

Modul BIW3-11 Flussbau & wasserbauliche Modellierung

Übungsaufgabe: Stoffgebiet «Wasserbauliche Modellierung»

Name, Vorname: Herzig, Sarah Jessica

Matrikel-Nr.: 5033923

Anerkennung:

Praktikumstermin: 30.05.2022

Abgabe: 14 Tage später als der Praktikumstermin – 13.06.2022

Aufgabenstellung:

1. Ermitteln Sie entsprechend dem Messprotokoll die für Ihre Messeinstellung angegebenen Werte  $h$ ,  $Q$ , Druckverteilung  $z_p$  und Wasserspiegellage  $z_{WS}$  am Überfall und tragen Sie diese Werte in Ihr Protokoll ein.
2. Stellen Sie die Unterwassertiefe  $h_2$  so ein, dass der freie Wechselsprung gerade am Wehr anliegt. Messen Sie die Wassertiefen vor ( $h_1$ ) und nach ( $h_2$ ) dem Wechselsprung und schätzen Sie seine Länge  $L_{WS}$ .
3. Berechnen Sie aus der Energiehöhe für ein verlustfreies Überströmen ( $h_{E0} = h_{E1}$ ) den Wasserstand  $h_1$  und die Geschwindigkeit  $v_1$  direkt hinter dem Wehr. Führen Sie eine Kontrollrechnung durch. Berechnen Sie für den gerade anliegenden Wechselsprung die konjugierte Unterwassertiefe  $h_2$  und die Wechselsprunglänge  $L_{WS}$  und vergleichen Sie diese Werte mit den unter Punkt 2 gemessenen ( $Q = Q_{MID}$ ). Berechnen Sie den Energieverlust im Wechselsprung  $h_{V_{WS}}$ .
4. Berechnen Sie mit der Poleni-Überfallformel aus Ihren Messwerten die Überfallbeiwerte  $\mu$  und  $C$  und vergleichen Sie diese mit Werten und Berechnungsformeln aus der Literatur/Skript.
5. Zeichnen Sie das Strom- und Potentialliniennetz zwischen Überfallrücken und gemessenem Wasserspiegel. Beginnen Sie mit der Konstruktion etwa  $2 \cdot h$  vor dem Wehr und stellen Sie etwa 2 bis 3 Stromlinien dar.
6. Stellen Sie die abgewinkelten Randstromlinien ( $\varphi_{SO}$ ,  $\varphi_{SÜ}$ ) und die Randgeschwindigkeiten ( $v_{SO}$ ,  $v_{SÜ}$ ) für Wasserspiegel und Wehrrücken jeweils in einer Tabelle und einem Diagramm dar.
7. Berechnen Sie die Druckverteilung aus Ihrem konstruierten Strom- und Potentialliniennetz und stellen Sie diese zusammen mit den gemessenen Werten am Überfall grafisch dar.
8. Bestimmen Sie versuchstechnisch die Lage des Fließwechsels im Bereich der Wehrkrone und vermaßen Sie Ihr Ergebnis. Dokumentieren Sie das Ergebnis auch visuell (Foto, Video, ...). Nehmen Sie im Vorfeld eine rechnerische Vorabschätzung vor und gleichen Sie diese mit den experimentell gewonnenen Werten ab.
9. Stellen Sie in Abstimmung mit Ihrem Betreuer die Ergebnisse Ihres Überfallbelegs im Rahmen eines Kolloquiums vor.

Aufgabenbearbeitung:

Annahmen:

- Ungenauigkeiten beim Messen mit dem Spitzenpegel aufgrund des Umstandes, dass der Wasserspiegel immer in Bewegung ist, werden in Kauf genommen.
- Die Bohrungen der Piezometer sind sorgfältig erfolgt und entgratet.
- Die Pumpe, die das Wasser in dem Kanal umwälzt, erzeugt kleine Schwankungen der Durchflussmenge, welche hier ignoriert werden.
- Eine Fehleranalyse musste nicht durchgeführt werden.

