

Renaturierung der Schunter bei Rühme

Anlage 9.1: Sohlgleitenbemessung

Vorhabenträger: Wasserverband Mittlere Oker
Eisenbütteler Straße 22/23
38122 Braunschweig

Auftragsnummer: Renaturierung Schunter / 18-215

Bearbeitung: HGN Beratungsgesellschaft mbH
Büro Braunschweig
M. Jünemann, M. Eng.
Dipl.-Ing. (FH) R. Ladwig
Dipl.-Geoökol. A. Heuer

Bestätigt: 
.....
Dipl.-Ing. C. Siemon
Büroleiter

Ort, Datum: Braunschweig, 15.11.2019

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|--------|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 | Ausgangssituation..... | 5 |
| 2 | Grundlagen | 5 |
| 2.1 | Lage der Sohlgleite | 5 |
| 2.2 | Hydrologische Verhältnisse | 6 |
| 2.2.1 | Abflussaufteilung..... | 7 |
| 3 | Auswahl der geeigneten Fischaufstiegsanlage | 8 |
| 3.1 | Grundlagen | 8 |
| 3.2 | Variantenuntersuchung..... | 9 |
| 3.2.1 | Raugerinne ohne Einbauten | 11 |
| 3.2.2 | Raugerinne mit Störsteinen | 12 |
| 3.2.3 | Raugerinne mit Beckenpassstruktur..... | 12 |
| 4 | Bemessung des Raugerinnes mit Beckenpassstruktur | 12 |
| 4.1 | Grundlagen | 12 |
| 4.2 | Bemessung des Raugerinnes mit Beckenpassstruktur | 13 |
| 4.2.1 | Fischregion und Leitfischart..... | 13 |
| 4.2.2 | Anzahl der Becken..... | 14 |
| 4.2.3 | Fließgeschwindigkeit | 14 |
| 4.2.4 | Beckentiefe und Dimensionierung der Riegelsteine..... | 15 |
| 4.2.5 | Dimensionierung und Anordnung der Durchlässe..... | 15 |
| 4.2.6 | Dimensionierung der Riegel- und Beckenbreite | 16 |
| 4.2.7 | Beckenform..... | 16 |
| 4.2.8 | Dimensionierung der Beckenlänge..... | 17 |
| 4.2.9 | Energiedissipation innerhalb der Becken | 17 |
| 4.2.10 | Kolkerhaltung innerhalb der FAA..... | 17 |
| 4.2.11 | Länge der gesamten Anlage..... | 17 |
| 4.2.12 | Stabilitätsnachweis der Sohle..... | 18 |
| 4.2.13 | Filterstabilität und Aufbau der Sohle..... | 19 |
| 4.2.14 | Stabilität der Riegelsteine | 19 |
| 4.2.15 | Anschluss der Sohlgleite an das Unterwasser und Nachbettsicherung | 21 |
| 4.2.16 | Wasserspiegellagen..... | 21 |
| 4.3 | Wasserhaltung | 21 |
| 4.4 | Hochwasserneutralität | 21 |
| 5 | Fazit | 21 |
| 6 | Literatur- und Quellenverzeichnis | 22 |

Abbildungsverzeichnis

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1-1: Wehr Bienrode mit sich anschließendem Kolk | 5 |
| Abbildung 2-1: Lage des Absturzbauwerks an der Schunter nördlich der BAB 2 [] | 5 |
| Abbildung 2-2: Abzweigung Schunter/ Mühlengraben | 7 |
| Abbildung 2-3: Hochwasserentlastungsschwelle oberhalb der Abzweigung | 7 |
| Abbildung 3-1: Klassifizierung von FAA in Anlehnung an Patt et al. (2011) [] | 8 |
| Abbildung 3-2: Raugerinne ohne Einbauten (Quelle: DWA-M 509) | 11 |
| Abbildung 4-1: Exemplarischer Längsschnitt eines Raugerinnes mit Beckenstruktur [] | 13 |
| Abbildung 4-2: Schematischer Sohlaufbau innerhalb eines | 19 |
| Abbildung 4-3: Riegelsteinverankerung durch gezieltes Setzen weiterer Steine im Fußbereich | 20 |

Tabellenverzeichnis

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|---|
| Tabelle 2-1: Pegel im Ober- und Unterlauf des Projektgebietes | 6 |
| Tabelle 2-2: Abflussaufteilung und Wasserstände im Ist-Zustand | 7 |
| Tabelle 2-3: Abflussaufteilung und Wasserstände im Plan-Zustand | 8 |

Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| EG-WRRL | Europäische Wasserrahmenrichtlinie |
| FAA | Fischaufstiegsanlage |
| HWE | Hochwasserentlastungsschwelle |
| HQ ₁₀₀ | statistischer Hochwasserabfluss mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren |
| m NHN | Meter über Normalhöhennull |
| OK | Oberkante |
| LAVES | Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit |
| MQ | Mittlerer Abfluss |
| OW | Oberwasser (-seite) |
| Q ₃₀ | Abfluss, der an durchschnittlich 30 Tagen im Jahr unterschritten wird |
| Q ₃₃₀ | Abfluss, der an durchschnittlich 330 Tagen im Jahr unterschritten wird |
| ÜSG | Überschwemmungsgebiet |
| UW | Unterwasser (-seite) |
| W ₃₀ | Wasserstand, der an durchschnittlich 30 Tagen im Jahr unterschritten wird |
| W ₃₃₀ | Wasserstand, der an durchschnittlich 330 Tagen im Jahr unterschritten wird |

1 Ausgangssituation

Nördlich der Autobahnbrücke der BAB 2 wird ein Teil des Abflusses der Schunter über den Mühlengraben abgeführt, während der Hauptabfluss über ein Wehr (Abbildung 1-1) in den nach Westen abknickenden weiteren Verlauf der Schunter abgeführt wird. Dieses Wehr stellte ursprünglich den Beginn einer längeren Sohlgleite dar, welche sich allerdings durch Erosionsprozesse über die Jahre zu dem heute im Unterwasser des Wehres vorhandenen Kolk wandelte.



Abbildung 1-1: Wehr Bienrode mit sich anschließendem Kolk

Dieses Wehr stellte ursprünglich den Beginn einer längeren Sohlgleite dar, welche sich allerdings durch Erosionsprozesse über die Jahre zu dem heute im Unterwasser des Wehres vorhandenen Kolk wandelte.

Durch den punktuellen Absturz in Höhe von knapp einem Meter ist die ökologische Längsdurchgängigkeit an dieser Stelle unterbrochen und damit wird ein wesentliches Ziel im Rahmen der europäischen

Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) verfehlt. Zur Erreichung dieses Ziels soll das Absturzbauwerk zu einer Sohlgleite umgebaut werden, welche das Gefälle auf einer größeren Fließstrecke abbaut. Die Entfernung dieses Wanderhindernisses stellt damit eine zentrale Maßnahme innerhalb des Gesamtkonzeptes zur Renaturierung der Schunter dar.

2 Grundlagen

2.1 Lage der Sohlgleite

Das Projektgebiet der geplanten Sohlgleite befindet sich im Nordosten Braunschweigs in Niedersachsen an der Schunter zwischen den beiden Ortsteilen Rühme und Bienrode. Die Lage des rückzubauenden Absturzbauwerkes nördlich der Unterquerung der BAB 2 ist in Abbildung 2-1 dargestellt.

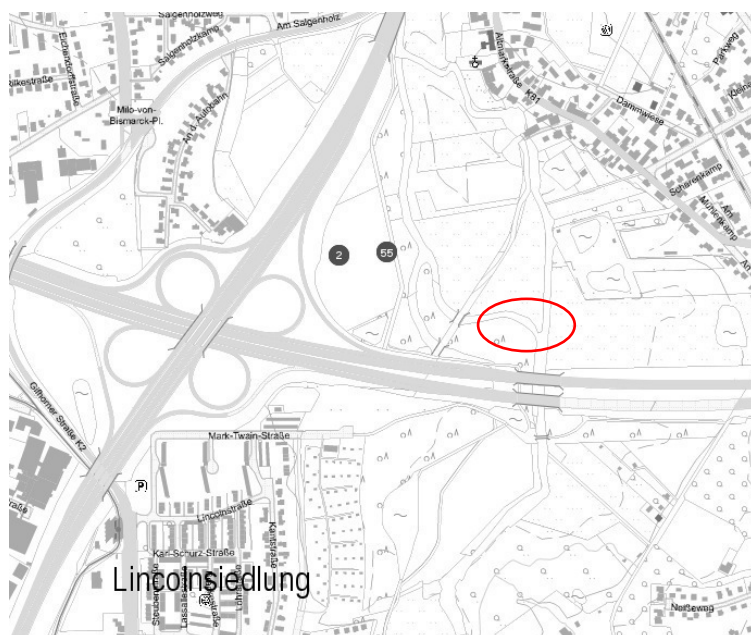


Abbildung 2-1: Lage des Absturzbauwerkes an der Schunter nördlich der BAB 2 [1]

[1] Quelle: Umweltkarten Niedersachsen

2.2 Hydrologische Verhältnisse

Die dem Projektgebiet nächstgelegenen Pegel sind in untenstehender Tabelle 2-1 aufgeführt. Das Projektgebiet liegt zwischen den Pegeln Hondelage und Harxbüttel.

