6: Grafische Darstellung des Entleerungssystems

Zur Auslösung der Schieber, dienen 3 Trübungssensoren in den jeweiligen Becken. Es werden Trübungssensoren von Hach Lange Abb. 6-4 (Anhang 12.4) empfohlen.

#### Kostenschätzung der Spülungseinheit

	Anzahl [-]	Preis / St. [SFr.-]	Total [SFr.-]
Elektrische Ventile 24 V	3	500	1500
Steuerung Ventile	1	350	350
Trübungssensoren	3	150	450
Steuerung Trübungssensoren	1	250	250
Solaranlage	1	2500	2500
Rohre & Übergänge	1	1000	1000
<b>Total</b>			<b>6050</b>

Abb. 6-7: Kostenschätzung einer Spüleinheit mit Solaranlage

Auf den ersten Blick erscheinen die Ausgaben eines Spülsystems mit Solarenergie hoch. Wenn jedoch bedenkt wird, dass in Sommermonaten ein Verantwortlicher alle 2-4 Tage eine manuelle Spülung durchführen müsste, wird sich diese Investition binnen wenigen Jahren schon amortisieren.

## 7 REALISIERUNG

Die Entsander Geometrie wurde bis jetzt nur von der Seite Strömungstechnik an betrachtet. Ist man einmal zufrieden, mit dem Design des gewünschten Objektes, muss natürlich an die Realisierung der Geometrie gedacht werden. Es ist klar, dass der Entsander nur durch die gezeichneten Bleche nicht zusammen halten würde. Es muss an eine einfache Lösung zur Herstellung und an die Statik gedacht werden. Eine Lösung wäre die Aussenwände des Entsanders wie ein Profilblech herzustellen (Abb. Abb. 7-1). Auf dieses Profilblech können anschliessend auch Träger auf die Seite angeschweisst werden, welche als Füsse dienen.

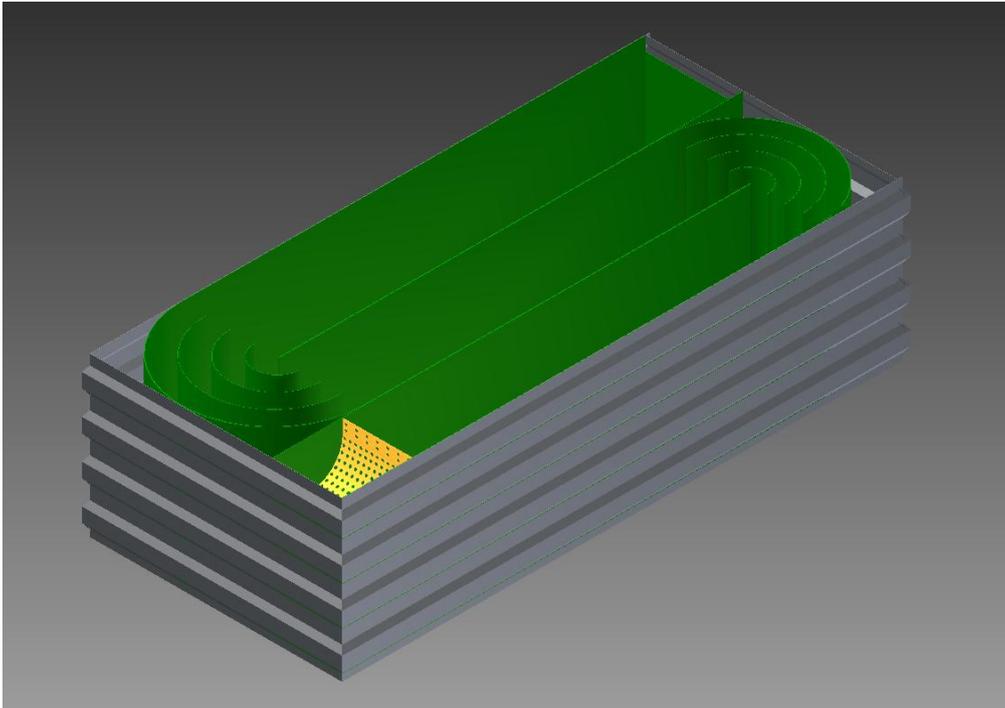


Abb. 7-1: Aussenwände mit Profilblech

Des Weiteren sollte die Grösse beachtet werden. Da unser Entsander eine Länge von 8m, eine Breite von 3,6m, sowie eine Höhe von 2,3m hat, wird es fast unmöglich sein, ihn an exponierte Stellen zu transportieren. Aus diesem Grund muss eine einfache Montagemöglichkeit gefunden werden, den Entsander in mehrere Teile zu zerlegen. Dies hätte ebenfalls grosse Vorteile für den Transport. Wenn die einzelnen Teile nicht allzu schwer sind, können sie per Helikopter problemlos an exponierte Stellen geflogen werden.

Eine Lösung wäre, alle 3 Becken einzeln herzustellen. Anschliessend werden sie am Rande verschraubt. Bei der Konstruktion muss auf die Dichtheit des Entsanders geachtet werden.

Als Werkstoff kann Stahl oder rostfreier Stahl verwendet werden. Da auf der ganzen Oberfläche des Stahls ein Korrosionsschutz aufgebracht werden muss, ist der rostfreie Stahl bis am Ende wahrscheinlich die billigere Lösung.

## 8 SCHLUSSFOLGERUNG

---

Für mich war es eine sehr interessante, anspruchsvolle und lernreiche Diplomarbeit. Es ist sehr interessant zu sehen, wie mit dem Simulationsprogramm Ansys, Strömungen bis ins kleinste Detail naturgetreu dargestellt werden können.

Sobald eine Simulation ausgeführt wurde und man die Resultate sieht, ist es einem immer logisch und klar, dass die Strömung so und nicht anders verläuft.

Mit dem fertigen Schlussprojekt bin ich eigentlich sehr zufrieden. Die Geometrie konnte so angepasst werden, dass die durchschnittliche Geschwindigkeit in den letzten 2 Becken bei rund 75mm/s liegen sollte. Somit sollten sich auch ganz feine Sandkörner von 0,2mm Durchmesser bereits nach 10m Durchlaufstrecke absetzen.