1. Ermittelte Werte:

Durchflussermittlung mit MID (Rechenwert):	$Q_{MID} = 20.83 \text{ [l/s]}$	
Überfallhöhe am Überfall und Höhe vor Wechselsprung:	$h = 101 \text{ mm}$	$h_1 = 22 \text{ mm}$
Unterwasserhöhe und Wechselsprunglänge:	$h_2 = 160 \text{ mm}$	$L_{WS} = 1'000 \text{ mm}$

Nr.:	Druckstutzen			Manometer	Wehr-Druck	Wasserspiegellage	
	$\alpha$ [°]	x [mm]	z [mm]			$z_p$ [mm]	$z - z_p$ [mm]
Achsrichtung beachten						-300	-101
						-200	-202
						-100	10
1	117	-45.4	10.9	49	-38.1	-45.4	49
2	107	-29.2	4.4	21	-16.6	-29.2	59
3	97	-12.2	0.7	0	0.7	-12.2	66
4	87	5.2	0.1	-19	19.1	5.2	73
5	77	22.5	2.7	-35	37.7	22.5	78
6	67	39.1	7.9	-48	55.9	39.1	82
7	57	54.5	16.1	-53	69.1	54.5	86
8	47	68.2	26.9	-72	98.9	68.2	87
9	37	79.9	39.8	-82	121.8	79.9	90
10	27	89.1	54.6	-88	142.6	89.1	91
11	17	95.6	70.7	-93	163.7	95.6	91
12	7	99.3	87.8	-97	184.8	99.3	91

2. Werte bei eingestellter Unterwassertiefe mit freiem, am Wehr anliegendem Wechselsprung:

Höhe vor Wechselsprung:	$h_1 = 22 \text{ mm}$	
Unterwasserhöhe und Wechselsprunglänge:	$h_2 = 160 \text{ mm}$	$L_{WS} = 1'000 \text{ mm}$

3. Berechnung des Wasserstandes  $h_1$  und der Geschwindigkeit  $v_1$  direkt hinter dem Wehr:

$$\begin{aligned}
 h_{E0} &= h_{E1} \\
 h_{E1} &= h_1 + \frac{v_1^2}{2g} \\
 h_1 &= h_{E1} - \frac{v_1^2}{2g} = h_{E1} - \frac{\left(\frac{Q}{A_1}\right)^2}{2g} = h_{E1} - \frac{\left(\frac{Q}{h_1 * b}\right)^2}{2g} = 0.358 - \frac{\left(\frac{0.02083}{h_1 * 0.3}\right)^2}{2 * 9.81} = \\
 &= 0.358 - \frac{\left(\frac{0.0694}{h_1}\right)^2}{19.62} = 0.2722 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Iterativ mit Excel Zielwertsuche gelöst:

Gegebene Werte:			
r	0.1	m	
w	0.255	m	
b	0.3	m	
Gemessene Werte:			
h	0.101	m	
Q	0.02083	m <sup>3</sup> /s	
h <sub>1</sub>	0.022	m	
Berechnete Werte:			
h <sub>0</sub>	0.356	m	
A <sub>0</sub>	0.1068	m <sup>2</sup>	
v <sub>0</sub>	0.195	m/s	
h <sub>E0</sub>	0.3579388	m	
h <sub>E1</sub>	0.358	m	
h <sub>1</sub>	0.02722339	m	ermittelt mit Zielwertsuche = veränderliche Zelle
h <sub>E1</sub>	0.02638605	m	
Differenz h <sub>1</sub> -h <sub>E1</sub>	0.00083733	m	Zelle, deren Zielwert 0 werden sollte
v <sub>1</sub>	2.55050294	m/s	

Kontrollrechnung:

$$h_{E1} = h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = 0.027 + \frac{2.5505^2}{2 * 9.81} = 0.35855 \text{ m}$$