Tabelle 2-1: Pegel im Ober- und Unterlauf des Projektgebietes

| Pegelstandort | Pegelnummer | A _{Eo} [km ²] | Pegelnulppunkt [mNN] | Betreiber |
|---------------|-------------|------------------------------------|----------------------|-----------|
| Glentorf | 4828120 | 296 | 85,55 | NLWKN |
| Hondelage | 4828126 | 396 | 69,79 | NLWKN |
| Harxbüttel | 4828140 | 592 | 60,92 | NLWKN |

Über das Größenverhältnis der Einzugsgebiete sowie bekannte Abflussdaten der Pegel Glentorf und Harxbüttel können über den Proportionalitätsansatz nach DYCK (1980) /1/ Pegelraten für den Bilanzpunkt an der BAB 2 (A_{Eo} = 565 km²) im Projektgebiet generiert werden. Dieser Ansatz lautet wie folgt:

$$HQ(u) = HQ(b) \left(\frac{A_E(u)}{A_E(b)} \right)^x \quad \text{mit} \dots x = \log \left(\frac{A_E(u)}{A_E(b)} \right) \frac{H_Q(u)}{H_Q(b)}$$

Mit X = 1,0578 ergeben sich für das Projektgebiet folgende charakteristische Abflusswerte:

$$MNQ = 0,98 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$MQ = 3,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{30} = 0,702 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{330} = 6,85 \text{ m}^3/\text{s}$$

Der Gewässerkundliche Landesdienst (GLD) in Niedersachsen bzw. vergangene Berechnungen der Überschwemmungsgebiete im betrachteten Gebiet weisen einen HQ₁₀₀-Abfluss von 73,51 m³/s aus. Aus dem HQ₁₀₀-Abfluss wurde wiederum der Abflusswert für HQ₅ durch Multiplikation mit dem Faktor 0,55 gemäß des Ansatzes des NLÖ (2003) /2/ berechnet. Dieser Faktor berücksichtigt die hydrologische Landschaft Ostbraunschweigs und wurde auf Basis statistischer Auswertungen des Spindenlängsschnittes der Pegel Glentorf, Hondelage und Harxbüttel ermittelt.

Der bordvolle Abfluss wurde iterativ mittels mehrerer Rechenläufe im hydronumerischen Strömungsmodell ermittelt und liegt in diesem Abschnitt bei etwa 5 m³/s.

Damit stehen zudem die weiteren Abflussdaten zur Verfügung:

$$Q_{\text{bordvoll}} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ_5 = 40,43 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$HQ_{100} = 73,51 \text{ m}^3/\text{s}$$

2.2.1 Abflussaufteilung

Nördlich der BAB 2 teilt sich die Schunter in den Mühlengraben (Abzweig Richtung Norden) und den Schunterarm auf (Verlauf Richtung Nordwesten), welcher über das bestehende Wehr geführt wird. Die örtliche Gegebenheit ist in Abbildung 2-2 dargestellt.



Abbildung 2-2: Abzweigung Schunter/ Mühlengraben

An die Stelle des bestehenden Wehrs soll der Beginn der geplanten Fischaufstiegsanlage gelegt werden, um die vorhandene Unterbrechung der ökologischen Längsdurchgängigkeit im Gewässer zu beseitigen.

Der Wasserstand im Bereich der Abzweigung und damit die Abflussaufteilung zwischen den beiden Gewässersläufen wird maßgebend durch die Geometrie des bestehenden Wehrs bestimmt. Der Rück- bzw. Umbau dieses Absturzbauwerkes ist derart zu bemessen, dass die bestehende Abflussaufteilung bei mittlerer Wasserführung (MQ) unverändert bleibt.



Abbildung 2-3: Hochwasserentlastungsschwelle oberhalb der Abzweigung

Bei Hochwasserereignissen mit Abflüssen größer Q_{330} ($= 6,85 \text{ m}^3/\text{s}$) springt zudem noch die Hochwasserentlastungsschwelle (HWE) an, welche nach Westen hin über eine befestigte Sohlschwelle auf 68,20 mNHN entwässert und unterhalb wieder dem Schunterlauf zuströmt. Die Hochwasserentlastungsschwelle ist in Abbildung 2-3 ersichtlich.

Die in Kapitel 2.2 genannten Abflüsse beziehen sich demnach auf den Bereich vor der Abflussaufteilung, so dass diese für die jeweiligen Abflusszenarien noch entsprechend verteilt werden müssen. Die Wasserstände der Ist- und Plan-Zustände sowie die damit einhergehenden Abflüsse sind in Tabelle 2-2 sowie Tabelle 2-3 dargestellt.

Tabelle 2-2: Abflussaufteilung und Wasserstände im Ist-Zustand

| Ereignis | Abfluss Q vor Aufteilung [m^3/s] | Abfluss Q Schunterarm [m^3/s] | Abfluss Q Mühlengraben [m^3/s] | Wasserstand OW [mNHN] |
|-----------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|
| Q_{30} | 0,705 | 0,576 | 0,129 | 67,73 |
| MNQ | 0,98 | 0,73 | 0,25 | 67,78 |
| MQ | 3,15 | 2,3 | 0,85 | 68,00 |
| Q_{330} | 6,85 | 5,13 | 1,72 | 68,22 |

Tabelle 2-3: Abflussaufteilung und Wasserstände im Plan-Zustand

| Ereignis | Abfluss Q vor Aufteilung [m³/s] | Abfluss Q Schunterarm [m³/s] | Abfluss Q Mühlen-graben [m³/s] | Wasserstand OW [mNHN] |
|------------------|---------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-----------------------|
| Q ₃₀ | 0,705 | 0,509 | 0,196 | 67,77 |
| MNQ | 0,98 | 0,65 | 0,33 | 67,80 |
| MQ | 3,15 | 2,3 | 0,85 | 68,00 |
| Q ₃₃₀ | 6,85 | 5,08 | 1,77 | 68,23 |

3 Auswahl der geeigneten Fischaufstiegsanlage

3.1 Grundlagen

Unter einer Sohlgleite versteht man eine Fischaufstiegsanlage in naturnaher Bauweise, welche als Raugerinne ohne Einbauten, mit Störsteinen oder mit Beckenstruktur ausgeführt werden kann. Dabei soll diese die ökologische Längsdurchgängigkeit des Gewässers über weite Teile des Jahres sicherstellen, ohne dabei arten- oder gröbenselektiv auf die potenziell vorkommende Fischfauna zu wirken. Zur gleichmäßigeren Überwindung eines Sohlabsturzes im Gewässer und zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit stehen verschiedene mehr oder minder technisch ausgebildete Gestaltungsmöglichkeiten zur Auswahl (vgl. Abbildung 3-1).

Grundsätzlich wird angestrebt, die Fischaufstiegsanlage sowohl optisch als auch hydraulisch möglichst gut in die natürlich vorhandenen landschaftlichen Gegebenheiten einzupassen, so dass naturnahe Bauweisen zu bevorzugen sind. Technische Bauweisen kommen hingegen insbesondere an technischen Querbauwerken wie Stauwehren mit großen zu überwindenden Wasserspiegeldifferenzen zum Einsatz.

| | | | |
|-----------------------------|----------------------|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Fischaufstiegsanlagen (FAA) | Naturnahe Bauweisen | Umgehungsgerinne | Ohne Einbauten Mit Störsteinen Mit Beckenstruktur |
| | | Sohlrampen/Sohlgleiten über den gesamten Fließquerschnitt | |
| | | Fischrampen über einen Teil des Fließquerschnittes | |
| | Technische Bauweisen | Beckenpass | |
| | | Schlitzpass | |
| | | Denilpass | |
| | | Mäander-Fischpass | |

Abbildung 3-1: Klassifizierung von FAA in Anlehnung an Patt et al. (2011) [2]

[2] Quelle: /3/ Naturnaher Wasserbau. 4. aktualisierte Auflage

Der Rück- bzw. Umbau eines bestehenden Sohlabsturzes zu einer Sohlgleite geht mit der Beseitigung eines großen Gefälles auf sehr kurzer Fließstrecke einher. Während Sohlrampen nach DIN19661-2 ein Gefälle zwischen 1:3 und 1:10 aufweisen, sind Sohlgleiten mit einer Neigung zwischen 1:10 und 1:30 entsprechend flacher ausgestaltet. Sofern es die örtlichen Gegebenheiten zulassen, sind Sohlgleiten durch die größere Verteilung der Energiedissipationen grundsätzlich vorzuziehen. Der Ersatz eines Absturzbauwerks durch eine Sohlgleite bedeutet zum einen eine Annäherung der hydraulischen Verhältnisse an den natürlichen Referenzzustand des Fließgewässertyps der Schunter (Typ 15 „Sand- und lehmgeprägter Tieflandfluss“), zum anderen wird durch den Abbau der Turbulenzen und hohen Strömungsgeschwindigkeiten die Längsdurchgängigkeit sowohl für aquatische Lebewesen wie Fische, aber auch Makrozoobenthos gesichert. Diese Wiederherstellung der longitudinalen Durchgängigkeit ist wesentlicher Bestandteil der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) zur Erreichung des angestrebten guten ökologischen Zustandes.