Anfangs des Projekts wurde besprochen, dass die Spülung rein mechanisch funktionieren sollte. Dieses Spülssystem hat jedoch den Nachteil, dass es zu einem beliebigen, unvorhersehbaren Zeitpunkt eine Spülung ausführen kann. Befindet sich der Sandfang in der Nähe eines Wanderweges, kann dies zu schweren Unfällen führen. Aus diesem Grund wurde anschliessend auch ein Spülssystem mit Solarenergie in Betracht gezogen. Dieses hat den wesentlichen Vorteil, dass es von der Ferne aus kontrolliert und gesteuert werden kann, sowie die Spülungen zum Beispiel nur in der Nacht ausführt, wenn sich keine Menschen in der Nähe befinden. Zusätzlich wurde auch noch eine Variante geprüft, bei welcher sich eine Spannungsquelle in der Nähe befindet. In diesem Fall könnte das System von Bieri angewendet werden, welches sich in der Praxis sehr bewährt hat. Bei diesem System braucht es jedoch sehr hohe Kräfte um die Schiebertafeln zu bewegen. Diese Bewegungen müssen mit Hydraulikzylindern ausgeführt werden und aus diesem Grund ist dieses System nicht so gut für ein mit Solarenergie gespeisenes Netz geeignet.

Für die Herstellung des Entsanders müssten noch eventuelle zusätzliche Bleche und Verstrebungen eingeschweisst werden, damit das ganze Becken auch statisch zusammenhält. Da der Entsander sehr gross ist, muss noch eine gute Lösung gefunden werden, ihn in mehrere Teile zu zerlegen. Somit wäre der Transport viel einfacher und der Sandfang könnte auch ins Territorium geflogen werden. Eine Möglichkeit wäre den Entsander in 3 Teile zu trennen, und ihn am Montageort zu verschrauben.

Des Weiteren ist zu sagen, dass solche Simulationen immer mit Vorsicht zu geniessen sind. Bei sämtlichen Rechnungen wurde mit einem stationären Eingangsdurchfluss von 200 l/s gerechnet. Wenn beispielsweise im Winter oder Frühling bevor die Schneeschmelze eintritt weniger Wasser fliesst, ändert sich das Strömungsverhalten des Entsanders und die erhaltenen Simulationen stimmen nicht mehr überein.

Trotzdem sind die heutigen Rechenprogramme der numerischen Simulation ein sehr grosses Hilfsmittel für die Ingenieure. Es können etliche Versuche und Prototypen erspart werden.

## 9 DANKSAGUNG

---

Am Ende meiner Diplomarbeit möchte ich mich bei allen Beteiligten meiner Arbeit bedanken. Ein grosses Dankeschön gilt Peter Wenger der Firma Stahleinbau. Er hatte die Idee, ein neues Entsandersystem für Kleinkraftwerke und Suonen zu konstruieren und stand mir anschliessend während der ganzen Diplomarbeit immer mit nützlichen Tipps und Ideen zur Seite.

Grosser Dank auch meiner Expertin, Cécile Münch-Alligne. Sie war von Anfang an von der Idee hell begeistert und stand mir stehend mit Rat zur Seite.

Nicht vergessen möchte ich auch Sylvain Richard sowie Fernando Biaggi.

Da ich persönlich keinen Zugriff auf den Berechnungsserver der ETH Lausanne hatte, musste Sylvain sämtliche Simulationen von mir immer auf den Server hochladen und starten. Fernando hatte auch immer wieder nützliche Tipps und Ideen, wenn ich bei der Firma Stahleinbau für eine Besprechung zu Besuch war.

