

1 Wasserwirtschaftliche Planungsgrundlagen

1.1 Abflussgrößen

Abflüsse des Speyerbachs am Pegel Neustadt:

	Unter schreitungs- dauer in Tagen	Unterschrittene Abflüsse m ³ /s				
		Abfluss- jahr (*) 2017	Kalender jahr 2017	1937/2017 Obere Hüllwerte	81 Kalenderjahre Mittlere Werte	Untere Hüllwerte
(365)						
364		3.86	3.86	18.6	8.31	1.89
363		2.95	2.95	15.4	7.14	1.89
362		2.66	2.66	14.7	6.55	1.80
361		1.96	2.45	12.7	6.06	1.80
360		1.89	2.41	11.5	5.67	1.80
359		1.87	2.35	10.1	5.40	1.67
358		1.83	2.19	10.1	5.17	1.67
357		1.83	2.10	9.41	4.97	1.61
356		1.81	1.98	9.09	4.81	1.55
350		1.62	1.87	8.61	4.23	1.55
340		1.52	1.70	7.98	3.72	1.42
330		1.44	1.60	7.28	3.36	1.37
320		1.40	1.54	6.56	3.16	1.33
300		1.35	1.39	5.50	2.72	1.28
270		1.31	1.33	4.67	2.31	1.24
240		1.27	1.28	4.33	2.07	1.21
210		1.25	1.25	3.56	1.90	1.19
183		1.23	1.23	3.35	1.77	1.17
150		1.22	1.21	3.05	1.64	1.13
130		1.21	1.19	2.95	1.57	1.11
120		1.20	1.19	2.94	1.54	1.10
110		1.19	1.18	2.94	1.51	1.08
100		1.18	1.17	2.94	1.48	1.07
90		1.17	1.16	2.86	1.45	1.05
80		1.16	1.15	2.82	1.41	1.04
70		1.16	1.15	2.82	1.37	1.03
60		1.15	1.14	2.71	1.33	1.02
50		1.14	1.13	2.71	1.30	0.986
40		1.13	1.12	2.71	1.26	0.973
30		1.12	1.12	2.57	1.23	0.967
25		1.12	1.12	2.57	1.20	0.963
20		1.12	1.11	2.48	1.18	0.959
15		1.11	1.10	2.39	1.15	0.953
10		1.10	1.10	2.31	1.11	0.944
9		1.10	1.09	2.30	1.10	0.943
8		1.10	1.09	2.30	1.09	0.939
7		1.10	1.09	2.30	1.08	0.933
6		1.09	1.09	2.30	1.08	0.919
5		1.09	1.08	2.22	1.05	0.917
4		1.08	1.08	2.22	1.04	0.914
3		1.08	1.08	2.22	1.03	0.913
2		1.08	1.08	2.22	0.994	0.913
1		1.08	1.08	2.22	0.966	0.911
0		1.07	1.07	2.14	0.849	0.849

Abbildung 1: Dauertabelle 2017 Speyerbach am Pegel Neustadt

Es werden die unterschrittenen, mittleren Abflusswerte Q₃₀ und Q₃₃₀ aus der Dauertabelle (81 Jahre) angesetzt.¹

$$Q_{30} = 1,23 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{330} = 3,36 \text{ m}^3/\text{s}$$

An der Winzinger Wasserscheide wird 1/3 der Wassermenge in den Rehbach abgeleitet. Daraus ergeben sich:

$$Q_{30} = 0,41 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{330} = 1,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

Davon sollen dauerhaft mindestens Q=50l/s im „alten“ Rehbach verbleiben, daraus ergeben sich:

$$Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (untere Grenze Betriebsabfluss)}$$

¹ Vgl. ipr Consult (2015): Hochwasserschutz und Gewässerstrukturverbesserung am Rehbach in der Gemeinde Böhl-Iggelheim. Fortführung der Studie. Erläuterungsbericht, S. 12.

$$Q_{330} = 1,07 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (obere Grenze Betriebsabfluss)}$$

1.2 Hochwasserabfluss

Der Hochwasser-Zuflussmengen wurden den Unterlagen zum Planfeststellungsverfahren gemäß §68 Wasserhaushaltgesetz (WHG) für die Gewässerneuentwicklung mit integriertem Hochwasserschutz des Rehbachs in der Gemeinde Haßloch entnommen. Demzufolge ergibt sich nach Abschlag von 1,0 m³/s in den alten Rehbachverlauf ein Hochwasserabfluss von **HQ100 = 3,2 m³/s**.

1.3 Wasserstände

Die Wasserstände beruhen auf der Vermessung des Vermessungsbüros Geo-Systems² und der Mindestwasserhöhe von 0,40 m bei Q₃₀ im neuen Rehbachverlauf³.

Es ergeben sich im Oberwasser eine Sohlhöhe von 107,20 müNN und ein Wasserspiegel von 107,60 müNN, was am Beginn der Anrampung einer **Sohlhöhe von 107,17 müNN** und einer **Wasserspiegelhöhe von 107,78 müNN** entspricht.

Da der endgültige Verlauf und Gestaltung des Umgehungsgewässers noch nicht final sind, sind dies lediglich Annahmen, die im Verlauf der weiteren Planung angepasst werden müssen.

2 Dimensionierung Fischwanderhilfe

2.1 Hydraulische und geometrische Bemessungswerte

Die Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser des Raugerinnes mit Beckenstruktur wird so abgebaut, dass die hydraulischen Grenzwerte für die Fließgewässerregion PÜR-1 (Polymorphe Übergangsregion, mittelgebirgsbeeinflusst) eingehalten werden. Die PÜR-1 kann in Bezug auf die hydraulischen Anforderungen der „Barbenregion“ zugeordnet werden.⁴ Die geometrischen Grenzwerte werden für die größte Zielfischart, dem Lachs, eingehalten.

Körpermaße des Atlantischen Lachs zur geometrischen Auslegung der Fischwanderhilfe⁵:

- Gesamtlänge des Fisches $L_{\text{Fisch}} = 1,00 \text{ m}$
- Höhe des Fischkörpers $H_{\text{Fisch}} = 0,17 \text{ m}$
- Dicke des Fischkörpers $D_{\text{Fisch}} = 0,10 \text{ m}$

Hydraulische Grenzwerte für die Fließgewässerregion „Barbenregion“:

- Grenzwert für die maximale Fließgeschwindigkeit v_{max} [m/s] in den Durchlässen von Beckenartigen Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Bauwerken für einen Gesamthöhenunterschied $< 3\text{m}^6$: **$v_{\text{max,grenz}} = 1,8 \text{ m/s}$**

² Vgl. Geo-Systems (2019): Vermessung Rehbach.

³ Vgl. ipr Consult (2015): Hochwasserschutz und Gewässerstrukturverbesserung am Rehbach in der Gemeinde Böhl-Iggelheim. Fortführung der Studie. Erläuterungsbericht, S. 24.

⁴ Vgl. Kroll (2016): Die Fischregionen RLP im wasserwirtschaftlichen Handeln, S. 31.

⁵ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 123.

⁶ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 127.

- Grenzwert für die minimale Fließgeschwindigkeit $v_{\min, \text{grenz}}$ im Wanderkorridor für Gewässer mit Großsalmoniden⁷: $v_{\min, \text{grenz}} = 0,3 \text{ m/s}$
- Grenzwert für die spezifische Leistungsdichte $p_{D, \text{grenz}}$ bei der Energiedissipation in Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbaren Bauwerken in Beckenbauweise (mit Zander und Hecht)⁸: $p_{D, \text{grenz}} = 100 \text{ W/m}^3$

2.1.1 Fließgeschwindigkeit im Riegeldurchlass

Der Bemessungswert für die maximale Fließgeschwindigkeit im Riegeldurchlass wird mit dem Grenzwert $v_{\max, \text{grenz}} = 1,8 \text{ m/s}$ wie folgt berechnet:

$$v_{\max, \text{bem}} = S_b * S_v * v_{\max, \text{grenz}} = 1,0 * 0,9 * 1,8 = 1,62 \text{ m/s}$$

mit:

$v_{\max, \text{bem}}$ (berechneter Bemessungswert für die maximale Fließgeschwindigkeit in m/s)

$S_b = 1,0$ (Sicherheitsbeiwert für den Betrieb)⁹

$S_v = 0,9$ (Sicherheitsbeiwert für die Fließgeschwindigkeit bei Raugerinnen mit Beckenstrukturen)¹⁰

$v_{\max, \text{grenz}} = 1,8 \text{ m/s}$ (Grenzwert der maximalen Fließgeschwindigkeit, siehe Kap. 2.1)

Als Bemessungswert für die maximale Fließgeschwindigkeit im Riegeldurchlass wird mit $v_{\max, \text{bem}} = 1,62 \text{ m/s}$ angenommen.

