



Vorhabensbezeichnung

**Umsetzung der EU-WRRL im OWK „Obere Ilm“
72015-005, Ilm, Langewiesen, Ilmenau, NGE, DG (IL 54, 55, 60)**

Standort:

Fließgewässer Ilm

Landkreis Ilm-Kreis

Stadt Langewiesen / Stadt Ilmenau

Station km 116+100 - 120+600

Unterlage 05.2:

**Bemessung des Raugerinnes
mit aufgelösten Beckenstrukturen**

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	2
Abbildungsverzeichnis	2
Anlagenverzeichnis.....	2
1 Vorbemerkung.....	3
2 Grundlagen der Bemessung	4
2.1 Gewässertyp und Bemessungswerte	4
2.2 Hydrologische Verhältnisse	5
2.3 Geometrische und hydraulische Berechnung der Raugerinne mit Beckenstruktur	7
2.4 Stabilitätsnachweis für die Raugerinne mit Beckenstruktur	10

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:: Bemessungswerte für Raugerinne mit Beckenstruktur	4
Tabelle 2: Hochwasserscheitelwerte für das Bearbeitungsgebiet	6
Tabelle 3: Hydrologische Hauptwerte für das Bearbeitungsgebiet.....	7

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Definition der geometrischen Bemessungswerte aus DWA-M509, Bild189.....	5
--	---

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Dimensionierung Raugerinne Ilm Absturz Kleine Straße für Q_{30}
Anlage 2	Dimensionierung Raugerinne Ilm Absturz Kleine Straße für Q_{330}

1 Vorbemerkung

Die Ilm, Teil des Flussgebietes Elbe, ist laut Thüringer Wassergesetz (ThürWG) ein Gewässer 1. Ordnung und unterliegt somit der Unterhaltung durch den Freistaat Thüringen.

Die Ilm im Bearbeitungsabschnitt ist Teil des Oberflächenwasserkörpers (OWK) "Obere Ilm", Wasserkörper-Nr. 21229. Der OWK wird gemäß Wasserrahmenplan nicht als erheblich veränderter Wasserkörper eingeschätzt. Im Gewässerrahmenplan werden jedoch Defizite hinsichtlich der vorhandenen Struktur und der Durchgängigkeit festgestellt.

Für die Ilm besteht u.a. ein Defizit in der ökologischen Durchgängigkeit. Ein Baustein zur Herstellung der Durchgängigkeit ist die Beseitigung von Hindernissen im Gewässer. Im Bereich der Stadt Langewiesen I Ilmenau existieren mehrere Querbauwerke, die die ökologische Durchgängigkeit der Ilm behindern. Im vorliegenden Projekt werden die Querbauwerke Wehr Grenzhammer (IL 60), Absturz Kleine Straße, Wehr Langewiesen (IL 55) und Sohlenrampe Langewiesen (IL 54) betrachtet.

Für die Bauwerke IL 60, IL55 und IL54 ist vorgesehen, die ökologische Durchgängigkeit jeweils durch einen vollständigen Rückbau des Bauwerkes herzustellen. Dadurch entsteht ein Gewässerabschnitt, dessen Gefälle und Abflussverhältnis an die angrenzenden Bereiche angeglichen wird. Es werden keine Bauwerke zur Herstellung der Durchgängigkeit errichtet. Eine Dimensionierung entsprechend Merkblatt DWA M 509 ist daher für diese Bauwerke nicht erforderlich.

Die Dimensionierung bezieht sich daher nur auf den Absturz Kleine Straße. Hier ist die Anlage eines Raugerinnes mit 4 Riegeln und Beckenstrukturen vorgesehen. Eine Umgestaltung dieses Querbauwerkes mit dem Ziel der Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit trägt zur Erreichung des guten ökologischen Zustandes im OWK „Obere Ilm“ bei.

2 Grundlagen der Bemessung

2.1 Gewässertyp und Bemessungswerte

Die Ilm im Bearbeitungsabschnitt gehört als metarhithrales Gewässer zur Unteren Forellenregion. Leitfischarten in der Oberen Ilm sind Groppe, Bachforelle (beide >20%), Elritze, Schmerle (beide >10%), Bachneunauge (5%), Äsche (>1%). Daraus ergeben sich für die Dimensionierung eines aufgelösten Raugerinnes mit Beckenstruktur nach DWA M 509, Tabellen 36 und 37 folgende empfohlenen geometrischen und hydraulischen Bemessungswerte:

Tabelle 1:: Bemessungswerte für Raugerinne mit Beckenstruktur

Parameter	Wert	Einheit
Planerische Absturzhöhe zwischen Becken Δh_{bem}	0,16	m
Mittlere Fließgeschwindigkeit im Becken $v_{m,bem}$	0,5	m/s
Maximale Leistungsdichte $p_{D,bem}$	200	W/m ³
Wassertiefe unterhalb der Trennwand $h_{u,eff}$	0,3	m
Min. Tiefe im Durchlass der Niedrigwasserschwelle $h_{D,min}$	0,25	m
Min. lichte Beckenlänge $L_{LB,bem}$	1,8	m
Min. mittlere lichte Beckenbreite b_{bem}	1,0 - 2,0	m
Min. Öffnungsbreite für mindestens einen Durchlass	0,2 - 0,4	m

Zur Verdeutlichung sind in der folgenden Abbildung aus DWA-M 509, S189 die maßgeblichen geometrischen Parameter dargestellt.

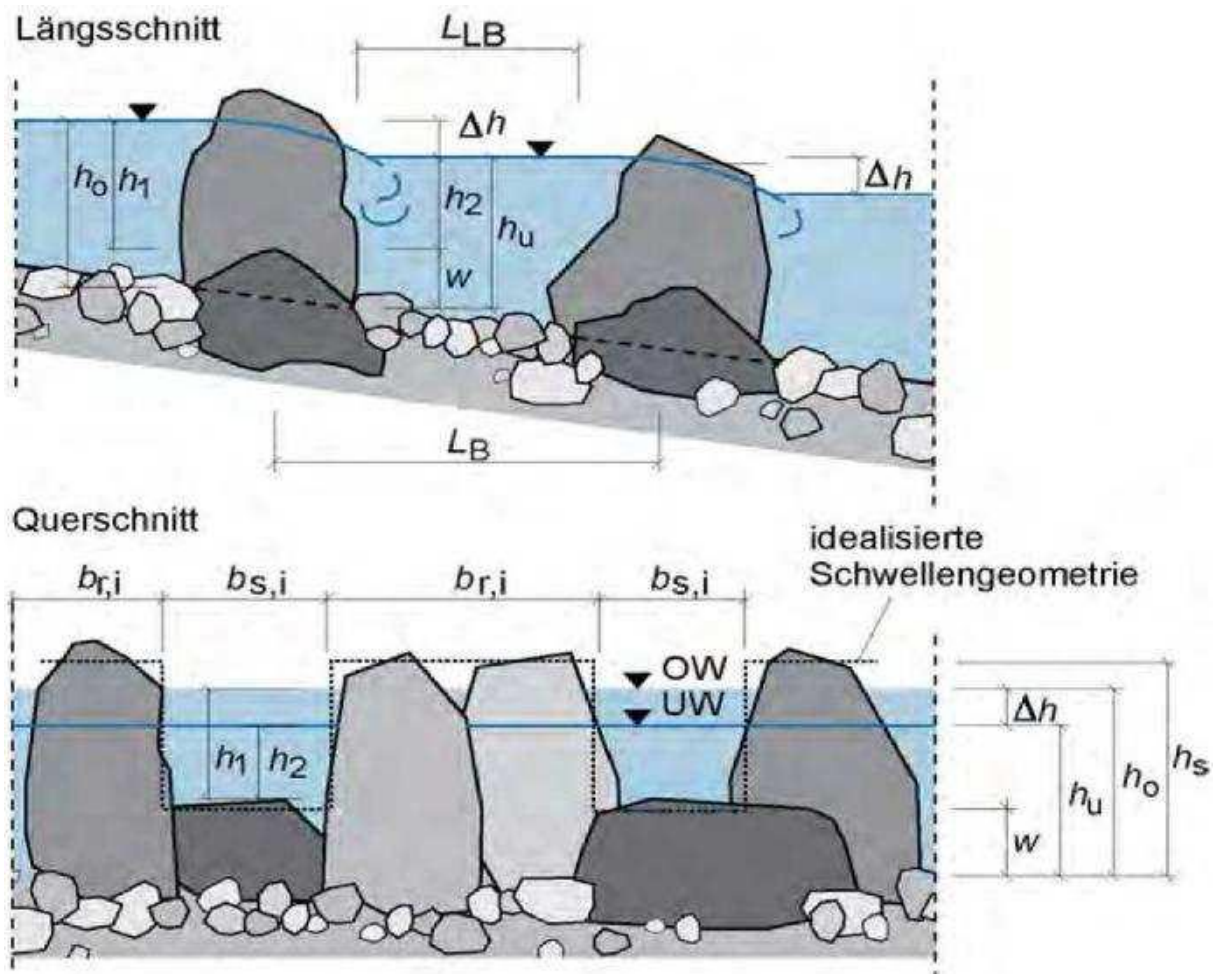


Abbildung 1: Definition der geometrischen Bemessungswerte aus DWA-M509, Bild189

Die Grenzwerte für die geometrische Dimensionierung für fischpassierbare Bauwerke sind in DWA-M 509, Tabelle 16 (Seite 123) zusammengefasst. Danach gelten für die als Leitfisch herangezogene Bachforelle wie auch für die Äsche folgende Grenzwerte:

- Mindestlänge Becken $L_{B,grenz} = 3,0 \cdot L_{Fisch} = 1,5 \text{ m}$
- minimale Wassertiefe im Wanderkorridor $h_{u,grenz} = 2,5 \cdot H_{fisch} = 0,24 \text{ m}$
- minimale Wassertiefe in Engstellen $h_{D,grenz} = 2,0 \cdot H_{fisch} = 0,19 \text{ m}$
- minimale Breite des Wanderkorridors $b_{s,grenz} = 3,0 \cdot D_{Fisch} = 0,15 \text{ m}$

2.2 Hydrologische Verhältnisse

Die Ilm hat ein Gesamteinzugsgebiet von 1.020 km². An der Ilm werden 5 Pegel betrieben, von denen drei als Hochwassermeldepegel genutzt werden. Die hydrologischen Kennwerte sind aus dem hydrologischen Längsschnitt der TLUG vom Juli 2014 entnommen.

Der Bearbeitungsabschnitt befindet sich zwischen den Pegeln Ilmenau und Gräfinau-Angstedt. Bis zum Pegel Ilmenau wird ein Einzugsgebiet von 56,8 km² entwässert, bis zum

Pegel Gräfinau-Angstedt 154,8 km². Als Bemessungsquerschnitt für die Hochwasser-Scheitelabflüsse wurde der Querschnitt „unterhalb Mündung Schorte“ aus dem hydrologischen Querschnitt als maßgeblich entnommen:

Tabelle 2: Hochwasserscheitelwerte für das Bearbeitungsgebiet

Knoten	AE (km²)	HQ₂ m³/s	HQ₅ m³/s	HQ₁₀ m³/s	HQ₂₀ m³/s	HQ₂₅ m³/s	HQ₅₀ m³/s	HQ₁₀₀ m³/s
Pegel Ilmenau	56,8	12,2	17,9	22,5	28,2	30,4	37,9	46,1
Ilm Abschnitt 94-98	79,5	13,5	20,6	26,2	32,6	35,0	42,8	51,2
Pegel Gräfinau- Angstedt	154,8	18,7	31,8	41,4	50,8	53,8	63,2	72,5

Der Pegel Gräfinau-Angstedt (Pegelnummer 572890, Einzugsgebiet 154,8 km²) liegt ca. 108 km oberhalb der Mündung in die Saale und wird seit 1923 beobachtet.

Aus der Pegelstatistik des Pegels Gräfinau-Angstedt lassen sich weiterhin die für die ökologische Durchgängigkeit wesentlichen Abflusswerte entnehmen. Die wesentlichen Hauptwerte als Mittelwerte nach Gewässerkundlichem Jahrbuch für den Pegel Gräfinau-Angstedt, Stand 2014, sind:

Tabelle 3: Hydrologische Hauptwerte für das Bearbeitungsgebiet

Knoten	AE (km ²)	NQ m ³ /s	MNQ m ³ /s	MQ m ³ /s	MHQ m ³ /s	HQ m ³ /s	Q ₃₀ m ³ /s	Q ₃₃₀ m ³ /s
IIm, Ab- schnitt 94-98 (berechnet)	79,5	0,066	0,195	1,26	11,7	40,9	0,26	2,86
Pegel Gräfinau- Angstedt	154,8	0,129	0,380	2,46	22,7	79,6	0,5	5,6

Der Abschnitt IIm 96 befindet sich stromoberhalb der Einmündung des Burkersbaches in die IIm im Teileinzugsgebiet 5638193. Das Einzugsgebiet beträgt somit ca. 79,5 km². In **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** wird zur Ermittlung der hydrologischen Hauptwerte am Wehrstandort aus den Hauptwerten eines benachbarten Pegels die folgende lineare Verhältnisgleichung verwendet:

$$Q_{Wehr} = Q_{Pegel} \cdot \frac{AE_{Wehr}}{AE_{Pegel}}$$

Mit:

- Q_{Wehr} zu ermittelnder Abfluss im Maßnahmenbereich
- Q_{Pegel} jeweiliger Abfluss am Pegel
- AE_{Wehr} Einzugsgebietsgröße am Maßnahmenstandort
- AE_{Pegel} Einzugsgebietsgröße am Pegel

Die Ermittlung der in Tabelle 3 aufgeführten maßgeblichen Abflusswerte für das Bearbeitungsgebiet erfolgte nach dieser Gleichung.