## 10 LITERATUR

---

[1] Ansys Version 13.0

[2] OTT Nautlius C 2000

[3] Wasserbau, 7. Aktualisierte Auflage, Heinz Patt, peter Gonsowski

[4] Hydromechanik der Chemie und Küstengewässer, Ulrich C.E. Zanke, 2002

[5] Hach Lange GmbH, Rohrschacherstrasse 30a, 9424 Rheineck

## 11 UNTERSCHRIFT

---

Sion, den 06. Juli 2012

Brunner Nino

## **12 ANHANG**

---

### **12.1 DIMENSIONEN DES ENTSANDERMODELLS 25**

### **12.2 SENKGESCHWINDIGKEIT DER SANDKÖRNER**

### **12.3 ENTSANDER MIT MECHANISCHER SPÜLUNG TYP EDF**

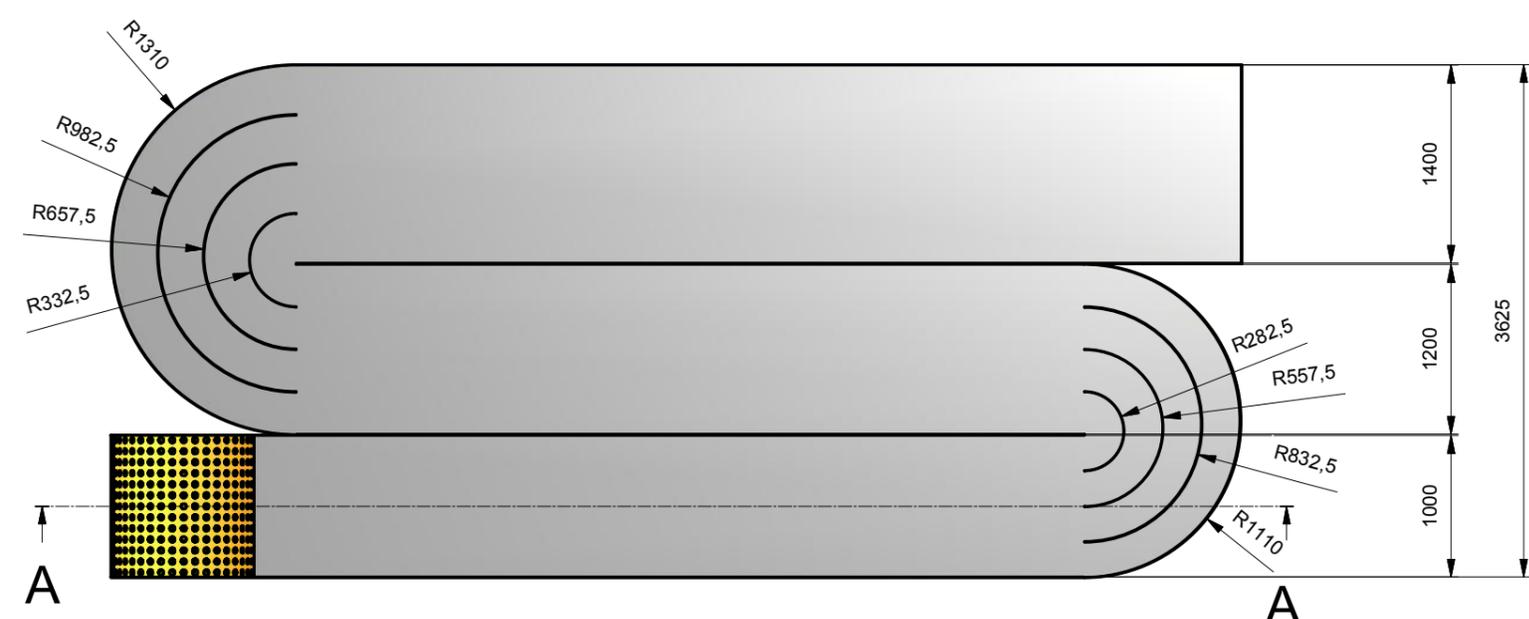
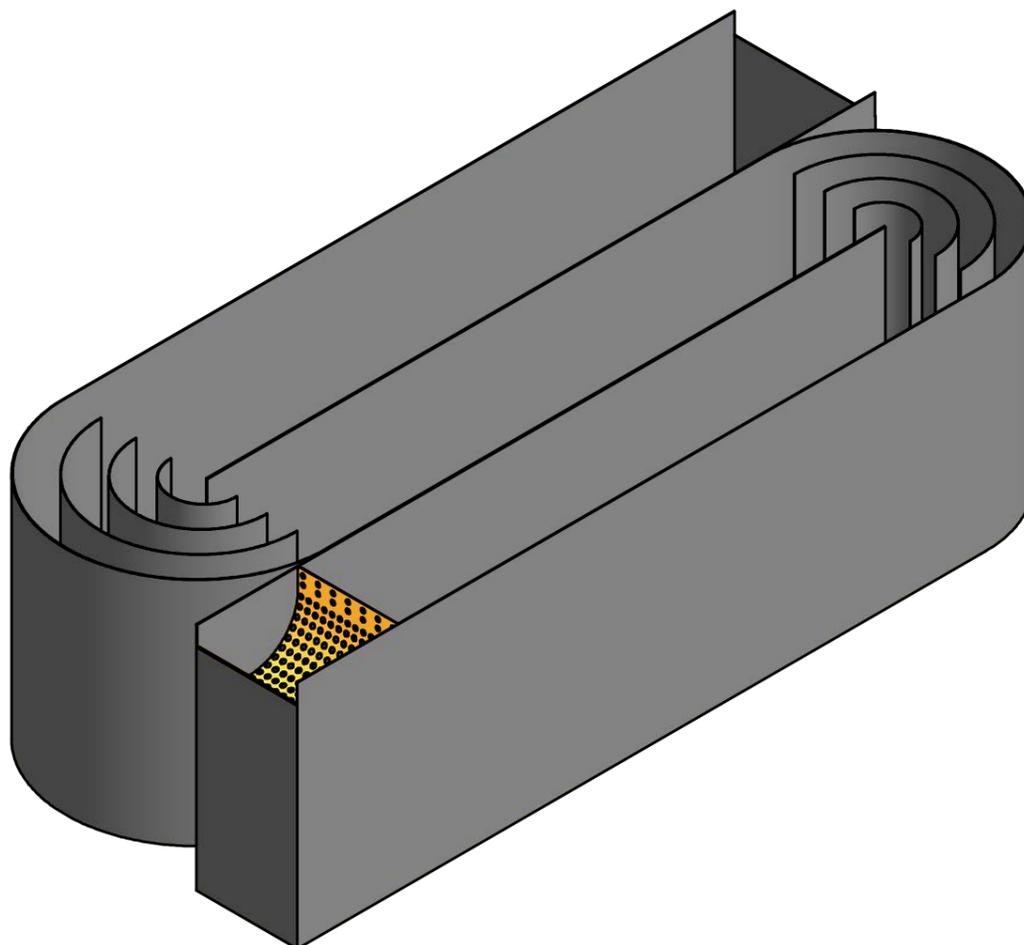
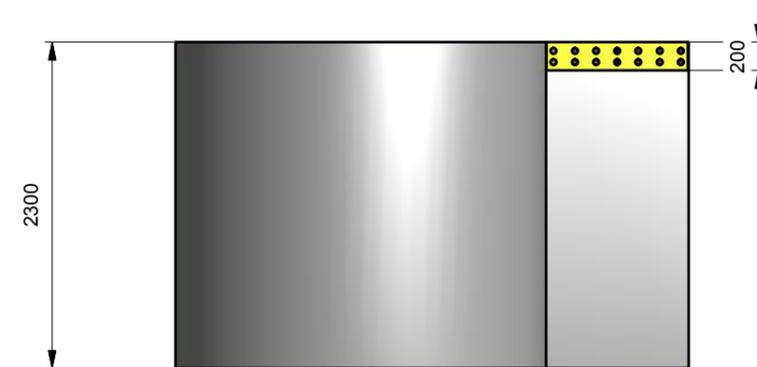
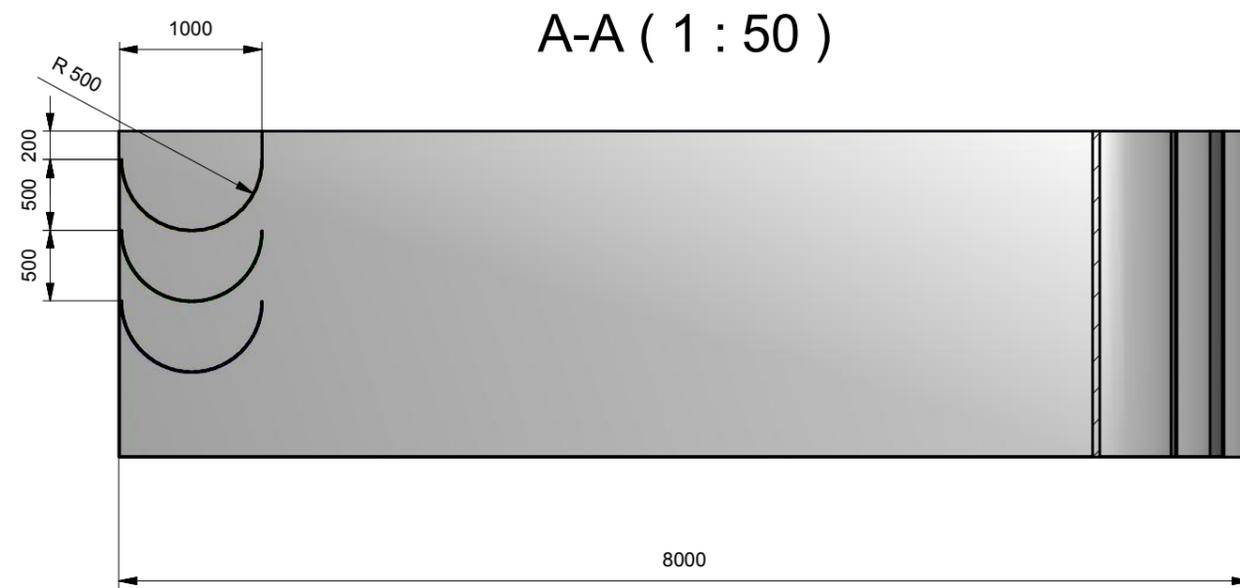
### **12.4 TRÜBUNGSENSOREN VON HACH LANGE**