2.1.2 Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken

Der Bemessungswert für die maximale Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken wird mit der Toricelli-Formel und dem zuvor ermittelten Bemessungswert für die maximale Fließgeschwindigkeit im Riegeldurchlass wie folgt berechnet:

$$\Delta h_{\text{bem}} = \frac{v_{\max, \text{bem}}^2}{2g} = \frac{1,62^2}{19,62} = 0,13 \text{ m}$$

mit:

Δh_{bem} (berechneter Bemessungswert für die maximale Wasserspiegeldifferenz in m)

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (Erdbeschleunigung)

Für die „Äschenregion“ ist jedoch ein Bemessungswert für die maximale Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken bzw. eine planerische Absturzhöhe von $\Delta h_{\text{bem}} = 0,12 \text{ m}$ anzusetzen (siehe Kap. 2.1).

Als Bemessungswert für die maximale Wasserspiegeldifferenz wird $\Delta h_{\text{bem}} = 0,12 \text{ m}$ angesetzt.

2.1.3 Gesamtwasserspiegeldifferenz

Aus dem zukünftigen Verlauf des Rehbachs ergibt sich, dass mindestens 1,00 m Gesamtwasserspiegeldifferenz überwunden werden müssen.

⁷ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 128.

⁸ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 130.

⁹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 157.

¹⁰ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 156.

$$\Delta h_{ges} = 1,00m$$

mit:

Δh_{ges} (Gesamtwasserspiegeldifferenz)

Die Gesamtwasserspiegeldifferenz wird mit $\Delta h_{ges} = 1,00 \text{ m}$ angesetzt.

2.1.4 Mittlere Fließgeschwindigkeit in den Becken

Der Bemessungswert für die mittlere Fließgeschwindigkeit in den Becken wird mit $v_{m,bem} = 0,5 \text{ m/s}$ angesetzt¹¹.

2.1.5 Spezifische Leistungsdichte

Der Bemessungswert für die spezifische Leistungsdichte $p_{D,bem}$ wird mit dem Grenzwert $p_{D,grenz} = 150 \text{ W/m}^3$ wie folgt berechnet:

$$p_{D,bem} = S_b * S_v * p_{d,grenz} = 1,0 * 0,9 * 100 = 90 \text{ W/m}^3$$

mit:

$p_{D,bem}$ (berechneter Bemessungswert für die maximale spezifische Leistungsdichte in W/m^3)

$S_b = 1,0$ (Sicherheitsbeiwert für den Betrieb)¹²

$S_v = 0,9$ (Sicherheitsbeiwert für die Fließgeschwindigkeit bei Raugerinnen mit Beckenstrukturen)¹³

$p_{D,grenz} = 100 \text{ W/m}^3$ (Grenzwert der maximalen spezifischen Leistungsdichte, siehe Kap. 2.1)

Als Bemessungswert für die maximale Fließgeschwindigkeit im Riegeldurchlass wird $v_{max,bem} = 95 \text{ W/m}^3$ angesetzt.

2.1.6 Wassertiefe an den Durchlässen

Der Bemessungswert für die Mindestwassertiefe im Riegeldurchlass als Engstelle $h_{D,min}$ wird in Abhängigkeit der Zielfischart Lachs, mit den Körpermaßen nach Kap. 2.1 wie folgt berechnet¹⁴:

$$h_{D,min} = \frac{h_{D,grenz}}{S_g} = \frac{0,34}{0,8} = 0,43m$$

mit:

$h_{D,min}$ (berechneter Bemessungswert für die Mindestwassertiefe im Riegeldurchlass mit NW-Schwelle in m)

$h_{D,grenz}$ (effektive Mindestwassertiefe an Engstellen)

mit:

$$h_{D,grenz} = 2 * H_{Fisch} = 2 * 0,17 = 0,34m$$

mit:

¹¹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 185.

¹² Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 157.

¹³ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 156.

¹⁴ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 120.

$$H_{\text{Fisch}} = 0,17 \text{ m (max. Höhe des Fischkörpers für den Lachs, Kap. 2.1)}$$
$$S_g = 0,8 \quad (\text{Sicherheitsbeiwert für geometrische Dimensionen von beckenartigen Raugerinnen})^{15}$$

Laut DWA-509 Tabelle 37 ist jedoch für die maßgebende Fischart Lachs ein Bemessungswert von $h_{D,\min} = 0,45 \text{ m}$ anzusetzen¹⁶.

Als Bemessungswert für die Mindestwassertiefe im Riegeldurchlass wird $h_{D,\min} = 0,45 \text{ m}$ angesetzt.

2.1.7 Wassertiefe unterhalb des Querriegels

Der Bemessungswert für die Mindestwassertiefe in den Becken unterhalb der Querriegel $h_{u,\text{eff}}$ wird in Abhängigkeit der Zielfischart Lachs, mit den Körpermaßen nach Kap. 2.1 wie folgt berechnet¹⁷:

$$h_{u,\text{eff},\min} = \frac{h_{u,\text{grenz}}}{S_g} = \frac{0,425}{0,8} = 0,53 \text{ m}$$

mit:

$h_{u,\text{eff}}$ (berechneter Bemessungswert für die Mindestwassertiefe in den Becken)

$h_{u,\text{grenz}}$ (effektive Mindestwassertiefe in den Becken)

mit:

$$h_{u,\text{grenz}} = 2,5 * H_{\text{Fisch}} = 2,5 * 0,17 = 0,425 \text{ m}$$

mit:

$H_{\text{Fisch}} = 0,17 \text{ m}$ (max. Höhe des Fischkörpers für den Lachs, Kap. 2.1)

$S_g = 0,8$ (Sicherheitsbeiwert für geometrische Dimensionen von beckenartigen Raugerinnen)¹⁸

Laut DWA-509 Tabelle 37 ist für die maßgebende Fischart Lachs eine mindeste Wassertiefe von $h_{u,\text{eff}} = 0,50 \text{ m}$ anzusetzen¹⁹.

Als Bemessungswert für die Wassertiefe in den Becken wird $h_{u,\text{eff},\min} = 0,53 \text{ m}$ angesetzt.

2.1.8 Lichte Beckenlänge

Der Bemessungswert für die lichte Mindestbeckenlänge $L_{LB,\text{bem}}$ berechnet sich für die Zielart Lachs in Abhängigkeit der anzusetzenden Gesamtlänge des Fisches nach Kap. 2.1 zu:

$$L_{LB,\text{bem}} = \frac{L_{LB,\text{grenz}}}{S_g} = \frac{3,00}{0,8} = 3,75 \text{ m}$$

mit:

$L_{LB,\text{bem}}$ (berechneter Bemessungswert für die lichte Mindestbeckenlänge in m)

$L_{LB,\text{grenz}}$ (lichter Abstand zwischen Einbauten in Fließrichtung)

¹⁵ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 156.

¹⁶ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 186.

¹⁷ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 119.

¹⁸ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 156.

¹⁹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 186.

mit:

$$L_{LB,grenz} = 3 * L_{Fisch} = 3 * 1,00 = 3,00 \text{ m}$$

mit:

$$L_{Fisch} = 1,00 \text{ m} \quad (\text{Gesamtlänge des Fisches für den Lachs, Kap. 2.1})$$

$$S_g = 0,8 \quad (\text{Sicherheitsbeiwert für geometrische Dimensionen von beckenartigen Raugerinnen}^{20})$$

Laut DWA-509 Tabelle 37 ist jedoch für die maßgebende Fischart Lachs ein Bemessungswert von $L_{LB,bem} = 3,80 \text{ m}$ anzusetzen²¹.

Als Bemessungswert für die lichte Mindestbeckenlänge wird $L_{LB,bem} = 3,80 \text{ m}$ angesetzt.

2.1.9 Mittlere lichte Beckenbreite

Der Bemessungswert für die lichte Beckenbreite ergibt sich aus 1/3 bis 2/3 der angesetzten lichten Beckenlänge²²:

$$b_{LB,bem} = L_{LB,bem} * \frac{2}{3} = 3,80 * \frac{2}{3} = 2,53 \text{ m}$$

mit:

$b_{LB,bem}$ (berechneter Bemessungswert für die lichte Beckenbreite in m)

$L_{LB,bem}$ (berechneter Bemessungswert für die lichte Beckenlänge in m)

Gemäß DWA-509 Tabelle 37 ist für die maßgebende Fischart Lachs ein Bemessungswert von $b_{LB,bem} = 2,30 \text{ m}$ bis $3,00 \text{ m}$ anzusetzen²³.

