

Hochwasserschutz Seez, Mels

**Bemessung von Blockrampen und -schwellen**

Bach: Seez  
Abschnitt: Rampe im Gebiet Halde km 12.600

Gemeinde Mels

**1) Bemessung der Blockgrösse nach Whittaker\_Jäggi**

Quelle: Whittaker J., Jäggi M., Blockschwellen, VAW Mit. Nr. 91, Zürich 1986

**Bemessungsabfluss (HQ300):** Q **180** m3/s

Formel für lockere Bauweise:

$$q_{krit} = 0.257 \sqrt{(\rho_s - \rho_w) / \rho_w} \sqrt{g I^{-7/6} d_{65}^{3/2}}$$

Bemessungsgrössen:

d65	1.15	m	einheitliche Blockgrösse
dS	1.22	m	äquivalenter Kugeldurchmesser (d65*1.06)
t	2.5		Blockgewicht
J	0.1	--	Gefälle
pw	1000	kg/m3	Dichte von Wasser
ps	2700	kg/m3	Dichte Steine
g	9.8	ms <sup>-2</sup>	Erdbeschleunigung
qkrit	19.0	m3/s m	
qzul	15.2	m3/s m	zulässiger spez. Abfluss (qkrit - 20%)

Rampenbreite **12** m Bs (sichere Seite)  
Qzul **182.3** m3/s zulässiger Abfluss

Filter  
Filterkriterien: d65min **0.07** m  
d65max **0.12** m  
10 < d65(Block)/d65(Filter) < 17

**Bemerkung:**  
Mit diesem Berechnungsblatt werden die Schwellen, sowie die Kornfraktionen am Schwellenfuss und im Unterwasser bemessen. Die Berechnungen erfolgen in Anlehnung an die Methoden zur Bemessung von Blockrampen.

Teil 1: Bemessung der Steingrößen für die Rampen nach dem Ansatz von Whittaker u. Jäggi mit einem empfohlenen Sicherheitszuschlag von 20%.

Teil 2: Kolkentiefe am Rampenfuss in Abhängigkeit des charakteristischen Korndurchmesser d90 - im Unterwasser.

Im Teil 3 wird das Grenzgefälle bei gegebenem spezifischen Abfluss und Kornfraktion (d90) berechnet. Dieser Ansatz erlaubt das maximale Gefälle im Unterwasserbereich - in diesem Falle das Zwischengefälle zwischen zwei Querbauwerken - zu bestimmen, bei dem gerade noch kein Geschiebetransport einsetzt.

**2) Kolkentiefe am Rampenfuss**

Quelle: Skript Bezzola, ETH Zürich (2003), Seite 13\_51

**A) Normalabflussberechnung nach Strickler**

	Q	Rampe	Unterwasser	
Abfluss:	180	180	180	m3/s
Sohlenbreite:	Bs	12.0	12.0	m
k-Wert Sohle:	ks	18.0	28.0	m1/3/s
linke Böschungsneigung:	m	0.6	0.6	--
k-Wert links:	kl	35.0	28.0	m1/3/s
rechte Böschungsneigung:	n	10.0	10.0	--
k-Wert rechts:	kr	45.0	45.0	m1/3/s
Gefälle:	J	0.10	0.020	--
Abflusshöhe	h	1.7	2.2	m
	A	22.6	31.0	m2
	P	16.9	18.5	m
	R	1.3	1.7	m
	km	20.8	29.2	m1/3/s
	v	8.0	5.8	m/s
	Aneu	22.6	31.0	m2
	hneu	1.7	2.2	m
spezifischer Abfluss (Q/Bs)	q	15.0	15.0	m3/s m
pessimistische Annahme				
spezifischer Abfluss (Q/(A/h)) q(min)			12.9	m3/s m
optimistische Annahme berücksichtigt den gesamten Abflussquerschnitt				