### **12.5 DATENBLATT ABSPERRKLAPPE TYP 140 PVC-U 24V MIT HANDBETÄTIGUNG**

## 13 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 2-1: Entsander der Gemeinde Ausserberg im Baltschiedertal für die Niwärch Suon .....	5
Abb. 2-2: Die alte Suon „Chännilwasser“ .....	6
Abb. 2-3: Der Wasserstollen Niwärch mit dem Kanal auf der linken Seite .....	7
Abb. 2-4: Geographische Lage der Niwärch Suon von der Anfassung bis zum Ende des Wasserstollens .....	7
Abb. 3-1: Korngrößenverteilung in Gewichts-% bei der Anfassung .....	8
Abb. 3-2: Korngrößenverteilung in Gewichts-% beim Sammelbecken .....	9
Abb. 3-3: Netzstruktur eines Entsanders beim Wassereintritt .....	10
Abb. 3-5: Eingabe der Eintrittsgeschwindigkeit .....	11
Abb. 3-4: Definition der Eintrittsfläche .....	11
Abb. 3-7: Eingabe Ausgangsdruck .....	12
Abb. 3-8: Symmetrie auf der Oberfläche .....	12
Abb. 3-6: Definition Austrittsfläche .....	12
Abb. 3-9: Konvergenz einer Berechnung mit 1000 Iterationen .....	13
Abb. 3-10: Prozessschritte für Simulationen .....	14
Abb. 3-11: Linearisierte mittlere Bahnkurven für verschieden grosse Körner (Quelle [3]) .....	15
Abb. 3-12: Abhängigkeit der Sinkgeschwindigkeit $w_0$ vom Korndurchmesser $d$ und der kinematischen Zähigkeit $\nu$ (Quelle [3]) .....	17
Abb. 3-13: Senkgeschwindigkeiten im Wasser in Funktion des Korndurchmessers .....	19
Abb. 4-1: Entsander Geometrie 1 .....	20
Abb. 4-2: Theoretische Wassergeschwindigkeit .....	20
Abb. 4-3: Senk- und Steiggeschwindigkeit im Entsandermodell A1 .....	21
Abb. 4-4: Verwirbelungen im Becken .....	22
Abb. 4-5: Strömungslinien vom Modell A2 .....	23
Abb. 4-6: Eingangsblech mit aufgeschweissten $90^\circ$ -Winkeln .....	23
Abb. 4-7: Kammer-Entsander mit Verwirbelungsbrecher-Blechen .....	24
Abb. 4-8: Strömungslinien des Entsanders .....	24
Abb. 4-9: Senk-Steiggeschwindigkeit .....	25
Abb. 4-10: Fließgeschwindigkeit in x-Richtung .....	25
Abb. 4-11: Entsandermodell 4 .....	26
Abb. 4-12: Strömungslinien des Modells A4 .....	26
Abb. 4-13: Senk-Steiggeschwindigkeit des Modells A4 .....	27
Abb. 4-14: Horizontale Fließgeschwindigkeiten des Modells A4 .....	27
Abb. 4-15: Entsandermodell B0 .....	28
Abb. 4-16: Dimensionen des Entsandermodells B0 .....	29
Abb. 4-17: Senkgeschwindigkeiten für Sandkörner $> 0.2\text{mm}$ .....	30
Abb. 4-18: Strömungslinien am Eingang des Entsandermodells B0 .....	30
Abb. 4-19: Strömungslinien am Ausgang des Entsandermodells B0 .....	31
Abb. 4-20: Vertikale Wassergeschwindigkeit beim Ausgang des Entsanders B0 .....	31
Abb. 4-21: Horizontale Wassergeschwindigkeit beim Ausgang des Modell B0 .....	32
Abb. 4-22: Geometrie des Modells B1; geschnitten .....	32
Abb. 4-23: Strömungslinien des Entsandermodells B1 .....	33
Abb. 4-24: Geometrie des Modells 22; geschnitten beim Einlass .....	33
Abb. 4-25: Angaben zu den Lochblechen .....	34
Abb. 4-26: Strömungslinien des Entsandermodells B2 .....	34
Abb. 4-27: Strömungsbrecher .....	35
Abb. 4-28: Zoom auf Eintrittsbleche .....	35
Abb. 4-29: Draufsicht Strömungslinien .....	36
Abb. 4-30: Angaben zu den Lochblechen .....	36
Abb. 4-31: Strömungslinien des Entsandermodells B3 .....	37
Abb. 4-32: Zoom auf Eintrittsbleche .....	37
Abb. 4-33: Draufsicht Strömungslinien .....	38
Abb. 4-34: Geometrie der Lochbleche des Modells 24 .....	38
Abb. 4-35: Strömungslinien des Entsandermodells B4 am Eingang .....	39
Abb. 4-36: Draufsicht Strömungslinien .....	39
Abb. 4-37: Gesamtansicht Modell 25 .....	40
Abb. 4-38: Strömungslinien des Modells B5 .....	41