Diese Werte werden für die Bemessung der Raugerinne mit Beckenstruktur verwendet.

2.3 Geometrische und hydraulische Berechnung der Raugerinne mit Beckenstruktur

Die Anlage soll Raugerinne mit aufgelösten Beckenstrukturen gestaltet werden. Maßgeblich für die Gestaltung ist die Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser der Anlage. Die Wasserspiegel für Q₃₀ und Q₃₃₀ wurden mit dem hydraulischen 2D-Modell ermittelt. Daraus ergibt sich für Q₃₀:

Wasserstand im OW: 438,00 mNHN

Wasserstand im UW: 437,48 mNHN

Differenz OW-UW: 0,52 m

Für Q_{330} ergeben sich:

Wasserstand im OW: 438,27 mNHN

Wasserstand im UW: 437,79 mNHN

Differenz OW-UW: 0,48 m

Maßgeblich für die Bemessung der Riegel ist die größere Differenz bei Q_{30} . Für die Untere Forellenregion liegt die planerische Absturzhöhe bei 0,16 m, so dass sich rechnerisch mindestens 4 Riegel zur Einhaltung dieses Wertes ergeben. Um die Anlage als flaches Raugerinne in den Gewässerabschnitt einpassen zu können, werden 4 Riegel mit 3 dazwischenliegenden Becken gewählt. Die mittlere Höhendifferenz Δh je Riegel beträgt damit **0,13 m**.

Die Gesamtlänge der Anlage beträgt 15 m. Die Riegel werden als Steinriegel aus schweren Wasserbausteinen über die gesamte Gewässerbite geführt. Die lichte Länge eines Beckens ergibt sich damit zu 4,3 m, die Breite der Becken entspricht der Gewässerbite und liegt zwischen 11 und 12 m.

Die maximale Fließgeschwindigkeit in den Schlitzten liegt bei

$$v_{max} = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,13} = 1,60 \text{ m/s.}$$

Damit ist sie kleiner als der Grenzwert von 2,1 m/s, der für die Untere Forellenregion gilt.

Die Breite des erforderlichen Schlitztes ermittelt sich aus der Poleni-Gleichung

$$Q = 2/3 \cdot \mu \cdot \sigma \cdot f \cdot b_s \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{3/2}$$

zu

$$b_s = \frac{Q_{30}}{2/3 \cdot \mu \cdot \sigma \cdot f \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h_1^{3/2}}$$

$$b_s = \frac{0,26}{2/3 \cdot 0,55 \cdot 0,98 \cdot 1,1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 0,4^{3/2}} = 0,55 \text{ m}$$

Für $\mu = 0,55$, $f = 1,1$ und $\sigma = 0,98$ ergibt sich damit eine erforderliche Breite des Schlitzes b_s von **0,55 m** bei einem Wasserstand h_1 oberhalb des Riegels von 0,4 m. Der Abfluss bei Q_{30} beträgt dabei 0,26 m³/s.

Die Leistungsdichte im Becken wird nach der Gleichung

$$P_D = \frac{\rho_W \cdot g \cdot \Delta h \cdot Q}{b_m \cdot h_m \cdot L_{LB}}$$

$$P_D = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,13 \cdot 0,26}{11,0 \cdot 0,36 \cdot 4,33} = 19 \frac{W}{m^3} \text{ bei } Q_{30}$$

$$P_D = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,13 \cdot 2,86}{11,0 \cdot 0,7 \cdot 4,33} = 105 \frac{W}{m^3} \text{ bei } Q_{330}$$

Für Q_{30} ergibt sich damit eine Leistungsdichte von 19 W/m³. Bei Q_{330} liegt die Leistungsdichte bei 105 W/m³. Beide Werte liegen damit deutlich unter dem Grenzwert von 200 W/m³ für die untere Forellenregion.