Als Bemessungswert für die mittlere Lichte Beckenbreite wird $L_{LB,bem} = 2,53 \text{ m}$ angesetzt.

2.1.10 Öffnungsbreite Riegeldurchlass

Der Bemessungswert für das Mindestmaß der Öffnungsbreite für den Riegeldurchlass berechnet sich für die Zielart Lachs in Abhängigkeit der anzusetzenden max. Dicke des Fischkörpers²⁴:

$$b_{s,min} = \frac{b_{s,grenz}}{S_g} = \frac{0,30}{0,8} = 0,375 \text{ m}$$

mit:

$b_{s,min}$ (berechneter Bemessungswert für die Mindestöffnungsbreite im Riegeldurchlass in m)

$b_{s,grenz}$ (Mindestöffnungsbreite Wanderkorridor an punktuellen Engstellen)

mit:

²⁰ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 156.

²¹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 186.

²² Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 122.

²³ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 186.

²⁴ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 120.

$$b_{s,grenz} = 3 * D_{Fisch} = 3 * 0,10 = 0,30 \text{ m}$$

mit:

$$D_{Fisch} = 0,10 \text{ m} \quad (\text{max. Dicke des Fischkörpers für den Lachs, Kap. 2.1})$$

$$S_g = 0,8 \quad (\text{Sicherheitsbeiwert für geometrische Dimensionen von becken-artigen Raugerinnen²⁵})$$

Gemäß Tabelle 37, DWA-509 ist für die maßgebende Fischart Lachs ein Bemessungswert von $b_{s,min} = 0,45$ bis $0,60$ m anzusetzen²⁶.

Aufgrund des zur Verfügung stehenden Betriebsabflusses $Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ und der einzuhaltenden Mindestwassertiefe im Riegeldurchlass $h_{D,min} = 0,45$ wird als Bemessungswert für das Mindestmaß der Öffnungsbreite im Riegeldurchlass $b_{s,min} = 0,43 \text{ m}$ angesetzt.

2.1.11 Fließgeschwindigkeit der Leitströmung

Um für Fische gut auffindbar und attraktiv zu sein, sollte die mittlere Fließgeschwindigkeit der Leitströmung bei Eintritt ins Unterwasser etwa $1,0 \text{ m/s}$ betragen.²⁷

Der Bemessungswert für die minimale Fließgeschwindigkeit der Leitströmung wird mit $v_{\text{Leitströmung,min}} = 1,0 \text{ m/s}$ angesetzt.

2.1.12 Zulässige Kolkentiefe hinter den Riegeldurchlässen

Ein Kolk hinter den Riegeldurchlässen sollte, um die Standfestigkeit der Riegelsteine nicht zu gefährden, aber dennoch die Vorteile eines Kolkes aus ökologischer Sicht zu erhalten, klein angesetzt werden:

$$t_K = 0,10 \text{ m}$$

mit:

$$t_K \quad (\text{Kolkentiefe hinter den Riegeldurchlässen})$$

Als zulässige Kolkentiefe hinter den Riegeldurchlässen wird $t_K = 0,10 \text{ m}$ angesetzt.

2.2 Hydraulische und geometrische Dimensionierung

2.2.1 Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken

Die Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken wird gleich dem Bemessungswert (Kap. 2.1.2) gesetzt:

$$\Delta h = \Delta h_{bem} = 0,12 \text{ m}$$

2.2.2 Beckenanzahl und gesamte Wasserspiegeldifferenz

Die erforderliche Beckenanzahl n ergibt sich aus der Gesamtwasserspiegeldifferenz und dem Bemessungswert für die maximale Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken (Kap. 2.1.2).

$$n = \frac{\Delta h_{ges,min}}{\Delta h_{bem}} - 1 = \frac{1,00}{0,12} - 1 = 8$$

²⁵ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 156.

²⁶ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 186.

²⁷ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 101.

mit:

- n (berechnete, erforderliche Beckenzahl, aufgerundet auf ganze Becken)
 $\Delta h_{ges,min}$ (minimal zu überwindende Gesamtwasserspiegeldifferenz)

Es ergibt sich eine Anzahl von 8 Becken.

Die gesamte Wasserspiegeldifferenz Δh_{ges} ergibt sich aus der berechneten Beckenanzahl und der Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken.

$$\Delta h_{ges} = \Delta h_{bem} * n = 0,12 * (8 + 1) = 1,08m$$

mit:

- Δh_{bem} (berechneter Bemessungswert für die Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken (Kap. 2.2.1))
n (berechnete Anzahl der Becken (Kap. 2.2.2))

Die Gesamtwasserspiegeldifferenz beträgt $\Delta h_{ges} = 1,08 m$.

Es ist eine Anzahl von **n = 8 Becken** und **n = 9 Querriegel** erforderlich.

2.2.3 Fließgeschwindigkeit im Riegeldurchlass

Die maximale Fließgeschwindigkeit im Riegeldurchlass mit der Toricelli-Formel und $\Delta h_{bem} = 0,12 m$ erneut berechnet:

$$v_{max,bem} = \sqrt{2g * \Delta h_{bem}} = \sqrt{19,81 * 0,12} = 1,53m/s$$

mit:

- $v_{max,bem}$ (berechneter Bemessungswert für die maximale Fließgeschwindigkeit in m/s)

Die maximale Fließgeschwindigkeit im Riegeldurchlass beträgt $v_{max,bem} = 1,53 m/s$.

2.2.4 Wassertiefe im Durchlass

Die Wassertiefe $h_{2,30}$ über der Niedrigwasserschwelle wird gleich dem Bemessungswert für die Mindestwassertiefe im Riegeldurchlass $h_{D,min}$ gesetzt:

$$h_{2,30} = h_{D,min} = 0,45m$$

2.2.5 Öffnungsbreite Riegeldurchlass

Die Öffnungsbreite im Riegeldurchlass b_s wird über die Poleni-Formel mit dem zur Verfügung stehenden Betriebsabfluss $Q_{30} = 0,36 m^3/s$ berechnet, bei dem die Querriegel ausschließlich durchströmt werden:²⁸

$$b_s = \frac{Q_{30}}{\frac{2}{3} * \mu * \sigma * f * \sqrt{2g} * h_{1,Q30}^{3/2}} = \frac{0,36}{\frac{2}{3} * 0,65 * 0,926 * 1,1 * \sqrt{19,82} * 0,57^{3/2}} = 0,43m$$

mit:

- b_s (berechnete Öffnungsbreite im Riegeldurchlass in m)

²⁸ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 194.

$Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ (untere Grenze Betriebsabfluss nach Kap. 1.1)
 $\mu = 0,65$ (Überfallbeiwert für scharfkantige Steine)²⁹
 σ (dimensionsloser Rückstaubeiwert)³⁰

mit:

$$\sigma = 1 - \left(\frac{h_{2,Q30}}{h_{1,Q30}} \right)^{11} = 1 - \left(\frac{0,45}{0,57} \right)^{11} = 0,926$$

mit:

$h_{2,30} = 0,45 \text{ m}$ (Wassertiefe unterhalb des Riegeldurchlasses über der NW-Schwelle bei Q_{30})

$h_{1,30} = 0,57 \text{ m}$ (Wassertiefe oberhalb des Riegeldurchlasses über der NW-Schwelle bei Q_{30}) mit:

$$h_{1,30} = h_{2,30} + \Delta h = 0,45 + 0,12 = 0,57 \text{ m}$$

$f = 1,1$ (Faktor für unvermeidbaren Abfluss durch Lücken Riegelsteine)³¹

Es ergibt sich eine Öffnungsbreite von $b_s = 0,43$, was dem Bemessungswert entspricht.

2.2.6 Wassertiefe unterhalb der Querriegel

Die hydraulisch wirksame Wassertiefe $h_{u,Q30}$ in den Becken unterhalb der Querriegel für $Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ ergibt sich aus:³²

$$h_{u,Q30} = h_{2,Q30} + w = 0,45 + 0,14 = 0,59 \text{ m}$$

mit:

$h_{u,Q30}$ (berechnete hydraulisch wirksame Wassertiefe unterhalb der Querriegel in m)

$w = 0,14 \text{ m}$ (angesetzte Höhe der Niedrigwasserschwelle im Durchlass in m)

Es berechnet sich eine Wassertiefe von $h_{u,Q30} = 0,59 \text{ m}$.