Berechnung der konjugierten Unterwassertiefe  $h_2$  und der Wechselsprunglänge  $L_{ws}$ :

$$Fr_1 = \frac{v_1}{\sqrt{g * h_1}} = \frac{2.5505}{\sqrt{9.81 * 0.02722}} = 4.9$$

$$\begin{aligned}
 \frac{h_2}{h_1} &= \frac{1}{2} * \left( \sqrt{1 + 8 * Fr_1^2} - 1 \right) \\
 h_2 &= h_1 * \frac{1}{2} * \left( \sqrt{1 + 8 * Fr_1^2} - 1 \right) = 0.02722 * 0.5 * \left( \sqrt{1 + 8 * 4.9^2} - 1 \right) \\
 &= 0.177 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Verwendung der Formel (6.69) nach Rouse aus dem Buch Techn. Hydromechanik THM Band 1, Kap. 6.5.3.2 Überschlagsbemessung ebener Tosbecken.

$$\frac{L_{ws}}{h_1} = 2.5 * \left( \sqrt{1 + 8 * Fr_1^2} - 1 \right)$$

$$L_{ws} = h_1 * 2.5 * \left( \sqrt{1 + 8 * Fr_1^2} - 1 \right) = 0.02722 * 2.5 * \left( \sqrt{1 + 8 * 4.9^2} - 1 \right)$$

$$= 0.884 \text{ m}$$

Man sieht, dass die errechneten Werte relativ nah an den gemessenen Werten liegen. Aufgrund des schmalen Kanals war es schwierig die Höhe  $h_1$  zu messen.

Berechnung des Energieverlustes  $h_{v\_ws}$  (im ebenen Wechselsprung):

$$v_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{0.02083}{0.177 * 0.3} = 0.3925 \text{ m/s}$$

$$h_{v\_ws} = \left( h_1 + \frac{v_1^2}{2g} \right) - \left( h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \right) = \left( 0.02722 + \frac{2.5505^2}{2 * 9.81} \right) - \left( 0.177 + \frac{0.3925^2}{2 * 9.81} \right)$$

$$= 0.174 \text{ m}$$

#### 4. Berechnung der Überfallbeiwerte $\mu$ und C aus der Poleni-Überfallformel

Die Poleni-Formel ist:

$$Q = \frac{2}{3} * \mu * b * \sqrt{2g} * h^{3/2} = C * b * h^{3/2}$$

Umgestellt nach  $\mu$ :

$$\mu = \frac{3 * Q}{2 * b * \sqrt{2g} * h^{3/2}} = \frac{3 * 0.02083}{2 * 0.3 * \sqrt{2 * 9.81} * 0.101^{3/2}} = 0.7325$$

$$C = \frac{2}{3} * \mu * \sqrt{2g} = 2.953 * \mu = 2.953 * 0.7325 = 2.163$$

$\mu = 0.7325$  und  $C = 2.163$ . Diese Werte entsprechen den im Skript und in Literatur angegebenen Werten für ein rundkroniges Wehr bei einem vollkommenen Überfall. Im Buch THM Band 1 (7. Auflage), Seite 399 (9.7) gibt es eine Formel für die Berechnung von  $\mu$  bei einem halbkreisförmig ausgerundetem Überfall mit senkrechten Wänden:

$$\mu = 1.02 - \frac{1.015}{\frac{h}{r} + 2.08} + \left[ 0.04 * \left( \frac{h}{r} + 0.19 \right)^2 + 0.0223 \right] * \frac{r}{w} =$$

$$= 1.02 - \frac{1.015}{\frac{0.101}{0.1} + 2.08} + \left[ 0.04 * \left( \frac{0.101}{0.1} + 0.19 \right)^2 + 0.0223 \right] * \frac{0.1}{0.255} = 0.723$$

Diese Formel arbeitet ohne eine Durchflussmenge und nur mit  $h$ ,  $r$  und  $w$ .