Abb. 4-39: Strömungsverhalten des Modells B5 aus der „Vogelperspektive“ .....	41
Abb. 4-40: Strömungsverhalten beim Eintritt der Lochbleche .....	42
Abb. 5-1: Strömungsverhalten beim Eintritt der Lochbleche .....	43
Abb. 5-2: Horizontale Fliessgeschwindigkeit nach 3m des Modells 25 mit 2 Lochblechen .....	44
Abb. 5-3: Horizontale Fliessgeschwindigkeiten nach 3m des Modells 25 mit 3 Lochblechen .....	45
Abb. 5-4: Abstände zwischen den Lochblechen Modell 25 mit 3LB.....	45
Abb. 5-5: Zoom auf den Wassereintritt .....	46
Abb. 5-6: Engere Abstände zwischen den Lochblechen Modell 25 mit 3LB.....	46
Abb. 5-7: Horizontale Fliessgeschwindigkeit mit kleineren Distanzen zwischen Lochblechen .....	47
Abb. 5-8: Strömungsvektoren am Entsandereintritt .....	48
Abb. 6-1: Bieri-Entsander (Quelle: ETHZ) .....	49
Abb. 6-2: Dimensionen der einzelnen Kammern .....	50
Abb. 6-3: Dimensionen der Hydraulikzylinder .....	53
Abb. 6-4: Prinzipschema des Trübungssensor Solitax der Firma Hach Lange .....	53
Abb. 6-5: Prinzipschema einer rein mechanischen Spülung .....	55
Abb. 6-6: Grafische Darstellung des Entleerungssystems .....	56
Abb. 6-7: Kostenschätzung einer Spüleinheit mit Solaranlage .....	56
Abb. 7-1: Aussenwände mit Profilblech.....	57



	Dessiné Gezeichnet		03.07.2012	Echelle Massstab
	Contrôle Geprüft			1:1
Fichier L:\Inventor-PArts\Entsander\Realisierung\Modell_25.idw				

Eingaben				
Q	Durchfluss	[m <sup>3</sup> /s]		0.2
h	Beckenhöhe	[m]		2.5
v	gew. Mitl. Strömungsge	[m/s]		0.032
b	empfohlene Beckenbrei	[m]		2.50
α	Abminderungsfaktor	[-]		0.083
w	sinkgeschwindigkeit	[m/s]		0.0057
w	sinkgeschwindigkeit	[mm/s]		5.73
L	empfohlene Beckenläng	[m]		13.95
V	Beckenvolumen	[m <sup>3</sup> ]		87

Bemessungskorn [mm]	im stillen H <sub>2</sub> O	im fließenden H <sub>2</sub> O	w- Strömung(40mm/s)	w- Strömung(20mm/s)
	w <sub>o</sub> Zanke [mm/s]	w Zanke korr. [mm/s]		
0.1	8.4	5.7	-34.3	-14.3
0.11	10.1	7.4	-32.6	-12.6
0.12	11.8	9.1	-30.9	-10.9
0.13	13.7	11.0	-29.0	-9.0
0.14	15.6	12.9	-27.1	-7.1
0.15	17.5	14.9	-25.1	-5.1
0.16	19.6	16.9	-23.1	-3.1
0.17	21.6	19.0	-21.0	-1.0
0.18	23.7	21.0	-19.0	1.0
0.19	25.8	23.1	-16.9	3.1
0.2	27.9	25.2	-14.8	5.2
0.21	30.0	27.3	-12.7	7.3
0.22	32.0	29.4	-10.6	9.4
0.23	34.1	31.4	-8.6	11.4
0.24	36.1	33.5	-6.5	13.5
0.25	38.1	35.5	-4.5	15.5
0.26	40.1	37.5	-2.5	17.5
0.27	42.1	39.4	-0.6	19.4
0.28	44.0	41.3	1.3	21.3
0.29	45.9	43.2	3.2	23.2
0.3	47.7	45.1	5.1	25.1
0.31	49.6	46.9	6.9	26.9
0.32	51.3	48.7	8.7	28.7
0.33	53.1	50.4	10.4	30.4
0.34	54.8	52.2	12.2	32.2
0.35	56.5	53.9	13.9	33.9
0.36	58.2	55.5	15.5	35.5
0.37	59.8	57.2	17.2	37.2
0.38	61.4	58.8	18.8	38.8
0.39	63.0	60.3	20.3	40.3
0.4	64.6	61.9	21.9	41.9
0.41	66.1	63.4	23.4	43.4
0.42	67.6	64.9	24.9	44.9
0.43	69.0	66.4	26.4	46.4
0.44	70.5	67.8	27.8	47.8
0.45	71.9	69.2	29.2	49.2
0.46	73.3	70.6	30.6	50.6
0.47	74.7	72.0	32.0	52.0
0.48	76.0	73.4	33.4	53.4
0.49	77.4	74.7	34.7	54.7
0.5	78.7	76.0	36.0	56.0
0.51	80.0	77.3	37.3	57.3