2.2.7 Effektive Wassertiefe unterhalb des Querriegels

Die fischbiologisch effektive Wassertiefe $h_{u,eff,Q30}$ in den Becken unterhalb der Querriegel für $Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ ergibt sich aus:³³

$$h_{u,eff,Q30} = h_{u,Q30} - k_o = 0,59 - 0,01 = 0,58 \text{ m}$$

mit:

$h_{u,eff,Q30}$ (berechnete fischbiologisch effektive Wassertiefe unterhalb der Querriegel in m)

k_o (Nullhorizont der Geschwindigkeitsverteilung unter den Spitzen der Rauheitselemente)

²⁹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 187.

³⁰ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 188.

³¹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 187.

³² Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 193.

³³ DWA-M 509 (2014), S. 157.

$$k_0 = \frac{1}{3} * k = \frac{1}{3} * 0,03 = 0,01m$$

mit:

$$k = \frac{d_s}{6} = \frac{0,20}{6} = 0,03$$

mit:

$$d_s = 0,20 \text{ m} \quad (\text{angesetzter maximaler Steindurchmesser im Sohlsubstrat})$$

Es berechnet sich eine effektive Wassertiefe von $h_{u,Q30} = 0,58 \text{ m}$.

2.2.8 Wassertiefe oberhalb der Querriegel

Die hydraulisch wirksame Wassertiefe $h_{o,Q30}$ in den Becken oberhalb der Querriegel für $Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ ergibt sich aus:³⁴

$$h_{o,Q30} = h_{u,Q30} + \Delta h_{bem} = 0,59 + 0,12 = 0,71m$$

mit:

$h_{o,Q30}$ (berechnete hydraulisch wirksame Wassertiefe oberhalb der Querriegel in m)

$h_{u,Q30}$ (hydraulisch wirksame Wassertiefe unterhalb der Querriegel in m, Kap. 2.1.7)

$\Delta h_{bem} = 0,12 \text{ m}$ (Absturzhöhe der zwischen den Becken in m, Kap. 2.1.2)

Es berechnet sich eine Wassertiefe von $h_{o,Q30} = 0,71 \text{ m}$.

2.2.9 Riegelbreite

Die Riegelbreite b_R wird mit dem Betriebsabfluss $Q_{330} = 1,07 \text{ m}^3/\text{s}$ berechnet, bei dem die Querriegel überströmt werden:³⁵

$$b_R = \frac{Q_{Riegel}}{\frac{2}{3} * \mu * f * \sqrt{2g} * h_{1,Riegel}^{3/2}} = \frac{0,569}{\frac{2}{3} * 0,65 * 1,1 * \sqrt{19,82} * 0,16^{3/2}} = 4,21m$$

mit:

b_R (berechnete Riegelbreite in m)

$\mu = 0,65$ (Überfallbeiwert für scharfkantige Steine)³⁶

$f = 1,1$ (Faktor für unvermeidbaren Abfluss durch Lücken Riegelsteine)³⁷

Q_{Riegel} (untere Grenze Betriebsabfluss nach Kap. 1.1)

mit:

$$Q_{Riegel} = Q_{330} - Q_{D,330} = 1,07 - 0,493 = 0,569m^3/s$$

mit:

³⁴ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 193.

³⁵ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 194.

³⁶ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 187.

³⁷ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 187.

Q_{Riegel} (berechneter über die Riegelkrone strömender Abfluss)

Q_{330} (obere Grenze Betriebsabfluss, Kap. 1.1)

$Q_{D,330}$ (Anteil des durch den Durchlass abfließenden Q_{330})

mit:

$$Q_{D,330} = \frac{2}{3} * \mu * \sigma * f * b_s * \sqrt{2g} * h_{1,Q330}^{3/2} =$$
$$\frac{2}{3} * 0,65 * 0,926 * 1,1 * 0,43 * \sqrt{19,82} * 0,75^{2/3} = 0,501 \text{ m}^3/\text{s}$$

mit:

$f = 1,1$ (Faktor für unvermeidbaren Abfluss durch Lücken Riegelsteine)³⁸

$$\sigma = 1 - \left(\frac{h_{2,Q330}}{h_{1,Q330}} \right)^{11} = 1 - \left(\frac{0,63}{0,75} \right)^{11} = 0,926$$

mit:

σ (dimensionsloser Rückstaubeiwert)³⁹
 $h_{2,Q330}$ (berechnete Wassertiefe unterhalb des Riegeldurchlasses über der NW-Schwelle bei Q_{330})
 $h_{1,Q330}$ (berechnete Wassertiefe oberhalb des Riegeldurchlasses über der NW-Schwelle bei Q_{330})

mit:

$$h_{1,330} = h_{1,30} + \Delta h_{Q,330} = 0,57 + 0,16 = 0,75 \text{ m}$$

$$h_{2,330} = h_{2,30} + \Delta h_{Q,330} = 0,45 + 0,16 = 0,63 \text{ m}$$

mit:

$\Delta h_{Q330} = 0,18 \text{ m}$ (durch Probieren festgelegter maximal höherer Wasserstand bei Q_{330} im Vergleich zu Q_{30})

$h_{1,\text{Riegel}}$ (berechnete Höhe des Wasserstands über Riegel)

mit:

$$h_{1,\text{Riegel}} = \Delta h_{Q330} - 0,02 = 0,18 - 0,02 = 0,16 \text{ m}$$

mit:

0,02 m (festgelegter Überstand der Steinoberkante bei Q_{30})

Die Riegelbreite beträgt $b_R = 4,21 \text{ m}$.

³⁸ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 187.

³⁹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 188.

2.2.10 Gesamtbreite Riegel

Die gesamte Riegelbreite errechnet sich durch die Riegelbreite und der Durchlassbreite:⁴⁰

$$b_{ges} = b_R + b_s = 4,21 + 0,43 = 4,64m$$

mit:

$$b_{ges} = 4,64 \text{ m (berechnete Gesamtriegelbreite)}$$

$$b_R = 4,21 \text{ m (Riegelbreite, Kap. 2.2.9)}$$

$$b_s = 0,43 \text{ m (Durchlassbreite, Kap. 2.2.5)}$$

Die gesamte Riegelbreite beträgt **$b_{ges} = 4,64 \text{ m}$** .

2.2.11 Größe der Riegelsteine

Die Höhe der Steine ergibt sich aus der Wasserhöhe im oberen Becken und dem Überstand der Steinoberkante zum Wasserspiegel bei Q_{30} .

$$h_s = h_{o,Q30} + 0,02 = 0,71 + 0,02 = 0,73m$$

mit:

$$h_{o,Q30} \quad (\text{Wasserstand oberhalb der Querriegel, Kap. 2.2.8})$$

$$0,02 \text{ m} \quad (\text{festgelegter Überstand der Steinoberkante zum Wasserspiegel bei } Q_{30})$$

Es errechnet sich eine Höhe der Steine über der Sohle von **$h_s = 0,73 \text{ cm}$** .

Es wird empfohlen die Riegelsteine mindestens 1/3 bis 1/2 ihrer Gesamthöhe in das Sohlsubstrat einzubinden. Die Riegelsteine werden. Die Steine werden 0,47 cm in die Sohle eingebunden, was eine Gesamthöhe von **$h_{s,ges} = 1,20 \text{ cm}$** ergibt.

Die Querriegelstärke t wird mit **$t = 0,60 \text{ m}$** gewählt.

Daraus lässt sich der äquivalente Steindurchmesser berechnen:

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} * a} = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} * 0,916} = 1,14m$$

mit:

$$d_v \quad (\text{berechneter äquivalenter Steindurchmesser})$$

$$a = 0,916 \text{ m} \quad (\text{Kantenlänge eines äquivalenten Würfels})$$

mit:

$$a = \sqrt[3]{a * b * c} = \sqrt[3]{1,20 * 0,80 * 0,80} = 0,916m$$

Der äquivalente Steindurchmesser beträgt **$d_v = 1,14 \text{ m}$** .

2.2.12 Sohlenbreite

Die Sohlenbreite b_{so} für das Trapezgerinne ergibt sich aus der ermittelten Riegelbreite b_{ges} und dem Böschungswinkel 1:2:

$$b_{so} = b_{ges} - 2 * m * h_s = 4,64 - 2 * 2 * 0,73 = 1,72m$$

⁴⁰ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 194.

mit:

- b_{so} (berechnete Sohlenbreite)
 m (Böschungsneigung 1:m)
 h_s (Steinhöhe über Sohle, Kap. 2.2.11)

Die Sohlenbreite beträgt $b_{so} = 1,72 \text{ m}$.