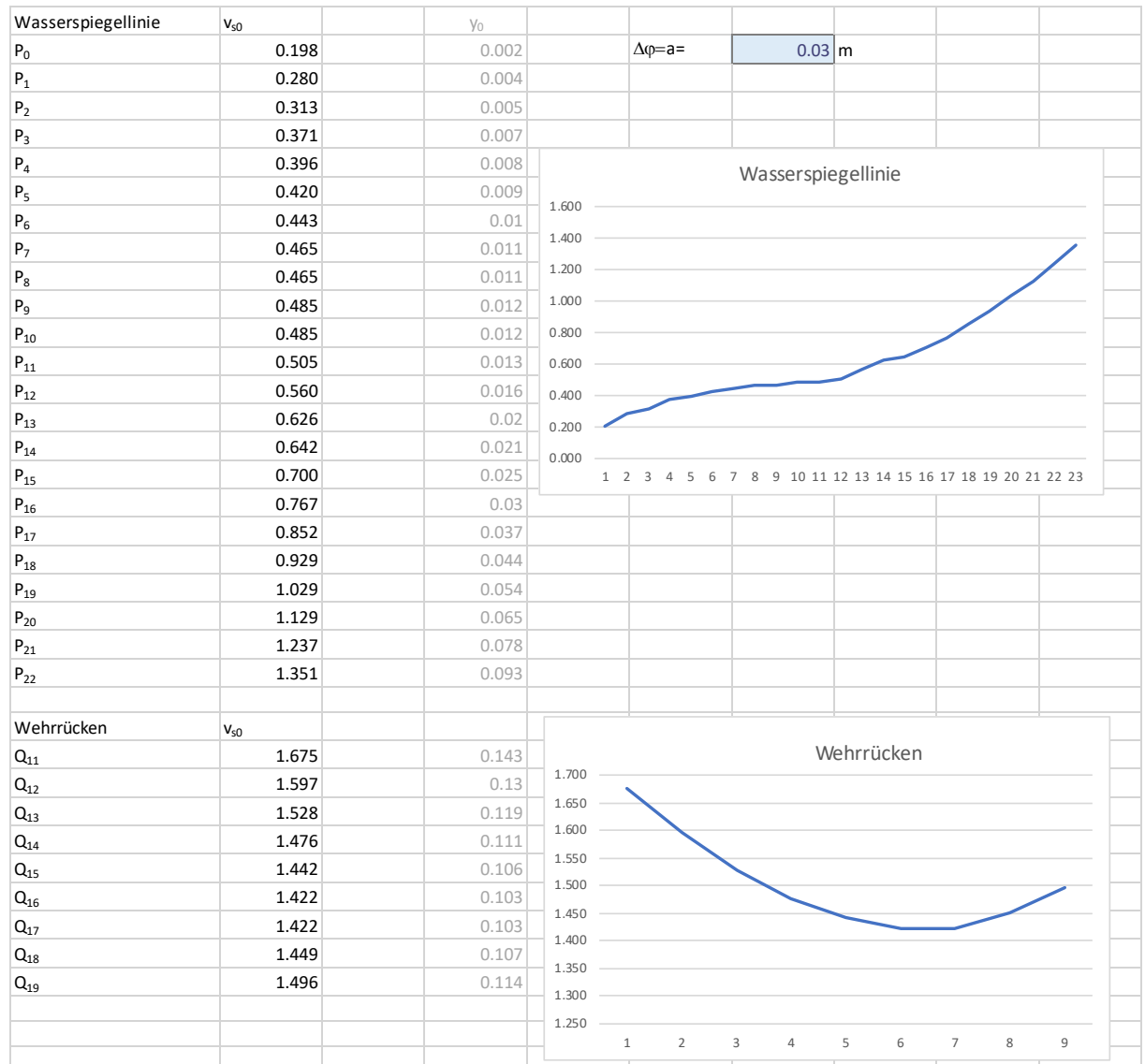
#### 5. Zeichnung des Strom- und Potentialliniennetzes mit CAD – siehe Anhang.