**B) Kolkberechnung nach Tschopp-Bisaz modifiziert**

spezifischer Abfluss	q	15.0	m3/s m
Blockdurchmesser Rampe	D	1.2	m
Abflusshöhe Unterwasser	hu	2.2	m
charakteristischer Korndurchmesser Rampenfuss	d90	0.60	m
Abflussgeschwindigkeit am Rampenfuss	UE	6.3	m/s
<b>Kolkentiefe ohne Geschiebezufuhr</b>	<b>S=</b>	<b>1.8</b>	<b>m</b>
<i>Mit Geschiebezufuhr kann der Kolk um 25 bis 40% reduziert werden, in Abhängigkeit der Korngrösse (Modellversuche Whittaker/Jäggi).</i>			
Zu erwartendes Geschiebe sehr fein	Reduktion	25	%
<b>Kolkentiefe mit Geschiebezufuhr (grobe Schätzung)</b>	<b>S=</b>	<b>1.3</b>	<b>m</b>

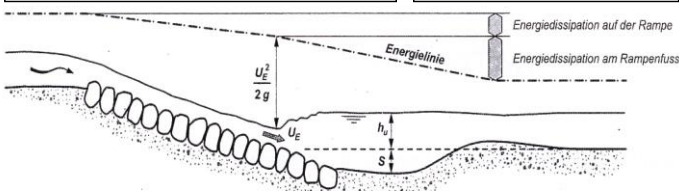
**Lage des Kolks nach MÜLLER (in Analogie eines Horizontalstrahls)**

Lage des tiefsten Kolkpunktes (I1=4.9°S)	I1=	7	m
Gesamtlänge des Kolks (I2=9.9°S)	I2=	13	m

Gültigkeitsbereich:  
nach TSCHOPP UND BISAZ  $5 \leq \frac{q^{1/2} h^{1/4}}{d_{90}} \leq 25$  **7**

Formeln: Modifizierten Form der TSCHOPP UND BISAZ-Formel nach WHITTAKER UND JAEGGI (1996).

$$hu + S = 0.85 * \sqrt{q * U_E} - 7.125 * d_{90} \quad U_E = 1.32 \frac{(g * J_R)^{0.2} * q^{0.6}}{D^{0.4}}$$



**Herleitung kSt aus Korngrössen**

Quelle: Skript Flussbau, ETHZ WS 03/04, Bezzola; S. 4-30

$$k_{st} = \frac{21 \cdot 1}{\sqrt[6]{d_{65}}} \quad d_{65} = 1.2 \text{ m} \quad k_{st} = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$$

**3) Grenzgefälle im Unterwasserbereich im geschieblosen Fall**

charakt. Korngrösse im Unterwasser	d90:	0.34	m
Grenzgefälle bei gegebenem Abfluss	JN(min)=	1.0%	--
	JN(max)=	1.1%	--
	JN(Wahl)=	1.0%	--

mit spezifischem Abfluss q=Q/Bs  
mit spezifischem Abfluss q=Q/(A/h)  
Mittelwert

Quelle: A. Böll, 1997; Wildbach und Hangverbau

Formel:

$$J_N = \frac{0.4 d_{90}^{9/7}}{q_{max}^{6/7}}$$

Bemessung der Steingrösse für Struktureinbauten in der Sohle		Resultate
Kurzbeschreibung Funktion und Anwendungsgrenzen:	Bemessung der erforderlichen Steingrösse für Lenkbuhnen und anderen Sohleneinbauten	
Quellen:	Anlagen zur Herstellung der Durchgängigkeit von Fliessgewässer, LfU Landesanstalt für Umweltschutz Baden Württemberg, 2000 Naturnaher Uferschutz mit Lenkbuhnen, Dissertation Mathias Mende 2014	

Stand: 8.02.2021/Sc

<b>Profile</b>	[km]	<b>10.600</b>	<b>11.500</b>	<b>12.000</b>		
----------------	------	---------------	---------------	---------------	--	--