2.2.13 Lichte Beckenlänge

Die lichte Beckenlänge L_{LB} berechnet sich mit der umgeformten Formel zur Berechnung der Energiedissipation p_D :⁴¹

$$L_{LB} = \frac{\rho_W * g * \Delta h_{bem} * Q_{330}}{p_{D,bem} * (b_{so} * h_m + m * h_m^2)} = \frac{1000 * 9,81 * 0,12 * 1,04}{90 * (1,72 * 0,83 * 2 * 0,83^2)} = 4,99m$$

mit:

- L_{LB} (berechnete lichte Beckenlänge)
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ (Erdbeschleunigung)
 $\Delta h_{bem} = 0,12 \text{ m}$ (Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken, Kap. 2.1.2)
 $Q_{330} = 1,04 \text{ m}^3/\text{s}$ (obere Grenze Betriebsabfluss, Kap. 1.1)
 $p_{D,bem} = 90 \text{ W/m}^3$ (maximale spezifische Leistungsdichte, Kap. 2.1.5)
 $b_{so} = 1,72 \text{ m}$ (Sohlenbreite, Kap. 2.2.12)
 $m = 2$ (Böschungsneigung 1:m)
 $h_{m,Q330} = 0,83 \text{ m}$ (mittlere Fließtiefe bei Q_{330})

mit:

$$h_m = \frac{h_{o,Q330} + h_{u,Q330}}{2} = \frac{0,89 + 0,77}{2} = 0,83m$$

mit:

$$h_{o,Q330} = h_{o,Q30} + \Delta h_{Q330} = 0,71 + 0,18 = 0,89m$$

mit:

- $h_{o,Q330}$ (berechnete Fließtiefe oberhalb der Querriegel bei Q_{330})
 $h_{o,Q30}$ (Fließtiefe oberhalb der Querriegel bei Q_{30} , Kap. 2.2.8)
 Δh_{Q330} (festgelegte Wasserspiegeldifferenz von Q_{330} zu Q_{30})

Die lichte Beckenlänge beträgt $L_{LB} = 4,24 \text{ m}$.

2.2.14 Systembeckenlänge

Die Systembeckenlänge L_B ergibt sich aus der lichten Beckenlänge und der Querriegelstärke:⁴²

$$L_B = L_{LB} + t = 4,24 + 0,60 = 5,59m$$

⁴¹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 194.

⁴² Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 194.

mit:

L_B	(berechnete Systembeckenlänge in m)
L_{LB}	(lichte Beckenlänge in m, Kap. 2.2.13)
t	(Querriegelstärke in m, Kap. 2.2.11)

Die Systembeckenlänge beträgt $L_B = 5,59$ m.

2.2.15 Gesamtlänge der Fischwanderhilfe

Die Gesamtlänge des Raugerinnes ergibt sich aus der Anzahl der Becken und Querriegeln:

$$L_{ges} = n * L_B + t = 9 * 5,59 + 0,60 = 50,89m$$

mit:

n	(Anzahl der Becken, Kap. 2.2.2)
L_B	(Systembeckenlänge, Kap. 2.2.14)
t	(Querriegelstärke, Kap. 2.2.11)

Die Gesamtlänge der Fischwanderhilfe beträgt (ohne Berücksichtigung des Kolkes im Unterwasser) $L_{ges} = 50,89$ m

2.2.16 Versatzmaß der Durchlassöffnungen

Die vorangegangenen Rechnungen setzen voraus, dass die hydraulische Energie in den Becken nahezu vollständig umgewandelt wird und ein Beckenabfluss besteht. Um sich gegen einen Schussstrahl von Durchlass zu Durchlass abzusichern, sollen diese deutlich voneinander versetzt angeordnet werden.⁴³

$$y_s > 2 * b_s = 2 * 0,43 = 0,86m$$

mit:

y_s	(berechnetes Versatzmaß in m)
b_s	(Öffnungsbreite Riegeldurchlass in m, Kap. 2.2.5)

Die Durchlassöffnungen werden an die an die Ränder der Sohle gesetzt. Es entsteht ein Versatzmaß von $y_s = 1,20$ m

2.2.17 Gefälle des Raugerinnes

Das Gefälle I des Raugerinnes lässt sich aus Absturzhöhe und Systembeckenlänge berechnen:

$$I = \left(\frac{\Delta h_{bem}}{L_B} \right) * 100 = \left(\frac{0,12}{5,59} \right) * 100 = 2,15\%$$

mit:

I	(berechnetes Gefälle des Raugerinnes in %)
Δh_{bem}	(Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken in m, Kap. 2.1.2)
L_B	(Systembeckenlänge in m, Kap. 2.2.14)

Das Gefälle des Raugerinnes mit Beckenstruktur beträgt $I = 2,15$ % bzw. **1:47**.

⁴³ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 181.

2.2.18 Nachbett

Die Dimensionierung des Kolkes am Rampenfuß erfolgt nach GEBLER⁴⁴:

Kolktiefe:

$$t_K = \frac{h_R}{3} \text{ bis } \frac{h_R}{2} = \frac{1,08}{3} \text{ bis } \frac{1,08}{2} = 0,36 \text{ bis } 0,54 \text{ m}$$

mit:

t_K (berechnete Tiefe des Kolkes)

$h_R = 1,08 \text{ m}$ (Rampenhöhe, Kap. 2.2.2)

Es wird eine Kolktiefe von $t_K = 0,40 \text{ m}$ gewählt.

Länge Übergangsbereich:

$$l_{\ddot{U}} = 7 * h_R \text{ bis } 10 * h_R = 7 * 1,08 \text{ bis } 10 * 1,08 = 7,56 \text{ bis } 10,80 \text{ m}$$

Es wird eine Länge von $l_{\ddot{U}} = 10,0 \text{ m}$ gewählt.

2.3 Nachweise für die Funktionsfähigkeit

2.3.1 Nachweis der maximalen Fließgeschwindigkeit

Nachweis für die maximale Fließgeschwindigkeit in den Durchlässen (Berechnung Kap. 2.1.1):

$$v_{max,ist} = 1,53 \frac{m}{s} < v_{max,bem} = 1,62 \frac{m}{s}$$

Somit ist der Nachweis erbracht.

2.3.2 Nachweis der Mindestwassertiefe unterhalb des Querriegels

Nachweis für die biologisch effektive Mindestwassertiefe bei Q_{30} (Berechnung Kap. 2.2.7):

$$h_{u,eff,30} = 0,62m > h_{u,eff,min} = 0,53m$$

Somit ist der Nachweis erbracht.

2.3.3 Nachweis der Mindestwassertiefe im Durchlass

Nachweis für die Mindestwassertiefe im Durchlass (Kap. 2.2.5):

$$h_{2,Q30} = h_{D,min} = 0,45m$$

Somit ist der Nachweis erbracht.

2.3.4 Nachweis Beckenabfluss

Der Nachweis für einen typischen Beckenabfluss ist erbracht, wenn gilt:

$$\frac{h_{o,30}}{h_s} = \frac{0,71}{0,73} = 0,97 < 1,5$$

Somit ist der Nachweis für den unteren Betriebsabfluss Q_{30} erbracht.

⁴⁴ Vgl. LUBW (2006): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern. Leitfaden Teil 2 – Umgehungsge-
wässer und fischpassierbare Querbauwerke, S. 53.

$$\frac{h_{o,330}}{h_s} = \frac{0,89}{0,73} = 1,22 < 1,5$$

Somit ist der Nachweis für den oberen Betriebsabfluss Q_{330} erbracht.

2.3.5 Nachweis des zulässigen Energieeintrags

Nachweis für den Energieeintrag in die Becken für $Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$p_{D,ist,Q30} = 41,19 \frac{W}{m^3} < p_{D,bem} = 90 \frac{W}{m^3}$$

mit:⁴⁵

$$p_{D,ist,30} = \frac{\rho_w * g * \Delta h_{max,ist,30} * Q_{30}}{(b_{So} * h_{m,Q30} + m * h_{m,Q30}^2) * L_{LB}} = \frac{1000 * 9,81 * 0,12 * 0,36}{(1,72 * 0,65 + 2 * 0,65^2) * 4,99} = 43,27 \frac{W}{m^3}$$

mit:

L_{LB}	(lichte Beckenlänge, Kap. 2.2.13)
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	(Erdbeschleunigung)
$\Delta h_{bem} = 0,12 \text{ m}$	(Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken, Kap. 2.1.2)
$Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$	(untere Grenze Betriebsabfluss, Kap. 1.1)
$p_{D,bem} = 90 \text{ W/m}^3$	(maximale spezifische Leistungsdichte, Kap. 2.1.5)
$b_{So} = 1,72 \text{ m}$	(Sohlenbreite, Kap. 2.2.12)
$m = 2$	(Böschungsneigung 1:m)
$h_{m,Q30} = 0,65 \text{ m}$	(mittlere Fließtiefe bei Q_{30})

Somit ist der Nachweis für den unteren Betriebsabfluss Q_{30} erbracht.