6. Darstellung der abgewickelten Randstromlinien und der Randgeschwindigkeiten für Wasserspiegel und Wehrrücken:

$$v_{s0} = \sqrt{2gy_0}$$

Durch das Messen des Abstandes  $y_0$  von der Energielinie bis zur Wasserspiegellinie bzw. zum Wehrrücken und das Errechnen der jeweiligen Geschwindigkeiten kommen folgende Diagramme und Tabellen zustande (siehe auch Exceltabelle). Die Punkte  $P_0$  bis  $P_{22}$  sind im Plan ersichtlich.

Die Punkte  $Q_{11}$  bis  $Q_{19}$  repräsentieren die Punkte an den Druckstutzen auf dem Wehrrücken in Fließrichtung von  $Q_{11}$  angefangen.

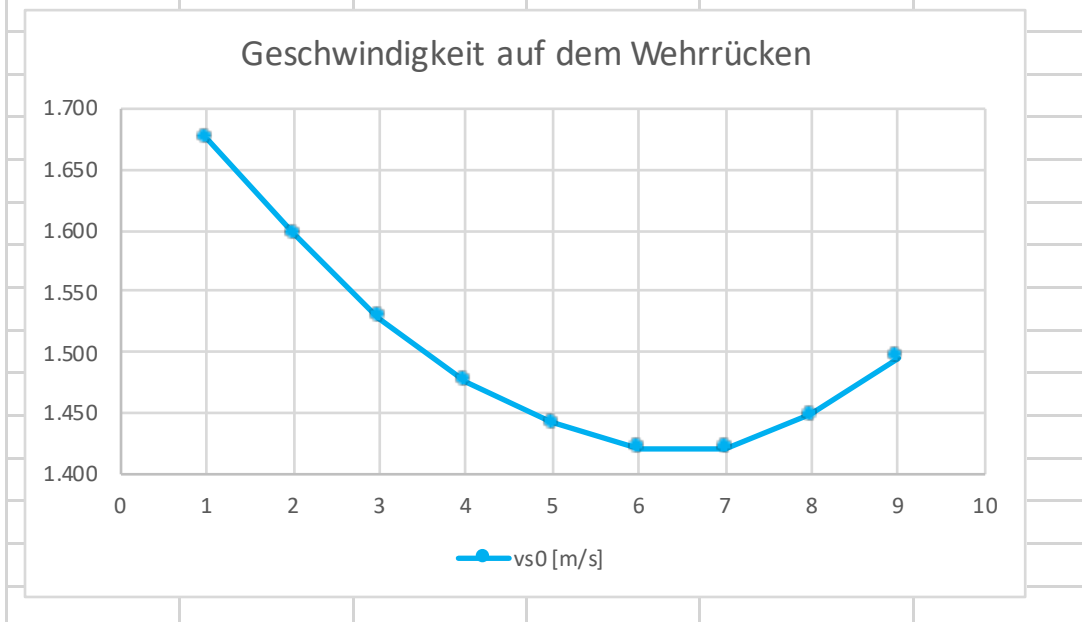


7. Berechnung der Druckverteilung aus dem konstruierten Strom- und Potentialliniennetz und graphische Darstellung:

Es werden für die Druckverteilung nur die Punkte von P<sub>11</sub> bis P<sub>19</sub> respektive Q<sub>11</sub> bis Q<sub>19</sub> verwendet (ich glaube, mein Strom- und Potentialliniennetz ist zu eng konstruiert, aber die Zeit reichte mir nicht, es nochmal neu zu konstruieren, daher beschränke ich mich nun nur auf die Punkte direkt im Bereich des Wehrrückens). Die Punkte Q<sub>11</sub> bis Q<sub>19</sub> befinden sich jeweils auf den Koordinaten der Druckstutzen und die Kreissegmentlänge kann berechnet werden – der Winkel zwischen 2 Druckstutzen ist bekannt  $\alpha = 10^\circ$ .

$$b = \pi * r * \frac{\alpha^\circ}{180^\circ} = \pi * 0.1 * \frac{10^\circ}{180^\circ} = 0.01745 \text{ m}$$