3.2 Variantenuntersuchung

Im Rahmen der Planung wurden umfangreiche Untersuchungen und Vorbemessungen der aufgeführten Varianten durchgeführt und auf ihre grundsätzliche Eignung geprüft, um diese anschließend gegeneinander abzuwägen und eine Vorzugsvariante herauszuarbeiten.

Die Variantenuntersuchung erfolgte dabei unter Berücksichtigung der örtlichen topografischen, hydraulischen und auch baulichen Restriktionen. Auch die potenziellen Auswirkungen auf die ökologischen Verhältnisse innerhalb der Variantenbetrachtung wurden umfangreich untersucht. In diesem Kapitel ist die Chronologie wesentlicher Festlegungen im Rahmen einer ausführlichen und sukzessiven Variantenbetrachtung zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit der Schunter dargestellt. Dies betrifft neben der Variantenwahl auch die optionale Absenkung des Wasserstandes im Oberwasser des bestehenden Wehrs, dessen potenzielle Auswirkungen auf die Ökologie mittels externer Gutachten untersucht wurden.

Bereits im Jahr 2017 wurden zunächst in internen Beratungen mit der Unteren Wasserbehörde und der Unteren Naturschutzbehörde Varianten für den Bereich im Umfeld der BAB 2 vorgestellt und erörtert, um den Anforderungen an ein naturnahes Gewässer gemäß des Leitbildes einerseits und den Anforderungen der angrenzenden wasserabhängigen Landökosysteme andererseits gerecht zu werden. Während aus Sicht der Gewässerstruktur eine Absenkung der bei Niedrig- und Mittelwasserabflüssen staubeeinflussten Wasserspiegel am bisherigen Sohlabsturz wünschenswert wäre, um das Gewässer südlich der BAB 2 dem Charakter eines Fließgewässers mit entsprechender Dynamik näherzubringen, spricht aus Sicht des Naturschutzes der erhaltenswerte Zustand hoher Grundwasserstände im Umfeld des Gewässers dagegen. Bedingt durch den vorhandenen Aufstau entwickelten sich ökologisch wertvolle Feuchtbiotope und Feuchtrassenflächen innerhalb der Auen, dessen Fortbestand durch eine Absenkung des Wasserspiegels gefährdet wäre.

Als weiteres Ziel soll eine ökologische Durchgängigkeit des Gewässers erreicht werden. In Bezug auf die zu bewertenden Leitfischarten ergeben sich daraus Anforderungen an die Wassertiefen und Strömungsgeschwindigkeiten.

Um für diese sich teils widersprechenden Ziele eine Kompromisslösung zu finden, wurden mehrere Varianten ausgearbeitet und diskutiert, welche im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Diese betrachteten Varianten wurden in Workshops mit potenziell Beteiligten bzw. Betroffenen Ende des Jahres 2017 erstmals öffentlich vorgestellt und diskutiert. Im Zuge der Anfang 2019 eingeleiteten konkreten Objektplanung wurden die Varianten und die Anregungen aus den Workshops aufgegriffen. In Abwägung aller Ziele wurde zunächst ein im Hauptlauf angeordnetes Raugerinne mit Beckenpassstruktur entwickelt, das den heutigen Kolk im Unterwasser des Wehrs überbaut hätte und eine um rund 20 cm abgesenkte Wasserspiegellage bei Mittelwasser im Oberwasser zur Folge gehabt hätte. Eine Vorbemessung zeigte zudem, dass sowohl ein Raugerinne ohne Einbauten als auch mit Störsteinen in diesem Abschnitt den hydraulischen und geometrischen Anforderungen zur Sicherstellung der Längsdurchgängigkeit nicht gerecht werden könnten (vgl. Kapitel 3.2.1 und 3.2.2).

Ausleitung des Mühlengrabens südlich der BAB 2

Eine Möglichkeit zur Erhaltung des Wasserstandes im Mühlengraben bei gleichzeitiger Dynamisierung der Fließvorgänge in der Schunter wäre die Ausleitung des Mühlengrabens auf Höhe der Stauwurzel (etwa bei Kilometer 9+300) des heutigen Absturzes. Als problematisch stellten sich bei dieser Variante insbesondere die Bereiche der Fußgängerbrücke und der Autobahnbrücke dar, da hier die Durchführung von zwei getrennten hydraulischen Gerinnen erforderlich würde. Die Ausleitung zum Mühlengraben müsste durch das jeweils rechte Brückenfeld erfolgen, was insbesondere im Bereich der Fußgängerbrücke einige konstruktive Schwierigkeiten bereiten würde. Ein weiteres konstruktiv zu lösendes Problem wäre die Anbindung bzw. Dükerung des von Osten kommenden Entwässerungsgrabens. Bei dieser Variante würde der Lauf der Schunter im jeweils mittleren Brückenfeld verbleiben, so dass eine aufwändige Konstruktion in den Brückenbereichen zur Herstellung der hydraulischen Trennung der beiden Gerinne erforderlich wäre. Neben den hohen Baukosten für die Schaffung von zwei über weite Strecken parallel verlaufenden Gerinnen würde sich durch diese Maßnahme der spätere Unterhaltungsaufwand entsprechend erheblich vergrößern. Für die Führung des Mühlengrabens rechtsseitig der Schunter stehen die benötigten Flächen nicht zur Verfügung. Angesichts der deutlich höheren Bau- und Unterhaltungskosten sowie der mangelnden Flächenverfügbarkeit wurde diese Variante nicht weiterverfolgt.

Ausleitung der Schunter südlich der BAB 2

Um die o.g. Problematik der begrenzten räumlichen Verfügbarkeit im Bereich der Fußgängerbrücke südlich der BAB 2 zu vermeiden, wurde die Ausleitung eines Abflussanteils in ein Umgehungsgerinne zwischen Fußgängerbrücke und Autobahnbrücke (etwa bei Kilometer 8+600) linksseitig der Schunter diskutiert. Die Herstellung eines ökologisch durchgängigen Gerinnes unter Berücksichtigung der Anforderungen gemäß /4/ ist mit den Restriktionen des begrenzten Wasserdargebots auf der betrachteten Länge nicht möglich, da die erforderlichen bzw. zulässigen Fließtiefen und Fließgeschwindigkeiten nur mit einem sehr kleinen und sehr langen Gerinne erreichbar wären. Die Herstellung der Längsdurchgängigkeit stellt jedoch ein zentrales Ziel der Renaturierung zur Erreichung eines guten ökologischen Zustands im Sinne der EG-WRRL dar. Bei dieser Variante würde keine wesentliche Dynamisierung der Fließvorgänge in der Schunter erzeugt. Da zudem keine Kostenminderung zu erwarten ist, lässt diese Variante keine Vorteile im Sinne der Zielstellung des Projekts erkennen.

Im Rahmen eines weiteren Termins zur vorgezogenen Öffentlichkeitsbeteiligung wurden zu der entwickelten Variante weitere Argumente aufgenommen, die für einen Erhalt der derzeitigen Kolkstruktur (u.a. als Fischunterstand auch bei geringen Abflüssen sowie bei Frost) und für eine Erhaltung der Mittel- und

Niedrigwasserstände sprachen. Letztere dienen insbesondere der Sicherstellung der weiteren unveränderten Beschickung des Mühlengrabens, um die Standsicherheit des Mühlengebäudes (Pfahlgründung) und den dauerhaften Erhalt des Wasserstands im Mühlengkolk zu gewährleisten sowie den Anforderungen der umliegenden wasserabhängigen Landökosysteme gerecht zu werden. In Abwägung dieser vorgenannten Argumente wurde die Variante des Raugerinnes mit Beckenpassstruktur weiterentwickelt, in dem die Kolkstruktur bestmöglich integriert wurde und eine Absenkung der Niedrig- und Mittelwasserstände im Oberwasser durch eine angepasste Dimensionierung vermieden wird.