0.52	81.3	78.6	38.6	58.6
0.53	82.5	79.9	39.9	59.9
0.54	83.8	81.1	41.1	61.1
0.55	85.0	82.3	42.3	62.3
0.56	86.2	83.5	43.5	63.5
0.57	87.4	84.7	44.7	64.7
0.58	88.6	85.9	45.9	65.9
0.59	89.8	87.1	47.1	67.1
0.6	90.9	88.2	48.2	68.2
0.61	92.0	89.4	49.4	69.4
0.62	93.2	90.5	50.5	70.5
0.63	94.3	91.6	51.6	71.6
0.64	95.4	92.7	52.7	72.7
0.65	96.4	93.8	53.8	73.8
0.66	97.5	94.8	54.8	74.8
0.67	98.6	95.9	55.9	75.9
0.68	99.6	97.0	57.0	77.0
0.69	100.7	98.0	58.0	78.0
0.7	101.7	99.0	59.0	79.0
0.71	102.7	100.0	60.0	80.0
0.72	103.7	101.0	61.0	81.0
0.73	104.7	102.0	62.0	82.0
0.74	105.7	103.0	63.0	83.0
0.75	106.7	104.0	64.0	84.0
0.76	107.6	105.0	65.0	85.0
0.77	108.6	105.9	65.9	85.9
0.78	109.5	106.9	66.9	86.9
0.79	110.5	107.8	67.8	87.8
0.8	111.4	108.7	68.7	88.7
0.81	112.3	109.7	69.7	89.7
0.82	113.2	110.6	70.6	90.6
0.83	114.2	111.5	71.5	91.5
0.84	115.1	112.4	72.4	92.4
0.85	115.9	113.3	73.3	93.3
0.86	116.8	114.2	74.2	94.2
0.87	117.7	115.0	75.0	95.0
0.88	118.6	115.9	75.9	95.9
0.89	119.4	116.8	76.8	96.8
0.9	120.3	117.6	77.6	97.6
0.91	121.2	118.5	78.5	98.5
0.92	122.0	119.3	79.3	99.3
0.93	122.8	120.2	80.2	100.2
0.94	123.7	121.0	81.0	101.0
0.95	124.5	121.8	81.8	101.8
0.96	125.3	122.7	82.7	102.7
0.97	126.1	123.5	83.5	103.5
0.98	127.0	124.3	84.3	104.3
0.99	127.8	125.1	85.1	105.1
1	128.6	125.9	85.9	105.9



## Für höchsten Feststoff-Gehalt und geringste Trübung: SOLITAX sc

- **Farbunabhängige Messung der Feststoffe**
- **Keine Kalibrierung**
- **Bewährtes Reinigungssystem**
- **Als Becken- oder Rohreinbausonde**
- **Kombinierbar mit Sonden für O<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub>, pH etc.**

### **Umfangreicher Einsatzbereich**

Die Prozess-Sonden der SOLITAX sc Familie ermitteln mit hoher Präzision Trübungen in ultraklaren bis stark getrübbten Medien sowie Feststoffkonzentrationen in Beleb-, Primär- oder Faulschlamm.

Die Einsatzmöglichkeiten von SOLITAX sc erstrecken sich somit von der Trink- und Abwasseraufbereitung über die Überwachung von Oberflächenwasser bis hin zur Schlammbehandlung.

### **Hohe Wirtschaftlichkeit**

Aufwendige Mehrpunkt-Kalibrierungen mit Verdünnungsreihen werden ersetzt durch einen einzigen Anpassungsfaktor. Der weite Messbereich von 0,001 FNU bis zu 150 g/l erschließt die optimale Lösung für jede Applikation. Die Anzeige und Weiterverarbeitung der Messdaten erfolgt über die Controller SC 100 oder SC 1000. Kurzum Vorteile, die auf Dauer zukunftsicher und wirtschaftlich sind.



**LANGE** 

# Vorteile, die bestehen: SOLITAX sc

### Maximale Zeitersparnis

Alle SOLITAX sc Sonden sind nach DIN EN ISO 7027 werkseitig langzeitstabil kalibriert. Ein Korrekturfaktor ersetzt dabei die sonst aufwändigen Mehrpunkt-Kalibrierungen vor Ort. Der automatische Wischer verhindert ein Verschmutzen der Messfenster bereits im Entstehen. Das Ergebnis: Stablere Messwerte und geringerer Wartungsaufwand.

### Maximale Variabilität

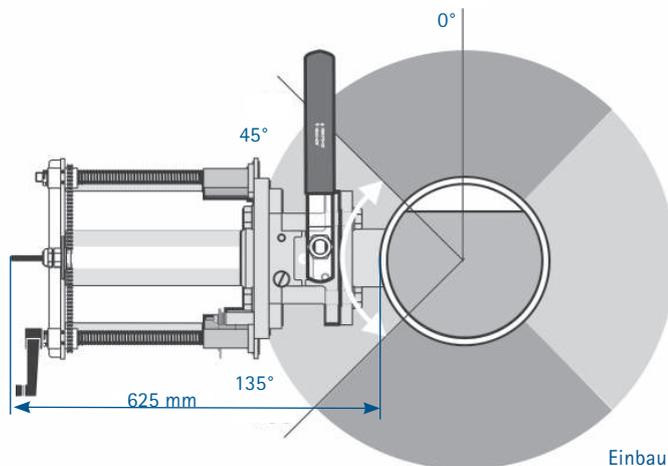
Trübungs- oder Feststoffmessung, Kunststoff- oder Edelstahl-Gehäuse mit oder ohne automatische Wischerreinigung - SOLITAX sc bietet für jeden Einsatzbereich die passende Sonde. Und diese Variabilität setzt sich bei den Befestigungssystemen für die Tauch- und Rohreinbausonden fort.