**Eingabedaten:**

Anströmgeschwindigkeit beim Bemessungsabfluss HQ300 (aus Punkthydraulik)	$v_b$ [m/s]	3.7	4.0	3.7		
Sicherheitsbeiwert für v (bei hoher räumlicher Heterogenität)	<b>S</b>	1.1	1.1	1.1		
Sohlengefälle in Fliessrichtung	$J_s$ [h/l]	0.7%	0.9%	0.8%		
Dichte des Steinmaterials	$\alpha_s$ [°]	0.40	0.52	0.46		
Innerer Reibungswinkel des Riegels	$\rho_s$ [kg/m <sup>3</sup> ]	2650	2650	2650		
	$\beta$ [°]	35	35	35		

**Gewählter äquivalenter Steindurchmesser**

$d_s$ [m]	<b>1.20</b>	<b>1.30</b>	<b>1.20</b>		
[t]	2.40	3.05	2.40		

**Berechnung:**

Angeströmte Steinfläche (Annahme: Stein kugelförmig, 50% angeströmt)	$A_s$ [m <sup>2</sup> ]	0.57	0.66	0.57		
Steingewichtskraft unter Auftrieb	<b>G</b> N	14645	18620	14645		
in Fliessrichtung geneigte Komponente der Gewichtskraft	<b>G<sub>p</sub></b> N	103	168	117		
Strömungskraft	<b>P</b> N	9571	12848	9367		
Haftreibungskraft	<b>R</b> N	10254	13037	10254		

Stabilitätsbedingung  $P + G_p < R$  bzw.

$R / (P + G_p) > 1$

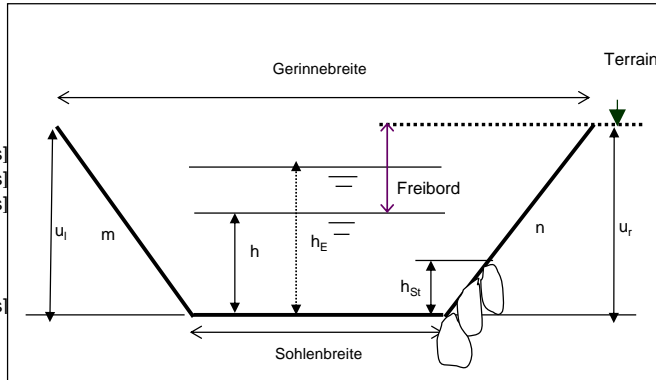
<b>stabil</b>	<b>stabil</b>	<b>stabil</b>		
1.06	1.00	1.08		

**Fazit:** Für die vorgesehenen Struktureinbauten (Lenkbuhnen, Sichelbuhnen, Trichterbuhnen) sind mittlere Steingrößen von 1.2 bis 1.4 m erforderlich, um den Strömungsbelastungen bei einem sehr seltenen Hochwasserereignis stand zu halten. Bei Abschnitten mit einem Bruttogefälle grösser 1 % sind Querbauwerke in Schwellenform erforderlich, um das Gerinne abzutreten. Für die Dimensionierung solcher Schwellen ist der Berechnungsansatz für eine Blockrampe beizuziehen.

**Abfluss und Wasserspiegelberechnung nach Strickler**

**Legende:**

Sohlenbreite	B	[m]
Böschungshöhe (links/rechts)	$u_l, u_r$	[m]
Sohlenneigung	$J_s$	[%]
linke Böschungsneigung h/x	m	[-]
rechte Böschungsneigung h/x	n	[-]
k-Wert der Sohle	$k_s$	$[m^{1/3}/s]$
k-Wert der linken Böschung	$k_l$	$[m^{1/3}/s]$
k-Wert der rechten Böschung	$k_r$	$[m^{1/3}/s]$
Abflusshöhe	h	[m]
Energielinienhöhe	$h_E$	[m]
Abfluss	Q	$[m^3/s]$
mittlerer k-Wert	$k_m$	$[m^{1/3}/s]$
Fließgeschwindigkeit	v	[m/s]
Abflussquerschnitt	A	$[m^2]$
Gerinnebreite	$B_{OK}$	[m]
Freibord (links/rechts)	FBL, FBR	[m]



**Schleppspannung Uferschutz**

(Quelle: TBA St. Gallen; Normale OrdnungNr. 1201)