Die einzelnen im Rahmen der Vorbemessung näher betrachteten Varianten sind in den folgenden Kapiteln kurz aufgeführt. Dabei wurden u.a. die jeweils mindestens erforderlichen Gesamtlängen ermittelt, welche zum Abbau des Höhenunterschiedes unter Einhaltung der geometrischen sowie hydraulischen Grenzwerte innerhalb des für Fischaufstiegsanlagen geforderten Funktionszeitraumes zwischen Q_{30} und Q_{300} erforderlich sind.

3.2.1 Raugerinne ohne Einbauten

Ein einfaches Raugerinne ohne Einbauten (siehe Abbildung 3-2, [3]) als Sohlgleite erfordert grundsätzlich im Vergleich zu alternativen Ausführungsformen einen geringeren planerischen sowie gestalterischen Aufwand. Zudem bietet diese Gestaltungsform den Vorteil einer begrenzten Anfälligkeit für Verklausungen, was diese Bauart in der laufenden Unterhaltung recht dankbar macht, sofern die Bemessung des Sohlmaterials entsprechend korrekt erfolgte.

Allerdings sind in der Regel zur Einhaltung der fischspezifischen hydraulisch energetischen Grenzwerte aufgrund der Charakteristik ohne jegliche Einbauten sehr geringe Gefälleverhältnisse notwendig, welche sehr große Anlagelängen zum Gefälleabbau erforderlich machen. Weil innerhalb der Anlage keine Ruhezone vorhanden sind, sind Anlagen mit einer Länge von mehr als 25 m in aufgelöster Bauart zu errichten, welche die ohnehin erhebliche erforderliche Gesamtlänge abermals erhöht. Durch den großen abzubauenen Höhenunterschied des bestehenden Absturzbauwerks (siehe Abbildung 1-1) von



Abbildung 3-2: Raugerinne ohne Einbauten (Quelle: DWA-M 509)

etwa 1 m scheidet im vorliegenden Fall ein Raugerinne ohne Einbauten aus der weiteren Betrachtung aus.

Die hydraulischen Berechnungen zeigen ein zulässiges Höchstgefälle von 0,25 %, um den zur Verfügung stehenden Q_{30} Abfluss von $0,51 \text{ m}^3/\text{s}$ unter Einhaltung der hydraulischen und geometrischen Anforderungen gemäß /4/ für den Leitfisch der Brasse einzuhalten. Dabei ergibt sich eine erforderliche bauliche Länge der

[3] Quelle: /4/ DWA-M 509

Anlage in Form eines Raugerinnes ohne Einbauten von 505 m inklusive der bei der dieser Länge erforderlichen zwischengeschalteten Ruhebecken. Dieses Bemessungsergebnis gilt bereits für die konstruktive Ausgestaltung der Anlage in Form einer Niedrigwasserrinne.

Insbesondere die vorliegende Kombination aus einem großen Gefälle und der verhältnismäßig geringen Abflüsse macht die Realisierung der ökologischen Durchgängigkeit ohne Einbauten nicht möglich.

3.2.2 Raugerinne mit Störsteinen

Ein Raugerinne mit Störsteinen führt gemäß Berechnungen und Erfahrungen ähnlich gelagerter Projekte insbesondere bei geringen Abflüssen tendenziell eher zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit als zu einer Verringerung, so dass die Problematik der Überschreitung von fischspezifischen Grenzwerten für die Brassen wie Mindesttiefe und Fließgeschwindigkeit damit nicht gelöst werden kann. Durch die durch die Störsteine verursachte Querschnittsverengung ist in einzelnen Bereichen sogar mit einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten zu rechnen. Die dämpfende Wirkung der Störsteine kommt dabei erst bei größeren Abflüssen zur Entfaltung.

3.2.3 Raugerinne mit Beckenpasstruktur

Zum Abbau verhältnismäßig großer Wasserspiegeldifferenzen bei begrenzt verfügbaren Abflüssen eignen sich erfahrungsgemäß Raugerinne mit Beckenpasstrukturen, welche das Gefälle sukzessive über einzelne Becken und Riegelstrukturen abbaut. Dabei werden die dabei auftretenden energetischen Vorgänge (Turbulenzen) begrenzt und ermöglichen somit die Passierbarkeit auch für schwimmschwächere Fische und Makrozoobenthos. Allerdings sind bei Raugerinnen mit Beckenstrukturen konstruktionsbedingt sowohl der planerische als auch der bauliche Aufwand höher einzustufen und auch die Gefahr einer Verklausung der Riegel mit Treibgut und Geschwemmsel erfordern ein gewisses Maß an aktiver Gewässerunterhaltung.

Unter Berücksichtigung der durchgeführten Vorbemessung erscheint die Errichtung eines Raugerinnes mit Beckenpasstruktur sowohl hinsichtlich ökologischer als auch ökonomischer Gesichtspunkte am zielführendsten. Die Ergebnisse der Bemessung dieses Sohlgleitentyps sind in Kapitel 4 zusammengefasst.

4 Bemessung des Raugerinnes mit Beckenpasstruktur

4.1 Grundlagen

Die Bemessung einer Sohlgleite erfolgt im Wesentlichen auf Grundlage des Merkblatts DWA-M 509 „Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung“ /4/ vom Mai 2014. Dabei kann grundsätzlich auf die in Kapitel 2 genannten verschiedenen Ausbauvarianten zurückgegriffen werden, sofern die von der Fischregion sowie die vom Leitfisch abhängigen geometrischen sowie hydraulischen Grenzwerte eingehalten werden können. Des Weiteren stellen „Naturnahe Sohlengleiten“ /5/ aus dem DWA-Themenband sowie das „Handbuch Querbauwerke“ /6/ wertvolle Nachschlagewerke zur Bemessung von Fischaufstiegsanlagen dar.

Dabei erfolgt die Bemessung der Anlage im herrschenden Spannungsfeld eines begrenzten Wasserdargebots, geometrischer und hydraulischer Anforderungen an die Fischaufstiegsanlage, der vorherrschenden Gefälleverhältnisse sowie der künftigen Sicherstellung einer Beschickung des Mühlengrabens gemäß des Ist-Zustandes als Referenzgröße.

Bei der Ausführung der Anlage als Raugerinne mit Beckenpassstruktur werden zur Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit mittels Wasserbausteinen in regelmäßigen Abständen Riegel gesetzt, wodurch Beckenstrukturen für einen schrittweisen Aufstieg der Fische geschaffen werden. Die Becken bieten durch gemäßigte Fließgeschwindigkeiten Ruhezeiten, sodass Fische die Anlage kräftesparend und sukzessive passieren können.

Das Merkblatt DWA-M 509 sieht vor, die Bemessung der Anlage derart auszuführen, dass diese mindestens innerhalb von 300 Tagen pro Jahr – bei Abflüssen zwischen Q_{30} und Q_{330} – die Einhaltung der fischspezifischen geometrischen und hydraulischen Grenzwerte sicherstellt. Sofern dieser sogenannte Funktionszeitraum bedingt durch geringe Abflüsse und/oder topografische Verhältnisse nicht zu realisieren ist, kann in begründeten Ausnahmefällen von den in /4/ festgelegten Grenzwerten abgewichen werden.

Neben der minimalen erforderlichen Beckenbreite, Länge und Tiefe stellt die Dimensionierung der Riegel und damit der Höhenunterschied zwischen den jeweiligen Becken die zentrale Stellschraube zur Beeinflussung der hydraulischen Verhältnisse innerhalb des Raugerinnes dar. Abbildung 4-1 zeigt einen schematischen Längsschnitt für ein exemplarisches Raugerinne mit Beckenstruktur inklusive der relevanten Abmessungen. In den nachfolgenden Kapiteln erfolgt die rechnerische Bemessung der einzelnen Größen.

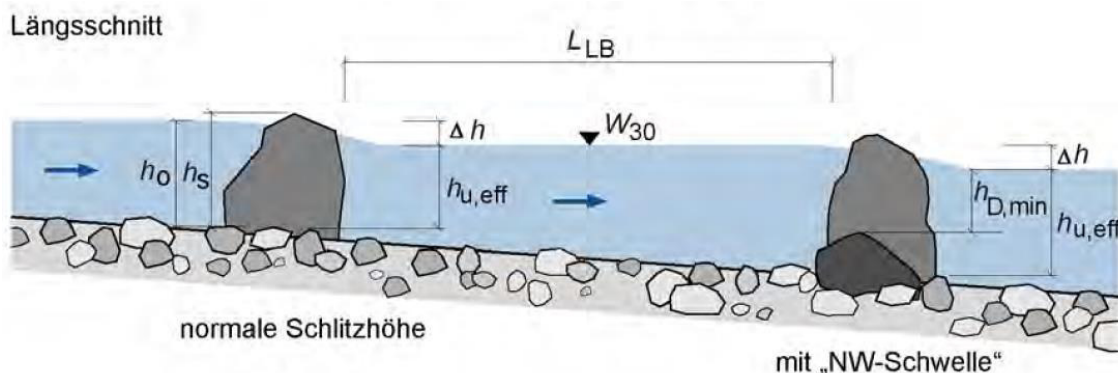


Abbildung 4-1: Exemplarischer Längsschnitt eines Raugerinnes mit Beckenstruktur [4]

4.2 Bemessung des Raugerinnes mit Beckenpassstruktur

4.2.1 Fischregion und Leitfischart

Die geometrischen und hydraulischen Bemessungsgrenzwerte sind davon abhängig, welche Fischarten in der betroffenen Region hinsichtlich ihrer Größe sowie Schwimmstärke zu erwarten sind.