Die hydraulischen Berechnungen zur Bemessung des Raugerinnes mit Beckenstruktur erfolgen nach den Empfehlungen des Merkblattes DWA-M 509. Ergänzend zu den aufgeführten Berechnungen wird als Dimensionierungshilfe ein EXCEL-Arbeitsblatt verwendet, das durch Wolfgang KLEEF, RP Darmstadt, erstellt wurde und mit dem die Berechnungsregeln des DWA-M 509, Stand 2014, umgesetzt wurden. Grundlage sind die unter Kapitel 2.1 aufgeführten Bemessungsempfehlungen sowie die einzuhaltenden geometrischen und hydraulischen Grenzwerte.

Die Ergebnisse dieser Ermittlung sind in den Anlagen 1 und 2 tabellarisch dargestellt. Die Bemessung wurde dabei so durchgeführt, dass für das Abflussspektrum zwischen Q_{30} und Q_{330} mindestens die Grenzwerte der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten eingehalten werden.

Zusammengefasst ergeben sich folgende Parameter für die Herstellung des Raugerinnes mit aufgelösten Beckenstrukturen:

Sohlgefälle:	1 : 33
Länge über alle Riegel:	15 m
Anzahl der Riegel:	4
Höhe der Riegel:	0,45 m
mittlere Schlitzbreite:	0,55 m
Höhe NW-Schwelle im Schlitz	0,0 m

2.4 Stabilitätsnachweis für die Raugerinne mit Beckenstruktur

Für den Nachweis der Stabilität der Raugerinne wurden die Berechnungen ebenfalls nach dem Merkblatt DWA-M 509 durchgeführt.

Nachweis Standsicherheit der Sohlgleite

Zum Nachweis der Stabilität von flächigen Raugerinnen wird das Stabilitätskriterium nach PALT & DITTRICH (2002) verwendet, das in DWA-M 509, Gl. (7.33a) und (7.33b) mit der Verwendung von Sicherheitszuschlägen modifiziert wurde. Die Berechnung gilt dabei für die Stabilität der Steine im Schlitz, da hier die größten Fließgeschwindigkeiten auftreten

Stabilitätskriterium nach PALT & DITTRICH, modifiziert nach DWA-M 509

$$q_{zul} = s \cdot 0,05 \cdot I^{-1,25} \sqrt{g \cdot \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} \cdot d_{s,Becken}^{3/2}$$

mit	q_{zul}	=	zulässiger spezifischer Abfluss [m ² /s] bei HQ ₁₀₀
	ρ_s	=	Dichte der Blocksteine [kg/m ³]
	ρ_w	=	Dichte von Wasser [kg/m ³]
	I	=	Gefälle der Rampe
	$d_{s,Becken}$	=	obere Klassengrenze des Materials der Beckenfüllung (d_{90} [m])
	s	=	Sicherheitszuschlag (0,7 für kantiges, 0,5 für rundkörniges Material)

daraus folgt:

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

Bei einem HQ_{100} beträgt der Gesamtabfluss $51,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Aus dem hydraulischen 2D-Nachweis für HQ_{100} ergibt sich die Überströmhöhe der Riegel zwischen $1,40 \text{ m}$ am obersten bis $2,20 \text{ m}$ am untersten Riegel. Der Abflussanteil im Schlitz beträgt $2,3 \text{ m}^3/\text{s}$. Daraus ergibt sich der spezifische Abfluss im Schlitz mit $0,55 \text{ m}$ Breite zu $q_{\text{vorh}} = 2,3 / 0,55 = 4,1 \text{ m}^3/(\text{s}\cdot\text{m})$ für ein HQ_{100} .

$$\begin{aligned}
 I_R &= 1 : 30 \\
 \rho_s &= 2700 \text{ kg / m}^3 \\
 \rho_w &= 1000 \text{ kg / m}^3 \\
 s &= 0,7 \\
 q_{\text{zul}} &= 4,1 \text{ m}^2/\text{s}
 \end{aligned}$$

Damit ergibt sich:

$$d_{s,Becken} = \left(\frac{0,03^{1,25} \cdot 4,1}{0,7 \cdot 0,05 \cdot \sqrt{9,81 \cdot \frac{2700 - 1000}{1000}}} \right)^{2/3} = 0,51 \text{ m}$$

Das entspricht Wasserbausteinen der Klasse LMB 40/200. Gewählt für die Herstellung des Raugerinnes werden daher Wasserbausteine LMB 40/200.

Die Dimension der Blocksteine für die Riegel ergibt sich aus der erforderlichen Größe der Steine (1 m Höhe, Einbindung von mind. 50% in der Sohle). Die Steine entsprechen damit der Klasse HMB 300/1000.