**Legende:**

max. Schleppspannung	
- Sohle	$t_{so}$ $[N/m^2]$
- Böschung	$t_{Bo}$ $[N/m^2]$
zulässige Schleppspannung	
- Rasen	50 - 80 $t_{zul,R}$ $[N/m^2]$
- Junge Wiese	40 $t_{zul,R}$ $[N/m^2]$
- Weiden	100 - 140 $t_{zul,W}$ $[N/m^2]$
Höhe des erforderlichen Steinsatzes	
- für Rasenbewuchs	$h_{St,R}$ [m]
- für Weidenbewuchs	$h_{St,W}$ [m]

**Bemessung Blockgrösse**

nach Stevens und Simons (1971)

**Eingabe:**

Theta crit:	0.047
Empfehlung Stevens:	0.047
Ruhewinkel Phi in Grad:	40
für Blockwurf 40, für Blocksatz 45 - 50	
Blocksatz mit kantigen Blöcke > 2 t 60	
Sicherheitsbeiwert	S
1.0 für seltene Hochwasser	
1.3 für häufige Hochwasser	
Mittlerer Blockdurchmesser	d [m]

Profil	Geometrie				Strickler-beiwert			Höhe WSP		Hydraulische Kennwerte				Fließart	Schleppspannung		Ufersicherung			Minimale Blockgrösse				Wahl			
	B	$J_s$	m	n	$k_s$	$k_l$	$k_r$	h	$h_E$	$Q_{soll}$	$k_m$	v	A		$t_{so}$	$t_{Bo}$	für Rasen	für Weiden	$d_l$	S	$d_r$	S	$d_{unten}$ [m]	$d_{oben}$ [m]	$m_{unten}$ [t]		
10.400	20.0	0.70%	5.00	0.50	27	40	27	1.88	2.38	130.0	28	3.1	41.4	strömend	111	85	40	1.2	100	0.2			0.50	1.3	0.70	0.50	0.48
10.800	20.0	0.70%	0.50	0.33	27	27	27	1.80	2.24	130.0	27	2.9	44.2	strömend	104	80	40	1.1	100	0.1	0.50	1.3	0.30	1.5	0.70	0.40	0.48
11.300	17.0	0.90%	0.67	0.67	27	27	27	1.89	2.50	130.0	27	3.5	37.5	strömend	142	109	40	1.4	100	0.6	1.30	1.1	1.30	1.1	1.20	0.70	2.40
11.510	17.0	0.90%	0.67	0.67	27	27	27	1.89	2.50	130.0	27	3.5	37.5	strömend	142	109	40	1.4	100	0.6	1.30	1.1	1.30	1.1	1.20	0.70	2.40
11.850	16.0	0.80%	0.67	5.00	27	27	40	2.08	2.71	130.0	28	3.5	36.9	strömend	135	104	40	1.5	100	0.5	1.30	1.1			1.20	0.70	2.40
12.100	16.0	1.50%	3.00	0.50	27	27	27	1.72	2.62	130.0	27	4.2	31.0	strömend	214	165	40	1.4	100	0.9			0.90	1.3	0.90	0.60	1.01
12.680	11.5	1.00%	0.33	5.00	27	27	40	2.24	2.99	130.0	28	3.8	33.8	strömend	162	124	40	1.7	100	0.9	0.50	1.4			0.90	0.50	1.01

**Fazit** Bei Böschungsneigungen von 1:2 oder flacher sind die Ufer mit einem überdeckten Uferblocksatz bis Höhe 1.2 Meter zu sichern. Mittlerer Blockdurchmesser am Böschungsfuss 0.7 - 1.0 m  
**Böschungssicherung** Bei Böschungsneigungen von 2:3 bis 1:1 ist der Uferblocksatz bis mindestens 1.5 Meter über der Sohle zu sichern. Mittlere Blockdurchmesser am Böschungsfuss 1.1 - 1.2 m  
 Bei Böschungsneigungen steiler 1:1 sind die Ufer bis 0.5 Meter über der HQ100 Wasserlinie zu sichern. Mittlere Blockdurchmesser am Böschungsfuss 1.2 m