	S <sub>ü</sub> [m]	v <sub>s0</sub> [m/s]	Y <sub>0</sub> [m]	p [bar]
Q <sub>11</sub>	0.017	1.675	0.143	-2.72282E-13
Q <sub>12</sub>	0.035	1.597	0.13	0
Q <sub>13</sub>	0.052	1.528	0.119	1.36141E-13
Q <sub>14</sub>	0.070	1.476	0.111	0
Q <sub>15</sub>	0.087	1.442	0.106	0
Q <sub>16</sub>	0.105	1.422	0.103	0
Q <sub>17</sub>	0.122	1.422	0.103	0
Q <sub>18</sub>	0.140	1.449	0.107	-1.36141E-13
Q <sub>19</sub>	0.157	1.496	0.114	0
abgewinkelte Länge zwischen Punkten 0.01745329 [m]				

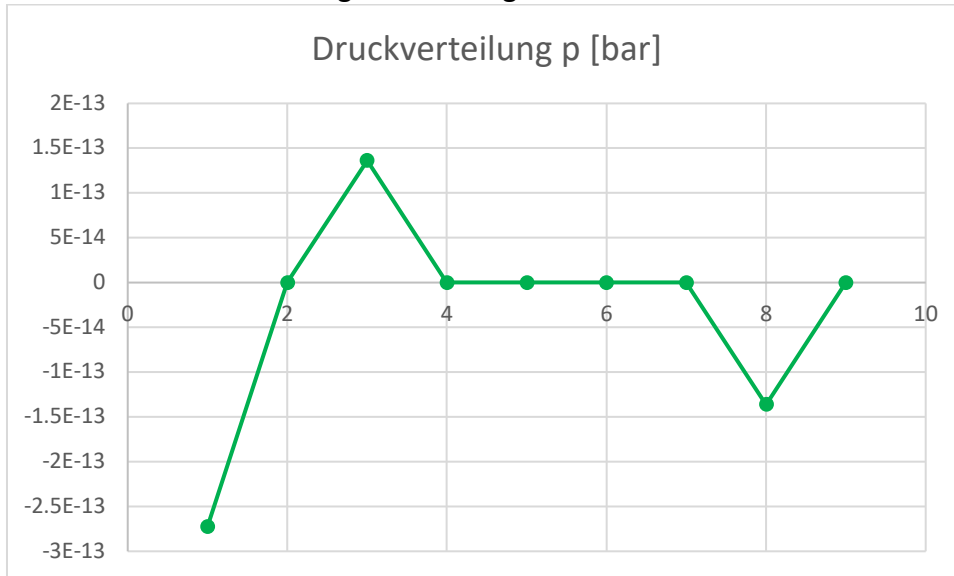


Berechnung der jeweiligen Druckhöhe an jedem beliebigen Punkt mit:

$$\frac{p}{\rho * g} = y_{\ddot{u}} - \frac{v_{\ddot{u}}^2}{2g}$$

$$p = \left( y_{\ddot{u}} - \frac{v_{\ddot{u}}^2}{2g} \right) * \rho * g$$

Tabelle zu Druckverteilung auf vorheriger Seite.



8. Der Normalabflusszustand im Kanal ändert sich hier durch eine Veränderung des Gefälles und der Querschnittsgeometrie und kann rechnerisch bestimmt werden indem man die Grenztiefe bestimmt:

$$h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 * g}} = \sqrt[3]{\frac{0.02083^2}{0.3^2 * 9.81}} = 0.0789 \text{ m}$$

Die Grenztiefe ist somit 7.89 cm durch obige Formel ermittelt. Diese Grenztiefe müsste sich demnach ein kleines Stück weiter Oberstrom befinden als der optisch bestimmte Fließwechsel.

Die Lage des Fließwechsels konnte im Kanal mit dem Spitzenpegel optisch an der Wasseroberfläche bestimmt werden (siehe Abbildung 1). Der Wert wird abgelesen mit 7.28 cm (siehe Abbildung 2). Die Lage des Spitzenpegels befindet sich ca. über dem 4. Druckstutzen (x 5.2 mm; z -72.8 mm) (siehe Abbildung 3).