Laut Auskunft des Fischereikundlichen Dienstes des Niedersächsischen Landesamts für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) ist der betrachtete Abschnitt der Schunter der **Brassen-Aland Region** (Brachsenregion) zuzurechnen. Die für die Bemessung der Sohlgleite maßgebliche Leitfischart ist die Brasse, welche als größte und gleichzeitig schwimmschwächste Art innerhalb der potenziell natürlichen Fischfauna im betrachteten Schunterabschnitt die Bemessungsgrenzen für die Sohlgleite determiniert.

[4] Quelle: /4/ DWA-M 509

Die Bemessung der Fischeufstiegsanlage in Form eines Raugerinnes mit Beckenpasstruktur hat somit das Ziel, die Längsdurchgängigkeit für aquatische Lebewesen unter Einhaltung von bestimmten geometrischen und hydraulischen Grenzwerten über einen Zeitraum von mindestens 300 Tagen pro Jahr zwischen Q_{30} und Q_{330} sicherzustellen, ohne dabei größen- oder artenselektiv auf die potenziell in diesem Abschnitt vorkommenden Arten zu wirken.

Kapitel 2.2.1 weist für Q_{30} einen Abfluss von $0,509 \text{ m}^3/\text{s}$ und für Q_{330} von $5,08 \text{ m}^3/\text{s}$ für den Abschnitt der geplanten Sohlgleite aus.

4.2.2 Anzahl der Becken

Ziel der geplanten Sohlgleite ist ein gleichmäßigerer Abbau des vorhandenen Höhenunterschiedes, welcher im Ist-Zustand punktuell über das bestehende Wehr erfolgt. Der Höhenunterschied der Wasserspiegellagen zwischen Ober- und Unterwasser von knapp einem Meter und die dabei auftretenden Fließgeschwindigkeiten stellen für die meisten Fische und auch andere aquatische Lebewesen wie Makrozoobenthos ein unüberwindbares Hindernis dar. Zudem ist innerhalb der Becken zur Gewährleistung der ökologischen Durchgängigkeit eine ausreichende Mindestwassertiefe sicherzustellen.

Die Anzahl der benötigten Becken ergibt sich aus dem abzubauenen Gesamthöhenunterschied ΔH sowie dem zulässigen bzw. gewählten Höhenunterschied Δh zwischen den einzelnen Becken.

Der vorhandene zu überwindende Höhenunterschied der Wasserspiegellagen im Abschnitt der geplanten Sohlgleite bzw. der rückzubauenen Wehrschwelle beträgt etwa $0,90 \text{ m}$ im Ist-Zustand, welche es durch die geplante Sohlgleite abzubauen gilt.

Das Merkblatt DWA-M 509 sieht für die Brachsenregion eine maximal zulässige Höhendifferenz von $0,10 \text{ m}$ zwischen den einzelnen Becken vor. Als vorteilhaft erweist sich die Wahl einer möglichst geringeren Höhendifferenz, so dass die Einhaltung der geometrischen sowie hydraulischen Grenzwerte auch bei evtl. geringfügigen modellbehafteten wie auch baulichen Ungenauigkeiten gewährleistet ist. Im vorliegenden Fall wird ein Wert von $0,08 \text{ m}$ als Absturzhöhe zwischen den Becken gewählt. Unter Berücksichtigung der in etwa zu erwartenden Länge der Anlage und des damit einhergehenden weiteren Gefälles ergibt sich insgesamt ein abzubauenen Höhenunterschied von etwa einem Meter.

Daraus ergibt sich eine Beckenanzahl für die Sohlgleite von

$$n = \frac{\Delta H}{\Delta h} - 1 = \frac{1,00}{0,08} - 1 = 11,5 \rightarrow 12 \text{ Becken}$$

Zur Herstellung von 12 Becken werden somit insgesamt 13 quer verbaute Riegel benötigt.

4.2.3 Fließgeschwindigkeit

Die maximal zulässige Fließgeschwindigkeit ist im Bereich der Schlitzöffnungen zu erwarten und soll entsprechend /4/ einen Maximalwert von $1,7 \text{ m/s}$ für die Brassenregion nicht überschreiten. Bei dem festgelegten Höhenunterschied von $0,08 \text{ m}$ pro Riegel bzw. Durchlass ergibt sich durch die Energiegleichung nach BERNOULLI eine Fließgeschwindigkeit von

$$v = \sqrt{2 * g * \Delta h} = \sqrt{2 * 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,08 \text{ m}} = 1,25 \text{ m/s}$$

Somit liegt die maximal zu erwartende Fließgeschwindigkeit im Bereich der Schlitzöffnung mit 1,25 m/s deutlich unterhalb des geforderten Grenzwertes von 1,7 m/s.

4.2.4 Beckentiefe und Dimensionierung der Riegelsteine

Das Merkblatt DWA-M 509 sieht für den Leitfisch der Brasse eine Mindestbeckentiefe von 0,75 m bei Q_{\min} vor. Da diese Forderung insbesondere mit Hinblick auf die deutlich geringeren auftretenden Wassertiefen im Flussabschnitt unterhalb der Anlage sowie auf die nur begrenzt zur Verfügung stehenden Abflüsse recht hoch erscheint, wurde nach Rücksprache mit dem LAVES eine Mindestwassertiefe von 0,60 m festgelegt, was in etwa auch der in /4/ für die Brasse geforderten Wassertiefe entspricht.

Damit diese Wassertiefe auch unterhalb eines Riegels bei einer Wasserspiegellagedifferenz von 0,08 m gewährleistet werden kann, ist eine Wassertiefe von 0,68 m oberhalb des Riegels erforderlich. Bei einem üblichen und gewählten lichten Überstand von 0,02 m der Riegel bei Q_{30} und einer veranschlagten Einbindetiefe der Riegelsteine von 0,50 m ergibt sich eine erforderliche durchschnittliche Riegelsteinhöhe von 1,20 m. Für die weitere Bemessung werden die Kantenlängen pro Riegelstein mit 0,50 x 0,50 x 1,20 m angesetzt. Dabei ist zu beachten, dass die genaue Geometrie der verwendeten Steine einer natürlichen Formvariation unterliegen, da es sich um gebrochene Natursteine handelt.

4.2.5 Dimensionierung und Anordnung der Durchlässe

Die Riegel zur Unterteilung der einzelnen Becken werden mit jeweils einem Durchlass (Schlitz) pro Riegel versehen. Die Schlitzbreite wird unter Berücksichtigung der leitfischabhängigen Mindestbreite von 0,50 bis 0,60 m für die Brassenregion so gewählt, dass sich ein Überströmen der Riegel ab einem Abfluss von Q_{30} einstellt bzw. im konkreten Fall ein festgelegter Freibord der Riegelsteine von durchschnittlich 0,02 m oberhalb des Wasserspiegels verbleiben soll.

Auf die Errichtung einer Sohlschwelle (Niedrigwasserschwelle) im Bereich der Durchlässe soll aus Gründen der besseren Durchwanderbarkeit für Kleinstlebewesen verzichtet werden.

Die rechnerische Ermittlung der Abflusskapazitäten sowohl der Durchlässe als auch über die Riegel erfolgt auf Grundlage der Wehrformel nach Poleni. Um die erforderliche Höhe innerhalb der Durchlässe bei einem Abfluss von Q_{\min} zu erreichen, ist die folgende Schlitzbreite b_s erforderlich:

$$b_s = \frac{Q_{30}}{2/3 * \mu * \sigma * f * \sqrt{2g} * h_1^{3/2}} = \frac{0,509 \text{ m}^3/\text{s}}{2/3 * 0,65 * 0,75 * 1,15 * \sqrt{2g} * (0,68 \text{ m})^{3/2}} = 0,55 \text{ m}$$

Der die Untergrenze des Funktionszeitraums repräsentierende Abfluss von 0,509 m³/s spiegelt den Abflusszustand wider, bei dem unter Ausführung einer Schlitzbreite von 0,55 m die auf 0,60 m reduzierte Mindestwassertiefe unterhalb der Riegel erreicht werden kann. Damit liegt die Schlitzbreite im Bereich der geforderten Mindestschlitzbreiten zwischen 0,50 und 0,60 m, wobei sich der untere Grenzwert auf abflussarme Gewässer bezieht und grundsätzlich eine Schlitzbreite von 0,60 m aufgrund einer geringeren Verklausungsgefahr zu bevorzugen wäre.