Nachweis für den Energieeintrag in die Becken für $Q_{330} = 1,07 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$p_{D,ist,Q330} = 90 \frac{W}{m^3} \leq p_{D,bem} = 90 \frac{W}{m^3}$$

mit:

$$p_{D,ist,330} = \frac{\rho_w * g * \Delta h_{max,ist,30} * Q_{330}}{(b_{So} * h_{m,Q330} + m * h_{m,Q330}^2) * L_{LB}} = \frac{1000 * 9,81 * 0,12 * 1,07}{(1,72 * 0,83 + 2 * 0,83^2) * 4,99} = 90 \frac{W}{m^3}$$

mit:

L_{LB}	(lichte Beckenlänge, Kap. 2.2.13)
$g = 9,81 \text{ m/s}^2$	(Erdbeschleunigung)
$\Delta h_{bem} = 0,12 \text{ m}$	(Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken, Kap. 2.1.2)
$Q_{330} = 1,07 \text{ m}^3/\text{s}$	(obere Grenze Betriebsabfluss, Kap. 1.1)

⁴⁵ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 189.

$p_{D,bem} = 90 \text{ W/m}^3$	(maximale spezifische Leistungsdichte, Kap. 2.1.5)
$b_{So} = 1,72 \text{ m}$	(Sohlenbreite, Kap. 2.2.12)
$m = 2$	(Böschungsneigung 1:m)
$h_{m,Q330} = 0,83 \text{ m}$	(mittlere Fließtiefe bei Q_{330})

Somit ist der Nachweis für den oberen Betriebsabfluss Q_{330} erbracht.

2.3.6 Nachweis der Beckenabmessungen

Nachweise für geometrische Beckenbemessungen:

Lichte Beckenlänge:

$$L_{LB} = 4,99\text{m} > L_{LB,bem} = 3,80\text{m}$$

Minimale mittlere Beckenbreite:

$$b_m = 3,18 > b_{bem} = 3,00\text{m}$$

mit:

$$b_m = \frac{b_{So} + b_{ges}}{2} = \frac{1,72 + 4,61}{2} = 3,18\text{m}$$

mit:

b_m	(berechnete mittlere Beckenbreite)
$b_{So} = 1,72 \text{ m}$	(Sohlenbreite, Kap. 2.2.12)
$b_{ges} = 4,64 \text{ m}$	(Riegelbreite gesamt, Kap. 2.2.10)

Öffnungsbreite Riegeldurchlass:

$$b_s = 0,43\text{m} = b_{s,min} = 0,43\text{m}$$

Somit sind die geometrischen Nachweise erbracht.

2.3.7 Nachweis für die mittlere Fließgeschwindigkeit in den Becken

Nachweis für die mittlere Fließgeschwindigkeit in den Becken für $Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$v_{m,Becken,Q30} < v_{m,bem} = 0,50 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

mit:

$$v_{m,Becken,Q30} = \frac{Q_{30}}{b_{So} * h_{m,Q30} + m * h_{m,Q30}^2} = \frac{0,36}{1,72 * 0,65 + 2 * 0,65^2} = 0,12 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

mit:

$Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$	(untere Grenze Betriebsabfluss, Kap. 1.1)
$b_{So} = 1,72 \text{ m}$	(Sohlenbreite, Kap. 2.2.12)
$m = 2$	(Böschungsneigung 1:m)
$h_{m,Q30} = 0,65 \text{ m}$	(mittlere Fließtiefe bei Q_{30})

mit:

$$h_m = \frac{h_{o,Q30} + h_{u,Q30}}{2} = \frac{0,71 + 0,59}{2} = 0,65m$$

mit:

$h_{o,Q30}$ (Fließtiefe oberhalb der Querriegel bei Q_{30})

$h_{u,Q30}$ (Fließtiefe unterhalb der Querriegel bei Q_{30})

Somit ist der Nachweis für den unteren Betriebsabfluss Q_{30} erbracht.

Nachweis für die mittlere Fließgeschwindigkeit in den Becken für $Q_{30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$:

$$v_{m,Becken,Q330} < v_{m,bem} = 0,50 \frac{m}{s}$$

mit:

$$v_{m,Becken,Q330} = \frac{Q_{330}}{b_{So} * h_{m,Q330} + m * h_{m,Q330}^2} = \frac{1,07}{1,72 * 0,83 + 2 * 0,83^2} = 0,28 \frac{m}{s}$$

mit:

$Q_{330} = 1,07 \text{ m}^3/\text{s}$ (obere Grenze Betriebsabfluss, Kap. 1.1)

$b_{So} = 1,72 \text{ m}$ (Sohlenbreite, Kap. 2.2.12)

$m = 2$ (Böschungsneigung 1:m)

$h_{m,Q330} = 0,83 \text{ m}$ (mittlere Fließtiefe bei Q_{330})

mit:

$$h_m = \frac{h_{o,Q330} + h_{u,Q330}}{2} = \frac{0,89 + 0,77}{2} = 0,83m$$

mit:

$h_{o,Q330}$ (Fließtiefe oberhalb der Querriegel bei Q_{330})

$h_{u,Q30}$ (Fließtiefe unterhalb der Querriegel bei Q_{330})

Somit ist der Nachweis für den oberen Betriebsabfluss Q_{330} erbracht.

2.3.8 Nachweis Auffindbarkeit

Nachweis für die Auffindbarkeit des Einstiegs der Fischwanderhilfe am untersten Riegel-durchlass:

$$v_{Leitströmung} = 1,53 \frac{m}{s} > v_{Leitströmung,min} = 1,00 \frac{m}{s}$$

mit:

$$v_{Leitströmung} = v_{max,ist} = \sqrt{2g * \Delta h_{bem}} = \sqrt{19,81 * 0,12} = 1,53m/s$$

und:

$v_{Leitströmung,min}$ (minimale Fließgeschwindigkeit zur Auffindbarkeit des Fischaufstiegs, Kap. 2.1.11)

2.4 Stabilität der Beckenstruktur

2.4.1 Stabilität des Beckenfüllmaterials

Bemessung und Stabilitätsnachweis für das Beckenfüllmaterial nach PALT. Maßgeblich für die Stabilität im Becken ist der Teilabfluss in der Durchlassöffnung für den Bemessungsabfluss BQ⁴⁶.

Ermittlung des mittleren Steindurchmessers des Beckenfüllmaterials:

$$d_{m,Becken} = \left(\frac{q_{vorh}}{0,263 * s * \sqrt{g} * \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} * I^{-1,25}} \right)^{2/3}$$

$$= \left(\frac{1,99}{0,263 * 0,7 * \sqrt{9,81} * \sqrt{\frac{2650 - 1000}{1000}} * 2,15\%^{-1,25}} \right)^{2/3} = 0,08m$$

mit:

$d_{m,Becken}$	(berechneter mittlerer Steindurchmesser des Beckenfüllmaterials)
$s = 0,7$	(Sicherheitszuschlag für kantiges Material) ⁴⁷
$\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$	(angesetzte Dichte des Beckenfüllmaterials in kg/m^3)
$\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$	(Dichte von Wasser in kg/m^3)
$I_R = 2,15 \%$	(Gefälle, Kap. 2.2.17)
q_{vorh}	(vorhandener Abfluss durch die Durchlassöffnung) mit:

$$q_{vorh} = \frac{Q_{D,BQ}}{b_s} = \frac{0,85}{0,43} = 1,99 \text{ m}^3 / (s * m)$$

mit:

$b_s = 0,43m$	(Breite der Durchlassöffnung im Riegel, Kap. 2.2.5)
$Q_{D,BQ}$	(Abfluss durch die Durchlassöffnung bei BQ = HQ ₁₀₀ = 3,2 m^3/s)

mit:

$$Q_{D,BQ} = \frac{2}{3} * \mu * \sigma * f * b_s * \sqrt{2g} * h_{1,BQ}^{3/2} =$$

$$\frac{2}{3} * 0,65 * 0,667 * 1,1 * 0,43 * \sqrt{19,82} * 1,26^{2/3} = 0,85 \text{ m}^3 / s$$

mit:

$f = 1,1$	(Faktor für unvermeidbaren Abfluss durch Lücken Riegelsteine) ⁴⁸
-----------	---

⁴⁶ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 191.

⁴⁷ DWA-M 509 (2014), S. 191.