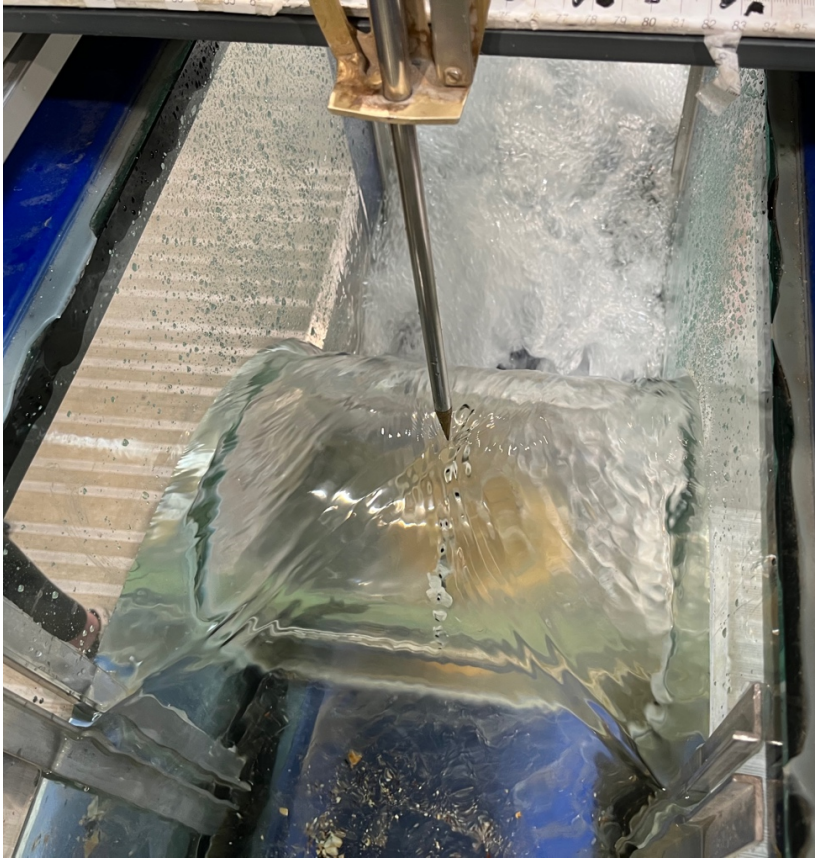


Abbildung 1: Blick auf Überfall, Spitzenpegel im Bereich des Fließwechsels

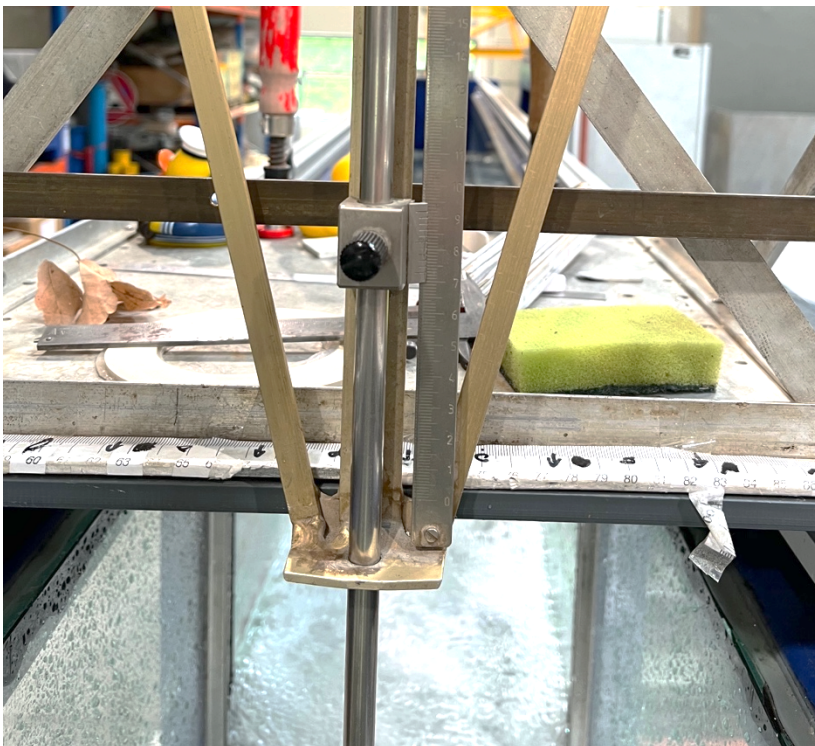


Abbildung 2: Spitzenpegel im Bereich des Fließwechsels, Nonius-Ableseung = Wert des Wasserspiegels beim Fließwechsel