Damit wird der Durchlassquerschnitt bei einem Abfluss von etwa 0,51 m³/s vollständig durchströmt und bei entsprechend höheren Abflüssen stellt sich ein Überströmen der Riegel ein. Die große Anzahl an Tagen im Jahr, an denen die Riegel überströmt werden, senkt die Gefahr von Verklausungen an den Riegeln.

Damit ist die Funktion der Fischaufstiegsanlage ab einem Q_{30} Abfluss sichergestellt. Die geforderte Funktionsobergrenze von Q_{330} wird in Kapitel 4.2.6 behandelt.

Die Anordnung der Durchlässe erfolgt gemäß der DWA Empfehlung versetzt um etwa das Doppelte der gewählten Schlitzbreite mit einem Abstand von einem Meter. Diese Festlegung dient der Ausbildung eines pendelnden Stromstrichs und damit der Sicherstellung einer ausreichenden Energieumwandlung innerhalb der Becken sowie der Vermeidung von Kurzschlussströmungen.

4.2.6 Dimensionierung der Riegel- und Beckenbreite

Zusammen mit der Höhe der Riegel und der Schlitzbreite stellt die Breite des Riegels mit der damit geschaffenen Überfallkante eine entscheidende hydraulische Bemessungskomponente dar. Neben der Sicherstellung der schadlosen Abführung von Hochwasserereignissen bestimmt die Riegelbreite die Höhe des Aufstaus im jeweiligen Oberwasser der einzelnen Becken.

Dabei soll der Oberwasserstand im Bereich der Abflussaufteilung zum Mühlengraben im Vergleich zum jetzigen Zustand bei Mittelwasser (MQ) unverändert bleiben. Auch bei niedrigeren Abflüssen sind die Wasserspiegellagen im Oberwasser in etwa zu erhalten. Zudem gilt es, den Anforderungen an die Hochwasserneutralität gerecht zu werden. Die Sohlhöhen bzw. die dazugehörigen Wasserstände des Ist-Zustandes wurden für verschiedene Abflusszustände im hydraulischen Modell ermittelt und finden im Rahmen der Bemessung und Verortung der geplanten Sohlgleite Berücksichtigung.

Die sich am Referenzzustand orientierende Wasserspiegellagedifferenz zwischen Q_{30} und Q_{330} beträgt 0,46 m. Bei Q_{330} und der genannten Wasserspiegelerhöhung von 0,46 m im Vergleich zu Q_{30} können durch den Schlitz 0,81 m^3/s des Gesamtabflusses von 5,08 m^3/s abgeführt werden. Die übrigen 4,27 m^3/s werden über die Riegelkante abgeführt. Die dazu erforderliche Riegelbreite b_R ohne Schlitzbreite ergibt sich durch entsprechende Umstellung der Formel nach Poleni:

$$b_R = \frac{Q_{Rest}}{\frac{2}{3} * \mu * \sigma * f * \sqrt{2g} * h_1^{3/2}} = \frac{4,27 \text{ m}^3/\text{s}}{\frac{2}{3} * 0,65 * 0,89 * 1,15 * \sqrt{2g} * (0,44 \text{ m})^{3/2}} = 7,44 \text{ m}$$

Eine Erhöhung des Oberwassers bei Q_{330} zu Q_{30} von 0,46 m wird rechnerisch bei einer Riegelbreite von 7,44 m erreicht, so dass diese auf 7,45 m festgelegt werden kann. Damit ergibt sich zzgl. der Durchlassbreite von 0,55 m eine Gesamtbreite auf Höhe der Riegeloberkante von 8,00 m. Damit wird die in /4/ geforderte lichte Beckenbreite von 3 m auch an der Sohle erreicht bzw. überschritten. Die Schlitzverluste zwischen den Riegelsteinen finden rechnerische Berücksichtigung in Form eines Verlustfaktors $f = 1,15$. Allerdings ist dieser über das Jahr natürlichen Schwankungen ausgesetzt, welche abhängig von der Wasser- und Geschwemmselführung (Verklausungen durch Laub, Äste etc.) sind. Eine regelmäßige Begutachtung der Anlage im Rahmen der Gewässerunterhaltung ist deshalb anzuraten. Im vorliegenden Falle der verhältnismäßig geringen Abflussverfügbarkeit ist sowohl bei der Auswahl als auch beim Setzen der Riegelsteine auf möglichst kleine Schlitzweiten und damit Schlitzverluste zu achten.

4.2.7 Beckenform

Die Querprofile der Becken innerhalb des Raugerinnes sollen im Bereich der Riegel trapezförmig ausgestaltet werden. Bei einer Gesamtbreite von 8,00 m auf Höhe der Riegeloberkante, einer lichten Riegelhöhe von 0,70 m und einer Böschungsneigung von 1:1,5 ergibt sich eine waagrecht verlaufende Sohle auf einer Breite von 5,90 m.

4.2.8 Dimensionierung der Beckenlänge

Neben der Festlegung der Beckenbreite hat die Dimensionierung der lichten Beckenlänge einen maßgebenden Einfluss auf die sich einstellenden hydraulischen Verhältnisse innerhalb der Becken. Die gewählten Beckenlängen bewegen sich mit Ausnahme des Kolkes (siehe Kapitel 4.2.10) in einer Spanne zwischen etwa 5 und 10 m. Durch diese Variation der Beckenlängen wird versucht, die in der Natur vorzufindenden natürlichen Varianzen nachzubilden. Auch durch verschiedene Wassertiefen durch die Kolkerhaltung innerhalb der Becken wird diese natürliche Varianz, welche sich auch direkt auf die Fließgeschwindigkeiten auswirken, gestärkt.

4.2.9 Energiedissipation innerhalb der Becken

Um eine ausreichende Energieumwandlung und damit turbulenzarme Strömungsverhältnisse innerhalb der Becken nachzuweisen, wird die Leistungsdichte der Energiedissipation ermittelt und mit den fischspezifischen Grenzwerten verglichen. Für das Gewässer Schunter als Repräsentant der Brassenregion gilt es, den maximal zulässigen Grenzwert für die Energiedissipation von 115 W/m^3 nicht zu überschreiten. Die Ergebnisse für diese Energiedichten ergeben sich für die beiden relevanten Abflussereignisse Q_{30} und Q_{330} wie folgt:

$$E_{30} = \frac{\rho * g * \Delta h * Q}{h_m * b_m * l_w} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} * 0,08 \text{ m} * 0,509 \text{ m}^3/\text{s}}{0,64 \text{ m} * 6,86 \text{ m} * 5,00 \text{ m}} = 18 \text{ W/m}^3$$

$$E_{330} = \frac{\rho * g * \Delta h * Q}{h_m * b_m * l_w} = \frac{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{9,81 \text{ m}}{\text{s}^2} * 0,08 \text{ m} * 5,08 \text{ m}^3/\text{s}}{1,10 \text{ m} * 7,55 \text{ m} * 5,00 \text{ m}} = 96 \text{ W/m}^3$$

Bei einer Beckenlänge von 5,00 m liegen die Leistungsdichten der Energiedissipation für den Q_{330} Abfluss mit 96 W/m^3 bzw. 18 W/m^3 für Q_{30} deutlich unterhalb des Grenzwertes von 115 W/m^3 für die Brassenregion. Bezüglich der Energiedissipation ergibt sich eine rechnerische Mindestbeckenlänge von 4,50 m. Für länger ausgestaltete Becken ergeben sich entsprechend geringere Energiedichten.

4.2.10 Kolkerhaltung innerhalb der FAA

Neben der beschriebenen Variation der Beckenlängen innerhalb einer Spanne von etwa 5 bis 10 m ist zwischen Riegel 4 und Riegel 5 die Erhaltung des vorhandenen Kolkes vorgesehen. Dieses Becken weist dabei eine Länge von knapp 60 m und eine maximale Tiefe von etwa 1,90 m bei MQ auf. Dadurch steht den Fischen nicht nur ein großzügig dimensioniertes und sauerstoffreiches Ruhebecken zur Verfügung, die große Wassertiefe begünstigt zusätzlich die Erhaltung von eisfreien Bereichen in strengen Wintern.