### SOLITAX sc Varianten

	t-line sc	ts-line sc	inline sc	hs-line sc	highline sc
<b>TRÜBUNGSMESSUNG</b>					
Trinkwasser	●	●	●	●	●
Abwasser	●	●	●	●	●
<b>FESTSTOFFMESSUNG</b>					
Primärschlamm				●	●
Eingedickter Schlamm				●	●
Belebtschlamm		●	●	●	●
Rücklaufschlamm		●	●	●	●
Entwässerter Rücklaufschlamm		●	●	●	●
Faulschlamm				●	●
Zentratwasser		●	●	●	●
Kalkschlamm		●	●	●	●

● geeignet

### Installationsbeispiel SOLITAX sc als Einbausonde



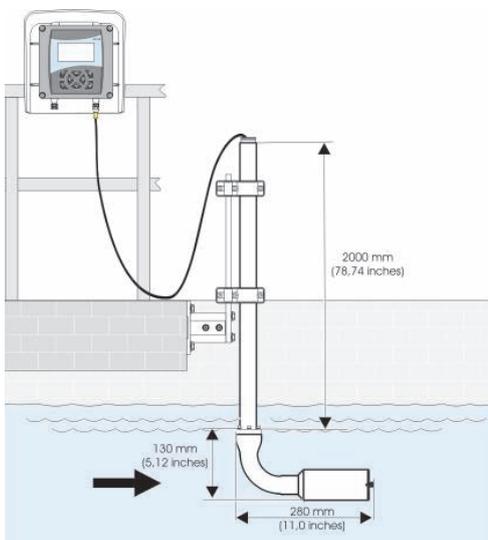
Einbau in die Rohrleitung mittels Sicherheitseinbauarmatur, empfohlener Montagewinkel 45° bis 135°.

## Technische Daten

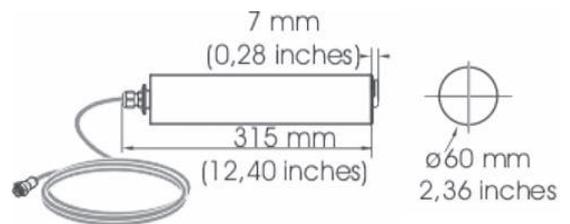
	t-line sc	ts-line sc	inline sc	hs-line sc	highline sc
Parameter	Trübung -			Trübung Feststoffe	
Messverfahren	90°IR-Streulicht			IR-Duo-Streulicht	
- Trübung	DIN EN ISO 7027			DIN EN ISO 7027	
- Feststoff	-			Äquivalent DIN 37414	
Messbereich					
- Trübung*	0,001 - 4.000 FNU			0,001 - 4.000 FNU	
- Feststoff	-	0,001 - 50 g/l			0,001 - 150 g/l
Genauigkeit					
- Trübung*	<1% bzw. 0,001 FNU			<1% bzw. 0,001 FNU	
- Feststoff	-			<5%	
Ansprechzeit	1 - 300 sec			1 - 300 sec	
Probentemperatur	0 - 40 °C			0 - 40 °C	
Fließgeschwindigkeit	3 m/s			3 m/s	
Eintauchtiefe	0,1 - 10 m	0,1 - 10 m/60 m**	-	0,1 - 10 m/60 m**	-
Druckbereich	1 bar	1bar/6 bar**	6 bar	1bar/6 bar**	6 bar
Gewicht	520 g	520 g/1.400 g**	-2.400 g**	520 g/1.400 g**	2.400 g**
Maße (D x L)	60 x 200 mm	60 x 200 mm	60 x 315 mm	60 x 200 mm	60 x 315 mm
Gehäuse	PVC	PVC/Edelstahl	Edelstahl	PVC/Edelstahl	Edelstahl
Reinigung	Mit automatischem Wischer/ohne				
Kabellänge	10 m fest, max. 100 m Verlängerungskabel				
Einbauart	Tauchsonde	Tauchsonde	Einbausonde	Tauchsonde	Einbausonde
Anzeigeeinheit	SC 100 Controller (Modell LXV401) oder SC 1000 Controller (Modell LXV400 und Modell LXV402)				

\* Bei anwenderspezifischer Offset- und Steilheitskorrektur. \*\* PVC/Edelstahl

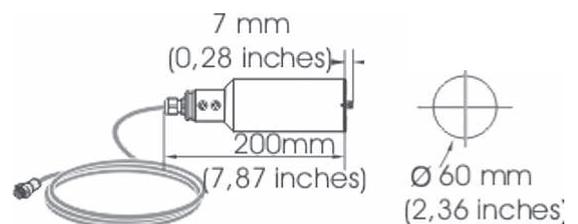
## Installationsbeispiel SOLITAX sc als Tauchsonde



## SOLITAX sc Einbausonde



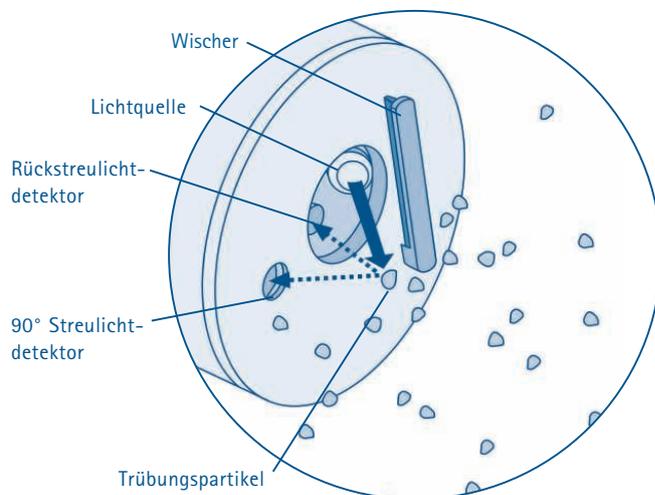
## SOLITAX sc Tauchsonde



## Das SOLITAX sc Prinzip

### Einzigartige farbumabhängige Feststoffmessung

Primär- und Belebtschlämme verschiedener Struktur und Farbe, dunkle Faulschlämme und helle Kalkschlämme stellen höchste Anforderungen an eine präzise Feststoffmessung. Nur SOLITAX sc Feststoffsonden mit dem patentierten Duo-Streulicht-Messverfahren werden diesen Ansprüchen gerecht. Entscheidendes Prinzip: Parallele Auswertung unterschiedlicher Streulichtsignale.