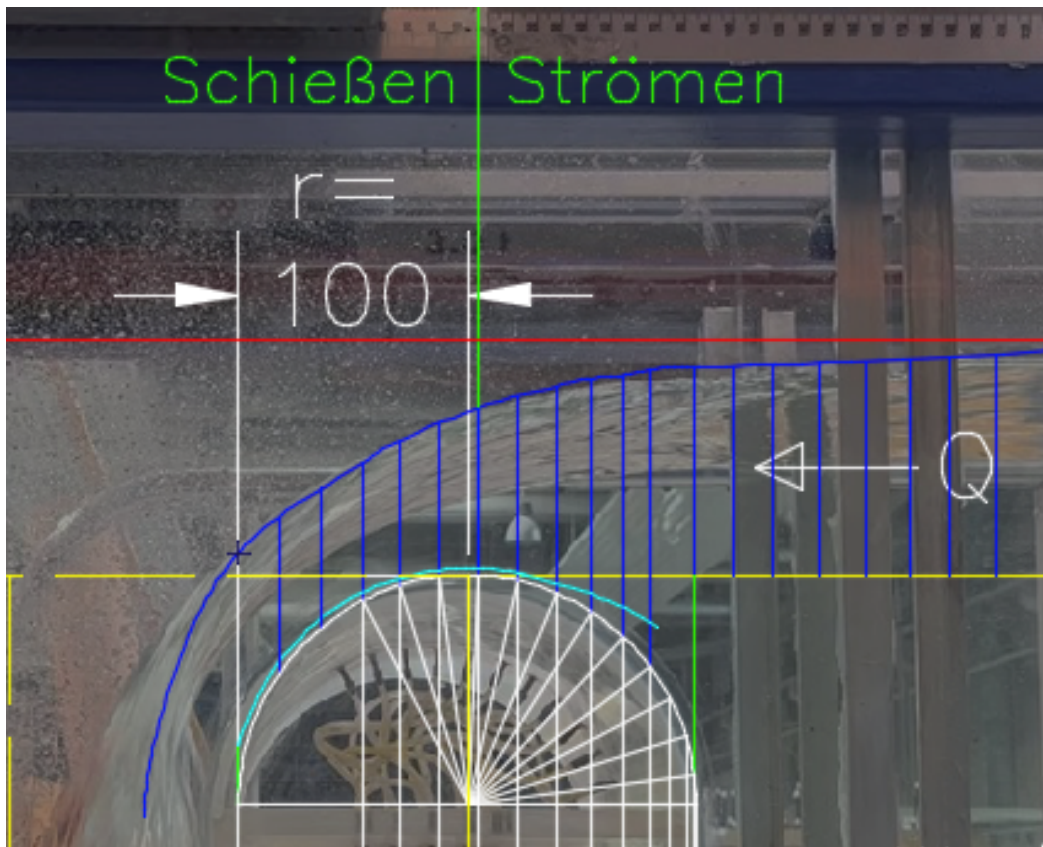


Abbildung 3: Die grüne vertikale Linie zeigt die Lage des Fließwechsels

9. Die Vorstellung der Ergebnisse folgt in einem zu vereinbarem Termin.

Sarah Jessica Herzig, 13.06.2022