4.2.11 Länge der gesamten Anlage

Die theoretische Mindestgesamtlänge der Sohlgleite ergibt sich aus der Summe der einzelnen Mindestbeckenlängen und der kumulierten Riegelsteinbreite (in Fließrichtung). Somit ergibt sich für das Raugerinne eine Mindestlänge von:

$$L_{\text{Raugerinne}} = n_{\text{Becken}} * l_{\text{Becken}} + n_{\text{Riegel}} * b_{\text{Riegelstein}} = 12 * 4,5 \text{ m} + 13 * 0,50 \text{ m} = 60,50 \text{ m}$$

Die tatsächliche Länge der Anlage fällt hingegen deutlich größer aus. Dies liegt zum einen an den variierenden Beckenlängen und zum anderen an der Erhaltung des Kolkes.

Es ergibt sich eine tatsächliche Länge der Anlage von 139 m.

Bei Abbau des Höhenunterschiedes von rund einem Meter über die gesamte Anlage mit einer Länge von 139 m ergibt sich damit insgesamt ein durchschnittliches Gefälle von etwa 1 :139 bzw. 0,72 %.

4.2.12 Stabilitätsnachweis der Sohle

Die hydraulischen Verhältnisse innerhalb eines Raugerinnes mit Beckenstruktur sind gemäß DWA-M 509 mit denen von Pool-Riffle-Strukturen in Gewässerüberläufen vergleichbar. Damit lässt sich das Stabilitätskriterium nach PALT (2001) anwenden, welches den maximal zulässigen spezifischen Abfluss angibt. Mit dem Sicherheitszuschlag s von 0,5 für rundkörniges Material, einer Gesteinsdichte von 2650 kg/m^3 und dem vorliegenden maximalen Gefälle innerhalb der Sohlgleite von ca. 2 % ergibt sich für einen gewählten mittleren Korndurchmesser d_m von 0,10 m ein zulässiger spezifischer Abfluss q_{zul} von $2,26 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$.

$$q_{zul} = s * 0,263 * \sqrt{g} * \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}} * d_{m,Becken}^{3/2} * I^{-1,25} = 1,93 \text{ m}^3/(\text{m} * \text{s})$$

Bei dem durch die Riegeldurchlässe abgeführten Q_{30} von $0,509 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $0,55 \text{ m}$ Breite im Durchlass ergibt sich ein spezifischer Abfluss q_{30} von $0,93 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ im Bereich der Durchlässe und liegt damit deutlich unterhalb des zulässigen spezifischen Abflusses.

Bei dem anteilig durch die Riegeldurchlässe abgeführten Q_{330} von $0,81 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $0,55 \text{ m}$ ergibt sich ein spezifischer Abfluss q_{330} von $1,47 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ im Bereich der Durchlässe und liegt damit ebenfalls noch deutlich unter dem zulässigen spezifischen Abfluss von $1,93 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$.

In beiden genannten Fällen sind die größten hydraulischen Belastungen an der Sohle im Durchlassbereich zu erwarten, so dass für diese Belastungsfälle auch für den Beckenbereich keine Gefährdung der Sohlstabilität zu erwarten ist.

Für größere Hochwasserereignisse wie bei einem HQ_{100} werden die Riegel der Beckenstrukturen weit überströmt, sodass eine saubere hydraulische Trennung zwischen Riegeldurchlässen, Riegelüberläufen und Becken hinsichtlich des rechnerischen Nachweises zur Sohlstabilität nicht mehr möglich ist.

Aus diesem Grund wird für den sich bei einem HQ_{100} einstellenden Abfluss der spezifische Durchfluss gemittelt für die gesamte Breite angesetzt. Für den hundertjährigen Abfluss von insgesamt $73,51 \text{ m}^3/\text{s}$ gehen dem hydraulischen Modell zufolge etwa $25 \text{ m}^3/\text{s}$ über den Bereich der Sohlgleite, während die übrigen Abflussanteile über die Hochwasserentlastungsschwelle und über den Mühlengraben abgeführt werden. Die maximalen hydraulischen Belastungen in Form von Schleppspannungen sind im Bereich der maximalen Wassertiefe zu erwarten. Hier sind bei einem HQ_{100} spezifische Abflüsse von bis zu $2,2 \text{ m}^3/\text{s}$ zu verzeichnen, so dass auch dieser unterhalb des oben ermittelten Grenzwertes von $2,26 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{s})$ liegt.

Dennoch kann es bei einem Hochwasser dieser Größenordnung zu lokalen Erosions- sowie anschließenden Sedimentationsprozessen im Rahmen von fließgewässertypischen dynamischen Sedimenttransportprozessen kommen. Daraus eventuell entstandene Neuablagerungen bzw. Kolkausbildungen sind im Rahmen der Gewässerunterhaltung zu begutachten und bei Bedarf zu korrigieren. Von größerer Relevanz ist hingegen die Sohlstabilität im Bereich der verankerten Riegel, welche in Kapitel 4.2.14 behandelt.

4.2.13 Filterstabilität und Aufbau der Sohle

Um ein Ausspülen des feinen Bodenmaterials und des grobkörnigeren Sohlmaterials zu verhindern, ist die Beachtung eines filterstabilen Aufbaus oder alternativ die Verwendung eines als Trennlage geeigneten Filtervlies der verschiedenen Bodenschichten erforderlich. Dazu sind Filterschichten aus diffusionssicheren Materialien aufzubauen (siehe Beispiel-Abbildung 4-2, [5]). Dabei wird gemäß /4/ ein Korngrößenverhältnis (D_{50}/d_{50}) der oberen und unteren Lage zwischen 6 und 10 angestrebt.

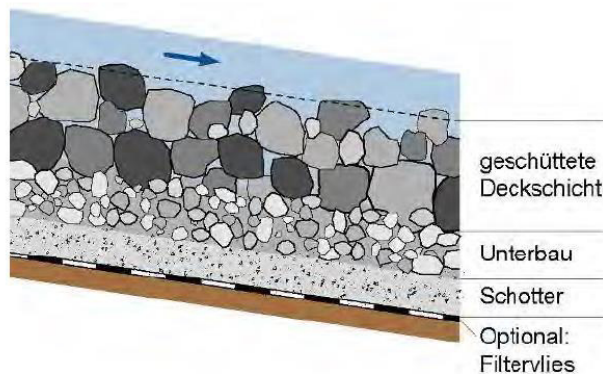


Abbildung 4-2: Schematischer Sohlauflauf innerhalb eines Raugerinnes (Quelle: DWA)

Für geschüttete Bauweisen ist die zu wählenden Stärke der einzelnen Schichten abhängig von der Rohdichte, der Kornverteilung sowie des Korngerüstes und sollte gemäß /4/ mindestens dem zweifachen maximalen Korndurchmesser entsprechen. Zudem wird eine Mindestdicke für kiesige und sandige Filterschichten von 0,20 m empfohlen. Die geplante Schichtung des Sohlmaterials sieht als oberste Lage rundkörnige Wasserbausteine mit einem mittleren Korndurchmesser von 0,10 m und einer Schichtstärke von 0,30 m vor.

Die darunterliegende Schicht besteht aus einer weiteren 0,20 m starken Kiesschicht 8/32, welche wiederum auf einer 0,20 m starken Splittschicht 2/4 aufbaut. Darunter wird ein Filtervlies verlegt, welches den Aufbau vom darunter befindlichen lehmig-sandigen Boden trennt.

4.2.14 Stabilität der Riegelsteine

Hinsichtlich des Stabilitätsnachweises der als Riegel verbauten Störsteine existieren nur wenige belastbare Berechnungsansätze. Essenziell zur Sicherstellung der Riegelstabilität ist dabei eine ausreichende Einbindetiefe der Steine in die Sohle. Zudem kann durch eine leicht bogenförmige Anordnung der Riegel sowie durch die Verwendung von Holzpfahlreihen oder Stahlpiloten die Stabilität der Riegel erhöht werden. Die zusätzliche Verwendung von gesetzten Massivsteinen um den Fußbereich der Riegelsteine hat sich bewährt, sofern keine Umklammerung in Beton erfolgen soll.

Eine ausreichend weite Einbindung der äußeren Riegelsteine in die Böschung wirkt sich zudem verstärkend auf die Konstruktion aus und verhindert eine Umströmung mit Erosionen im Unterbereich.

Der Bemessung und Sicherung des ersten und damit obersten Riegels des hier geplanten Raugerinnes mit Beckenpassstruktur kommt im vorliegenden Falle eine besondere Bedeutung zu. Neben der Erfüllung ökologischer Anforderungen zur Sicherstellung der Längsdurchgängigkeit für aquatische Lebewesen im Gewässer wird über die Dimensionierung und Verortung dieses Riegels maßgebend die Abflussaufteilung zwischen dem Mühlengraben und der Schunter bestimmt. Aus diesem Grund ist die Gewährleistung einer langfristigen Lagestabilität insbesondere des obersten Riegels auch bei Hochwasserereignissen essenziell.