Funktion SOLITAX sc



#### SC 100 Controller

Bis zu zwei SC-Sonden anschließbar, z. B. SOLITAX sc mit O<sub>2</sub>, pH, NO<sub>3</sub>, etc.



#### SC 1000 Controller

Bis zu acht SC-Sonden anschließbar, optionale Erweiterung durch Vernetzung.

### HACH LANGE Services



Der kurze Draht für Bestellungen, Informationen und Beratung: Rufen Sie uns einfach an!



Unterstützung vor Ort durch technisch versierten Außendienst.

### Bestellinformation

BESCHREIBUNG	BEST.-NR.
SOLITAX sc aus Edelstahl und mit Wischer*	
- ts-line	LXV423.99.00100
- hs-line	LXV423.99.00200
- inline	LXV424.99.00100
- highline	LXV424.99.00200
SOLITAX sc aus PVC und mit Wischer*	
- t-line	LXV423.99.10000
- ts-line	LXV423.99.10100
- hs-line	LXV423.99.10200
<b>ZUBEHÖR</b>	
Beckenrandbefestigung	LZX414.00.10000
Sicherheitseinbauarmatur Edelstahl	LZX337
Einbauarmatur Edelstahl	LZX461
Vorschweißflansch Edelstahl	LZX660
Verlängerungskabel	
- 5 m	LZX848
- 10 m	LZX849
- 15 m	LZX850
- 20 m	LZX851
- 30 m	LZX852
- 50 m	LZX853
SC 100 Controller	LXV401
SC 1000 Controller	LXV400 und LXV402
<b>ERSATZ- UND VERSCHLEISSTEILE</b>	
Wischerprofile aus Silikon (5 mm)	LZX050
Wischerprofile aus Viton (5 mm)	LZX578

\* Alle SOLITAX sc Sonden sind auch ohne Wischer erhältlich.

**HACH LANGE GMBH**  
Rorschacherstrasse 30a  
CH-9424 Rheineck  
Tel. +41 (0)848 55 66 99  
Fax +41 (0)71 886 91 66  
info@hach-lange.ch  
www.hach-lange.ch



Hotline Mo-Fr, 7:30 - 17:00  
0848 55 66 99

## Absperrklappen elektrisch

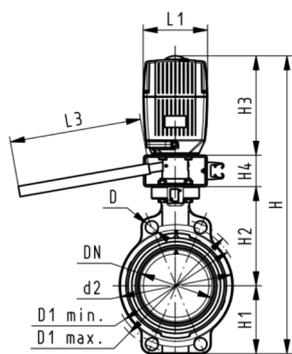
### Absperrklappe Typ 140 PVC-U 24V Mit Handbetätigung



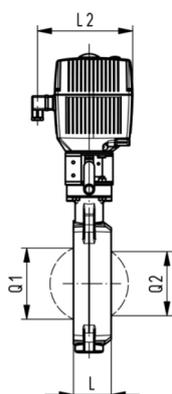
#### Ausführung:

- Anschlussmasse nach: ISO 7005 PN 10, EN 1092 PN 10, DIN 2501 PN 10, ANSI/ASME B 16.5 Klasse 150, BS 1560: 1989, JIS B 2220
- Baulänge nach EN 558, ISO 5752
- Spannung 24 V AC/DC
- Kontrollzeit 15 s/90°<) EA31
- Kontrollzeit 25 s/90°<) EA42
- Stellbereich 90°<)
- Antrieb mit integrierter Handnotbetätigung standardmässig

d [mm]	DN [mm]	Zoll	PN	kv-Wert ( $\Delta p=1$ bar) [l/min]	EPDM Code	FPM Code	kg
63	50	2	10	1470	199 140 082	199 140 102	5,682
75	65	2 ½	10	2200	199 140 083	199 140 103	5,786
90	80	3	10	3000	199 140 084	199 140 104	5,953
110	100	4	10	6500	199 140 085	199 140 105	6,573
140	125	5	10	11500	199 140 086	199 140 106	7,144
160	150	6	10	16600	199 140 087	199 140 107	8,154
225	200	8	10	39600	199 140 088	199 140 108	14,134



d [mm]	Stellantrieb Typ	D [mm]	D1 min. [mm]	D1 max. [mm]	d2 [mm]	H [mm]	H1 [mm]	H2 [mm]	H3 [mm]	H4 [mm]	L [mm]	L1 [mm]	L2 [mm]
63	EA-31	19	120,0	125,0	104	460	77	134	188	60	45	122	180
75	EA-31	19	139,7	145,0	115	473	83	140	188	60	46	122	180
90	EA-31	19	150,0	160,0	131	488	89	146	188	60	49	122	180
110	EA-31	19	175,0	190,5	161	520	104	167	188	60	56	122	180
140	EA-31	23	210,0	215,9	187	547	117	181	188	60	64	122	180
160	EA-31	24	241,3	241,3	215	568	130	189	188	60	72	122	180
225	EA-42	23	290,0	295,0	267	635	158	210	208	60	73	122	180



d [mm]	L3 [mm]	Q1 [mm]	Q2 [mm]
63	250	40	
75	250	54	35
90	250	67	50
110	250	88	74
140	250	113	97
160	250	139	123
225	250	178	169

Die technischen Daten sind unverbindlich. Sie beinhalten keine Zusicherungen von Eigenschaften. Änderungen vorbehalten. Es gelten unsere Allgemeinen Verkaufsbedingungen.

# **GF Piping Systems**

## **Datenblatt**

gültig ab  
10.03.09

Georg Fischer Rohrleitungssysteme AG, Postfach, CH-8201 Schaffhausen/Switzerland  
Phone +41 -(0)52-631 1111  
e-mail: [info.ps@georgfischer.com](mailto:info.ps@georgfischer.com)  
Internet: <http://www.piping.georgfischer.com>