⁴⁸ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 187.

$$\sigma = 1 - \left(\frac{h_{2,BQ}}{h_{1,BQ}} \right)^{11} = 1 - \left(\frac{1,14}{1,26} \right)^{11} = 0,667$$

mit:

σ	(dimensionsloser Rückstaubeiwert) ⁴⁹
$h_{2,BQ}$	(berechnete Wassertiefe unterhalb des Riegel-durchlasses über der NW-Schwelle bei BQ)
$h_{1,BQ}$	(berechnete Wassertiefe oberhalb des Riegel-durchlasses über der NW-Schwelle bei BQ)

mit:

$$h_{1,BQ} = h_{o,BQ} - w = 1,40 - 0,14 = 1,26m$$

$$h_{2,BQ} = h_{1,BQ} - \Delta h_{bem} = 1,26 - 0,12 = 1,14m$$

mit:

$h_{o,BQ} = 1,40$ m	(Wassertiefe bei HQ ₁₀₀ oberhalb des Riegel-durchlasses, übernommen aus bestehendem Ab-schluss an den Rehbach an der Gemarkungs-grenze Haßloch)
$w = 0,14$ m	(Höhe der NW-Schwelle)
$\Delta h_{bem} = 0,12$ m	(Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken, Kap. 2.2.1)

Ermittlung der oberen Klassengrenze des Beckenfüllmaterials:

$$d_{m,Becken} = \left(\frac{q_{vorh}}{0,05 * s * \sqrt{g} * \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} * I^{-1,25}}} \right)^{2/3}$$

$$= \left(\frac{1,99}{0,05 * 0,7 * \sqrt{9,81} * \sqrt{\frac{2650 - 1000}{1000} * 2,15\%^{-1,25}}} \right)^{2/3} = 0,24m$$

mit:

$d_{m,Becken}$	(berechneter mittlerer Steindurchmesser des Beckenfüllmateri- als)
$s = 0,7$	(Sicherheitszuschlag für kantiges Material) ⁵⁰
$\rho_s = 2650$ kg/m ³	(angesetzte Dichte des Beckenfüllmaterials in kg/m ³)
$\rho_w = 1000$ kg/m ³	(Dichte von Wasser in kg/m ³)
$I_R = 2,15$ %	(Gefälle, Kap. 2.2.17)

⁴⁹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 188.

⁵⁰ DWA-M 509 (2014), S. 191.

Q_{vorh} (vorhandener Abfluss durch die Durchlassöffnung) mit:

$$q_{\text{vorh}} = \frac{Q_{D,BQ}}{b_m} = \frac{0,85}{0,43} = 1,99 \text{ m}^3 / (\text{s} * \text{m})$$

mit:

$Q_{D,BQ}$ (Abfluss durch die Durchlassöffnung bei BQ = HQ₁₀₀ = 3,2 m³/s, siehe oben)

Für das Füllmaterial werden Wasserbausteine der Klasse **CP_{90/250}** mit der mittleren Steingröße **d₅₀ = 13 cm** und der oberen Steingröße **d₉₀ = 25 cm** verwendet.

Bemessung und Stabilitätsnachweis für das Beckenfüllmaterial im Kolkbereich hinter den Steinschwellen nach EGGENBERGER⁵¹. Maßgeblich für die Stabilität im Becken ist in diesem Fall der Teilabfluss in der Durchlassöffnung für den Bemessungsabfluss Q_{30} .

$$d_{90} = \left(22,88 * \frac{\Delta h^{0,5} * q_{s,D,Q30}^{0,6}}{h_o - \Delta h + h_{\text{Kolk}}} \right)^{\frac{1}{0,4}} = \left(22,88 * \frac{0,12^{0,5} * 0,84^{0,6}}{0,71 - 0,12 + 0,10} \right)^{\frac{1}{0,4}} = 345 \text{ mm}$$

mit:

$\Delta h_{\text{bem}} = 0,12 \text{ m}$ (Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken, Kap. 2.2.1)

$h_{o,Q30} = 0,71 \text{ m}$ (Fließtiefe oberhalb der Querriegel bei Q₃₀, Kap. 2.2.8)

$h_{\text{Kolk}} = 0,10 \text{ m}$ (zulässige Kolkentiefe hinter den Steinschwellen)

$q_{s,D,Q30} = 0,84 \text{ m}^3 / (\text{s} * \text{m})$ (spezifischer Abfluss durch die Durchlassöffnung bei Q₃₀)

mit:

$$q_{s,D,30} = \frac{Q_{D,30}}{b_s} = \frac{0,36}{0,43} = 0,84 \text{ m}^3 / (\text{s} * \text{m})$$

mit:

$Q_{D,30} = 0,36 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abfluss durch die Durchlassöffnung bei Q₃₀ = Q₃₀, Kap. 1.1)

$b_s = 0,43 \text{ m}$ (Breite Durchlassöffnung, Kap. 2.2.5)

Für das Füllmaterial im Kolkbereich hinter den Steinschwellen werden Wasserbausteine der Klasse **LMB_{40/200}** mit der mittleren Steingröße **d₅₀ = 27 cm** und der oberen Steingröße **d₉₀ = 35 cm** verwendet.

2.4.2 Stabilität der Riegelsteine

Stand sicherheitsnachweis der Riegelsteine der Becken-Querriegel nach Ansatz der Nachweise für Störsteine:⁵²

Für die Riegelsteine der Becken-Querriegel werden Wasserbausteine der schweren Gewichtsklasse HMB 1000/3000 mit äquivalenten Steindurchmessern d₅₀ = 0,9 m bis d₉₀ = 2,25 m und einer Kantenlänge von l_{Stein} = 1,2 m sowie einer Steintiefe von t = 0,6 m angesetzt.

⁵¹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 191.

⁵² Vgl. LUBW (2006): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern. Leitfaden Teil 2 – Umgehungsge-wässer und fischpassierbare Querbauwerke, S. 63.

Einzuhaltender Gleichgewichtsansatz:

$$P + H \leq R$$

mit:

P (Strömungskraft in N mit:

$$P = \rho_w * A_s * v_{gr}^2 = 1000 * 0,51 * 1,63^2 = 1347 \text{ N} = 1,35 \text{ kN}$$

mit:

As (angeströmte Steinfläche mit:

$$A_s = \frac{1}{8} * \pi * d_v^2 = \frac{1}{8} * \pi * 1,14^2 = 0,51 \text{ m}^2$$

v_{gr} (Grenzgeschwindigkeit bei BQ mit:

$$v_{gr} = \frac{BQ}{B_{Kr} * y_{gr}} = \frac{3,2}{7,32 * 0,27} = 1,63 \text{ m/s}$$

mit:

A_{gr} = (Fließquerschnitt bei BQ)

B_{Kr} = 21,5 m (hydraulisch wirksame Kronenbreite)

y_{gr} = (Grenzwassertiefe bei BQ mit:

$$y_{gr} = \sqrt[3]{\frac{BQ}{g * B_{Kr}}} = \sqrt[3]{\frac{3,2}{9,81 * 7,32}} = 0,27 \text{ m}$$

H (Gewichtskraftkomponente, parallel zur Rampenneigung, in N mit:

$$H = G_s * \sin \alpha = 21,17 * \sin(1,23^\circ) = 0,45 \text{ kN}$$

mit:

G_s (Steingewichtskraft mit:

$$G_s = \frac{1}{6} * \pi * \rho_s * d_v^3 * g = \frac{1}{6} * \pi * 2650 * 1,14^3 * 9,81 = 20166 \text{ N} = 21,17 \text{ kN}$$

d_v = 1,14 m (äquivalenter Steindurchmesser, Kap. 2.2.11)

α Neigungswinkel des Raugerinnes mit:

$$\tan \alpha = \frac{\Delta h_{max}}{L_{system}} = \tan^{-1} \left(\frac{0,12}{5,59} \right) = 1,23^\circ$$

R (Haftreibungskraft in N mit:

$$R = G_s * \tan \phi * \cos \alpha = 21,17 * \tan(35^\circ) * \cos(1,23^\circ) = 14,82 \text{ kN}$$

mit:

φ = 35° (Innerer Reibungswinkel des Riegels in °)

Es ist:

$$P + H = 1,35 + 0,45 = 1,8 \text{ kN} \leq R = 14,82 \text{ kN}$$

Somit ist der Gleitsicherheitsnachweis erbracht.