Bei einer durchschnittlichen Riegelsteinhöhe oberhalb der Sohle von 0,7 m gilt es, eine theoretische Mindesteinbindetiefe von etwa 1,40 m (Einbindetiefe = 2 x lichte Höhe) in den Untergrund mit entsprechender

[5] Quelle: /4/ DWA-M 509

Festigkeit zu berücksichtigen. Damit würden sich erforderliche Riegelsteinhöhen von insgesamt etwa 2,1 m ergeben. Abgesehen von der mangelnden Verfügbarkeit solcher Steine wäre ein Einbau vor Ort mit vertretbaren Mitteln kaum möglich.

Eine sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch sinnvolle Alternative stellt die Einfassung der Riegelsteine in eine lokal begrenzte und mit Sohlmaterial überdeckte Mörtel-einfassung dar. Von dieser konstruktiven Möglichkeit soll zumindest für den obersten Riegel Gebrauch gemacht werden, da dessen langfristige Standsicherheit zur Sicherstellung der festgelegten Abflussaufteilung zwischen Schunterarm und Mühlengraben von besonderer Bedeutung ist. Ohnehin ist diese konstruktive Ausgestaltung für den obersten Riegel erforderlich, da die Riegelsteine in den bestehenden Spundwandkasten des teilrückgebauten Wehres gesetzt und dort verankert werden müssen. Die Spundwand ist dabei auf einer Höhe von 66,89 mNHN abzubrennen, so dass die künftige Oberkante der Spundwand verdeckt unterhalb einer Sohlschicht von 20 cm liegt und dabei weiterhin einen ausreichenden Unterspülenschutz bietet.

Damit kann auch bei Hochwasser und im Falle auftretender Verklausungen eine maximale Standsicherheit der Riegel bei gleichzeitiger Berücksichtigung ökologischer Anforderungen an die Sohlgestaltung erreicht werden. Damit ist bei einer Einbindetiefe von insgesamt 0,50 m eine erforderliche Gesamthöhe der Riegelsteine von 1,20 m nötig. Der oberste Riegel stellt auch insofern eine Besonderheit dar, als dass dieser baulich in das teilrückgebaute Wehr integriert wird und somit auf bereits bestehende Sohlbefestigungselemente wie den Spundwandkasten zurückgegriffen werden kann. Die seitlichen Wehrabschnitte rechts und links des geplanten Riegelüberfalls können vollständig erhalten bleiben, so dass die Notwendigkeit zur Neugestaltung erosions-sicherer Böschungsübergänge entfällt.

Für die weiteren Riegel wird ein Verzicht auf den Einsatz einer Mörtel-einbettung angestrebt. Dies wird durch gezielten Verbau von weiteren massiven Kantsteinen im in die Sohle einfassenden Fußbereich der Riegelsteine ermöglicht (vgl. Abbildung 4-3, 6). Ohne eine Sicherung der Riegelsteine analog zum obersten Riegel in einem Mörtelzementbett bei realistischen Einbindetiefen kann ein vollumfänglicher und dauerhafter Lage-



Abbildung 4-3: Riegelsteinverankerung durch gezieltes Setzen weiterer Steine im Fußbereich

verbleib aller Riegelsteine insbesondere nach größeren Hochwasserereignissen nicht garantiert werden und muss daher im Rahmen der Unterhaltung regelmäßig überprüft und ggf. wiederhergestellt werden.

Zusätzlicher Halt wird den Riegelsteinen durch eine seitliche Einbindung des jeweils äußeren Riegelsteines in die Böschung gegeben.

Die vorgesehenen Abmessungen, die Einbindung in den Untergrund

sowie die verwendeten Materialien sind im Längsschnitt (Anlage 9.2) sowie in den Regelquerprofilen für den obersten sowie für die übrigen Riegel (Anlage 9.3) dargestellt.

4.2.15 Anschluss der Sohlgleite an das Unterwasser und Nachbettsicherung

Neben der Einhaltung der maximal zulässigen Wasserspiegeldifferenz zwischen den einzelnen Becken bedarf der Durchlass des letzten Riegels bzw. dessen Anschluss an das Unterwasser besonderer Beachtung. Die dabei entstehende Wasserspiegeldifferenz hängt von der sich im Unterwasser der Sohlgleite einstellenden Wasserspiegellage ab. Diese wird mittels Simulation im hydraulischen Modell ermittelt.

Gemäß /5/ hat die Nachbettsicherung auf einer Länge zwischen 7 und 10-fachen Riegelhöhe zu erfolgen, so dass sich daraus eine herzustellende Nachbettsicherung auf etwa 5 bis 7 m ergibt.

4.2.16 Wasserspiegellagen

Die zu erwartenden Wasserspiegellagen für die maßgebenden Abflüsse Q_{30} und Q_{330} sowie für MQ sind zusammen mit den des Ist-Zustanden im Längsschnitt in Anlage 9.2 dargestellt.

4.3 Wasserhaltung

Zur Herstellung der Fischaufstiegsanlage ist während der Bauzeit eine Wasserhaltung einzurichten. Grundsätzlich ist die Ausführung der Bauarbeiten in abflussarmen Zeiten zu empfehlen. Zur Herstellung einer trockenen Baugrube ist mittels Fangedamm aus Big Bags vor dem Wehr eine nahezu vollständige Abflussleitung über den Mühlengraben zu realisieren. In Ergänzung hierzu ist eine Rohrleitung herzustellen, welche eine aus ökologischen Gründen erforderliche Mindestbeschickung des Schunterarms auch während der Bauphase sicherstellt. Diese ist nach Möglichkeit so zu legen, dass das Wasser unter Ausnutzung des vorhandenen Gefälles fließt und sich der energieintensive Einsatz von Pumpen zumindest bezüglich der erforderlichen Förderhöhe auf ein Minimum beschränkt. Innerhalb der Baugrube ist der Einsatz einer Pumpe zur Freihaltung von zuströmendem Sicker- und Grundwasser erforderlich. Sollte der Abfluss bedingt durch Hochwasserereignisse die hydraulischen Kapazitäten des Mühlengrabens übersteigen oder eine Gefährdungslage droht, ist der Fangedamm zurückzubauen.

4.4 Hochwasserneutralität

Beim Rückbau des Absturzbauwerkes zu einer Sohlgleite ist sicherzustellen, dass sich die neuen hydraulischen Gegebenheiten nicht nachteilig auf den Hochwasserschutz auswirken. Maßgebend hierfür ist Hochwasser mit 100-jährlichem Wiederkehrintervall. Dazu werden die sich einstellenden Wasserstände im Oberwasser des Wehres im Ist-Zustand mit denen nach Errichtung der Sohlgleite und die Grenzen des sich einstellenden Überschwemmungsgebietes verglichen. Diese Betrachtung erfolgt ausführlich im Rahmen der Gesamtbewertung der Hochwasserneutralität des Vorhabens im Hauptbericht „Renaturierung der Schunter bei Rühme“.

5 Fazit

Der Rückbau des vorhandenen Absturzbauwerkes in Form des Wehres bzw. die Umgestaltung der Abschnitte zu einer Sohlgleite in Form eines Raugerinnes mit Beckenpassstruktur können durch die Herstellung der ökologischen Durchgängigkeit sowohl für Makrozoobenthos als auch für Fische einen wertvollen Beitrag zur Erreichung der Ziele wie einem guten ökologische Zustand gemäß WRRL leisten. Die Schunter besitzt als Vertreter der sand- und lehmgeprägten Tieflandflüsse zusammen mit den angrenzenden Auenlandschaften eine hohe ökologische Relevanz, so dass die Beseitigung der Unterbrechung der Längsdurchgängigkeit eine zentrale Rolle innerhalb des integralen Renaturierungskonzeptes darstellt.

6 Literatur- und Quellenverzeichnis

/1/ Dyck: Angewandte Hydrologie, Teil 1, 2. Auflage; Verlag für Bauwesen, Berlin, 1980

/2/ NLÖ: Hochwasserbemessungswerte für die Fließgewässer in Niedersachsen; Niedersächsisches Landesamt für Ökologie; Schriftenreihe Oberirdische Gewässer Band 18, 2003

/3/ Patt, Hein, Jürging, Peter und Kraus, Werner: Naturnaher Wasserbau. 4. aktualisierte Auflage Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2011

/4/ DWA-M 509: Fischaufstiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Gestaltung, Bemessung, Qualitätssicherung, Mai 2014, ISBN: 978-3-942964-91-3, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

/5/ DWA-Themen: Naturnahe Sohlengleiten, Januar 2009, ISBN: 978-3-941089-34-1, DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef

/6/ Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen: Handbuch Querbauwerke, ISBN 3-9810063-2-1, Düsseldorf, 1. Auflage 2005