Kippsicherheitsnachweis:

Der Kippsicherheitsnachweis wird in Anlehnung an den Stabilitätsnachweis für Störsteine in Raugerinnen geführt. Dort werden die Riegelsteine der Becken-Querriegel als exponierte Einzelsteine betrachtet und der modifizierte Kippsicherheitsnachweis geführt.⁵³

Einzuhaltender Auslastungsgrad:

$$f = \frac{\gamma_v * M_v + \gamma_h * M_h}{\gamma_G * M_G} \leq 1,0$$

mit:

$\gamma_v = 1,5$ (Partialsicherheitsbeiwert für Moment aus Strömungsangriff)⁵⁴

M_v (Moment aus Strömungskraft in kNm mit:

$$M_v = \frac{1}{2} * \rho_w * c_w * A_s * v^2 * \frac{h_o}{2} = \frac{1}{2} * 1000 * 1,2 * 0,438 * 0,51^2 * \frac{0,73}{2} = 24,95 \text{ Nm} \\ = 0,025 \text{ kNm}$$

mit:

$c_w = 1,2$ (Formwiderstandsbeiwert (Ansatz Umströmung) für kantige, quaderförmige Steine)⁵⁵

A_s (angeströmte Steinfläche in m²) mit:

$$A_s = 0,73 * 0,6 = 0,438 \text{ m}^2$$

v (Fließgeschwindigkeit bei BQ) mit:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{3,2}{6,3} = 0,51$$

mit:

$Q = 3,2 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abfluss bei HQ₁₀₀, Kap. 1.1)

$A = 6,3 \text{ m}^2$ (Schnittfläche bei Hochwasserabfluss im Trapezprofil)

$\gamma_h = 1,3$ (Partialsicherheitsbeiwert für Moment aus resultierender Wasserdruckkraft)⁵⁶

M_h (Moment aus resultierender Wasserdruckkraft in kNm mit:

$$M_h = \Delta h * \rho_w * g * \frac{h_o^2}{2} = 0,12 * 1000 * 9,81 * \frac{0,73^2}{2} = 313,7 \text{ Nm} = 0,314 \text{ kNm}$$

⁵³ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 181.

⁵⁴ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 181.

⁵⁵ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 181.

⁵⁶ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 181.

mit:

$\Delta h = 0,12 \text{ m}$ (Wasserspiegeldifferenz, Kap. 2.1.2)

$h_o = h_s = 0,73 \text{ m}$ (anzusetzende Wassertiefe bis OK Riegelstein)

$\gamma_G = 0,8$ (Partialsicherheitsbeiwert für Moment aus resultierender Wasserdruckkraft)⁵⁷

M_G (Moment aus Steingewichtskraft unter Auftrieb in kNm mit:

$$MG = G' * \frac{d_s}{2} = 4,86 * \left(\frac{1,14}{2}\right) = 2,76 \text{ kNm}$$

mit:

G' (Steingewichtskraft unter Auftrieb in N mit:

$$G' = (\rho_s - \rho_w) * g * V = (2650 - 1000) * 9,81 * 0,3 = 4856 \text{ N}$$

V (Steinvolumen berechnet mit dem Faktor 0,7 zur Berücksichtigung der Steinform zu:

$$V = 0,7 * l_s * B_s * t = 0,7 * 1,2 * 0,6 * 0,6 = 0,3 \text{ m}^3$$

Unter Ansatz der Teilsicherheitsbeiwerte berechnet sich der Auslastungsgrad zu:

$$f = \frac{\gamma_v * M_v + \gamma_h * M_h}{\gamma_G * M_G} = \frac{1,5 * 0,025 + 1,3 * 0,314}{0,8 * 2,76} = 0,2 \leq 1,0$$

Somit ist der Kippsicherheitsnachweis erbracht.

2.4.3 Stabilität des Nachbettes

Die Stabilisierung des Nachbettes wird nach KNAUSS berechnet.⁵⁸

$$d_{NB} \approx d_{65,NB} = 0,04 * v_{UW}^2 = 0,04 * 1,53^2 = 0,09 \text{ m}$$

mit:

d_{NB} (äquivalenter Durchmesser der Steine im Nachbett in m)

d_{65} (Durchmesser bei 65% Siebdurchgang)

$v_{UW} = 1,53 \text{ m/s}$ (Fließgeschwindigkeit am untersten Riegeldurchlass, Kap. 2.2.3)

Es ergibt sich ein Steindurchmesser von **$d_{65} = 0,09 \text{ m}$** .

Alternative Berechnung nach EGGENBERGER⁵⁹:

$$d_{90} = \left(22,88 * \frac{\Delta h^{0,5} * q_{s,D,Q30}^{0,6}}{h_o - \Delta h + h_{Kolk}} \right)^{\frac{1}{0,4}} = \left(22,88 * \frac{0,12^{0,5} * 1,17^{0,6}}{0,89 - 0,12 + 0,40} \right)^{\frac{1}{0,4}} = 151 \text{ mm}$$

⁵⁷ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 181.

⁵⁸ Vgl. LUBW (2006): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern. Leitfaden Teil 2 – Umgehungsge-
wässer und fischpassierbare Querbauwerke, S. 53–54.

⁵⁹ Vgl. DWA-M 509 (2014), S. 191.

mit:

$\Delta h_{\text{bem}} = 0,12 \text{ m}$ (Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken, Kap. 2.2.1)

$h_{\text{o,Q330}} = 0,89 \text{ m}$ (Fließtiefe oberhalb der Querriegel bei Q30, Kap. 2.2.8)

$h_{\text{Kolk}} = 0,40 \text{ m}$ (gewählte Kolkentiefe im Nachbettbereich)

$q_{\text{s,D,Q330}} = 1,17 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$ (spezifischer Abfluss durch die Durchlassöffnung bei Q₃₃₀)

mit:

$$q_{\text{s,D,30}} = \frac{Q_{\text{D,330}}}{b_{\text{s}}} = \frac{0,50}{0,43} = 1,17 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m})$$

mit:

$Q_{\text{D,330}} = 0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ (Abfluss durch die Durchlassöffnung bei Q₃₀ = Q₃₀, Kap. 1.1)

$b_{\text{s}} = 0,43 \text{ m}$ (Breite Durchlassöffnung, Kap. 2.1.10)

Es ergibt sich ein Steindurchmesser von $d_{90} = 0,15 \text{ m}$.

Für das Füllmaterial im Kolkbereich werden Wasserbausteine der Klasse CP_{63/180} mit der mittleren Steingröße $d_{50} = 13 \text{ cm}$ und der oberen Steingröße $d_{90} = 18 \text{ cm}$ verwendet.

Die Steine sind Richtung Ende des Nachbettes in abnehmender Größe einzubringen.

Zur Sicherung des Querriegels sind die untersten Riegelsteine in ein Mörtelbett zu setzen.

2.5 Zusammenfassung

Die Dimensionen des Fischaufstiegs im Überblick:

Dimensionen			
Δh_{bem}	0,12	m	Absturzhöhe zwischen den Becken
Δh_{Sohle}	1,08	m	Gesamthöhedifferenz
n_{Becken}	8,17	Stk	Anzahl Becken
$h_{\text{D,bem}}$	0,45	m	Fließtiefe in der Durchlassöffnung
b_{s}	0,43	m	Breite Durchlassöffnung
$h_{\text{u,Q30}}$	0,59	m	Wasserhöhe unten bei Q30
$h_{\text{o,Q30}}$	0,71	m	Wasserhöhe oben bei Q30
$h_{\text{u,Q330}}$	0,77	m	Fließtiefe unten bei Q330
$h_{\text{o,Q330}}$	0,89	m	Fließtiefe oben bei Q330
b_{ges}	4,64	m	erforderliche Gesamtbreite Riegel
h_{s}	0,73	m	Höhe der Steine über Sohle
b_{so}	1,72	m	Breite Sohle bei Böschungsneigung 1:2

L _{LB}	4,99	m	lichte Beckenlänge
L _B	5,59	m	Systembeckenlänge
L _{gesamt}	50,89	m	Gesamtlänge Raugerinne
y _s	1,20	m	Versatzmaß
I	2,15	%	Gefälle Raugerinne
Stabilität			
d _{50,B}	13,00	cm	mittlerer Steindurchmesser im Becken
d _{90,B}	25,00	cm	oberer Steindurchmesser im Becken
d _{50,K}	27,00	cm	mittlerer Steindurchmesser im Kolk der Becken
d _{90,K}	35,00	cm	oberer Steindurchmesser im Kolk der Becken
d _{50,N}	13,00	cm	mittlerer Steindurchmesser im Nachbett
d _{90,N}	18,00	cm	oberer Steindurchmesser im Nachbett

3 Aufstellungsvermerk

aufgestellt:


(B.Eng. Philipp Klabes)




(Dipl.-Ing. Peter Bader)

Ludwigshafen, im Dezember 2021

Der Auftraggeber

Neustadt, im Dezember 2021


ipr Consult
Ingenieurgesellschaft
PAPPON + RIEDEL mbH