STADT MÜNSTER

Amt für Mobilität
und Tiefbau

Werse - Objektplanung

Umgestaltung / Ersatz der Stauanlage Sudmühle und Planung eines Organismenaufstiegs
–
Entwurf und Antrag auf Genehmigung gemäß § 68 WHG

Erläuterungsbericht

Sönnichsen&Weinert
Ingenieurgesellschaft für Wasserbau
und Wasserwirtschaft mbH

Schwarzer Weg 8 · 32423 Minden
Tel. (05 71) 4 52 26 · Fax 4 15 32
post@soe-ing.de · www.soe-ing.de

Werse - Objektplanung

Umgestaltung / Ersatz der Stauanlage Sudmühle und Planung eines Organismenaufstieges – Entwurf und Antrag auf Genehmigung gemäß § 68 WHG

Mitwirkende:

Projektleiter: **Norbert Weinert**

Bearbeiter: **Stefan Wehe**

Pläne/Zeichnungen: **Juliane Manhenke**

© Eine Vervielfältigung oder Verwendung des Inhaltes in elektronischen oder gedruckten Publikationen aller Bestandteile dieses Berichts (inkl. Anlagen, digitalen Unterlagen, etc.) ist ohne ausdrückliche vorherige Zustimmung des Auftraggebers nicht gestattet.

Z:\Auftg_21\A-21_21\Texte\A-21_21_Sudmühle_Erläuterungsbericht_2025-05-07.docx

Inhaltsverzeichnis

1 Veranlassung 7
2 Grundlagen 7
2.1 Örtliche Überprüfungen 7
2.2 Datengrundlagen 7
2.3 Software 8
3 Situation 9
3.1 Örtlichkeit 9
3.2 Hydrologie 17
3.3 Hydraulik 18
3.4 Boden 21
4 Planung 22
4.1 Randbedingungen und Ziele 22
4.2 Variantenplanung 28
4.3 Maßnahmenplanung Raugerinne in Riegel-Beckenbauweise 36
5 Kosten 60
6 Wasserrechtsantrag 61
7 Zusammenfassung 62
8 Quellenangabe 65

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersicht Bearbeitungsgebiet Sudmühle [www.elwasweb.nrw.de, abgerufen am 14.1.2025] 10
Abbildung 2: Drohnenaufnahme von März 2021 12
Abbildung 3: Luftbild Wehrkanal 12
Abbildung 4: Wehranlage, Blick gegen die Fließrichtung, Turbinenauslauf markiert 13
Abbildung 5: Ansicht der Flutmulde, Blick gegen die Fließrichtung 13

Abbildung 6: Kamillusbrücke, Blick von Wehranlage gegen die Fließrichtung 14

Abbildung 7: Wehranlage, Blick von Kamillusbrücke in Fließrichtung . 14

Abbildung 8: Turbineneinläufe 15

Abbildung 9: Brücke über Wehrkanal zum Wendehammer 15

Abbildung 10: festgesetzte Wehrklappe mit Zahnendschwellen 16

Abbildung 11: Flutmulde mit Avendruper Straße und Remise..... 16

Abbildung 12: Werse unterhalb des Mühlenkolks, Blick in Fließrichtung 19

Abbildung 13: Relief Werse an der Sudmühle mit Talkanten [www.elwasweb.nrw.de, abgerufen am 14.1.2025] 19

Abbildung 14: Relief Werse mit Überschwemmung bei Hochwasser mittlerer Wahrscheinlichkeit [www.elwasweb.nrw.de, abgerufen am 14.1.2025] 20

Abbildung 15: Skizze der Zielvariante gemäß [1]..... 23

Abbildung 16: Variantendarstellung Raugerinne ohne Einbauten, Länge ca. 300 m 32

Abbildung 17: Auszug Hydraulikus für ein Raugerinne ohne Einbauten 33

Abbildung 18: Auszug Hydraulikus für ein Raugerinne in Störsteinbauweise 35

Abbildung 19: Beckenfläche zwischen Riegel 7 und 8 39

Abbildung 20: Ermittlung der Fläche des innenliegenden Drittels nördlich der Avendruper Straße 40

Abbildung 21: Schematische Ansicht der einwirkenden Kräfte auf den Einzelstein..... 43

Abbildung 22: Abbildung einer möglichen Anrampung der Avendruper Straße an eine hochliegende Brücke mit Freibord von 50 cm 49

Abbildung 23: Querprofildarstellung Riegel 37 mit Teilverfüllung und W_{330} 55

Abbildung 24: Vergleich Überflutung HQ_{100}Bestand (blaue Umrisslinie) und HQ_{100}Plan (rot transparent), ... 57

Abbildung 25: Querprofilauszug Station 7,087 mit Verortung der Bebauung 58

Abbildung 26: Bebauung bei Gew.-km 8,0 59

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Beschreibung der Bearbeitungsstrecke..... 9

Tabelle 2: Einzugsgebiet Werse auf Höhe Sudmühle..... 17

Tabelle 3: Abflüsse Werse auf Höhe Sudmühle..... 18

Tabelle 4: Bemessungswerte gemäß DWA M509/Handbuch Querbauwerke..... 36

Tabelle 5: Zusammenstellung der erforderlichen Rechenwerte zur Berechnung der Einzelsteine 42

Anhang

Anhang A Dimensionierung und Nachweis Fischaufstieg

Anhang B Nachweis Leistungsdichte

Anhang C Berechnungsergebnisse Hydraulik im Raugerinne

Anhang D Kostenberechnung

Anlage

Anlage 1	Übersichtskarte	1 : 25.000
Anlage 2.1	Übersichtslageplan Wasserwirtschaft	1 : 5.000
Anlage 2.2	Übersichtslageplan Natur	1 : 5.000
Anlage 3	Lageplan Bestand	1 : 500
Anlage 4	Lageplan Planung	1 : 500
Anlage 5.1	Detailplan Raugerinne - Längsschnitt	1 : 100, 1 : 50
Anlage 5.2	Detailplan Raugerinne - Querprofile	1 : 100, 1 : 50
Anlage 6	Detailplan Wehranlage, Verfüllung Bestandsverlauf	1 : 50
Anlage 7	Entwurf Brücke	1 : 50
Anlage 8	Detail Löschwasserentnahme	1 : 250, 1 : 50
Anlage 9.1	Detailplan Kanueinstieg	1 : 50, 1 : 100
Anlage 9.2	Detailplan Strukturelemente	1 : 50
Anlage 10	Lageplan Hochwasser	1 : 2.000
Anlage 11	hydraulischer Längsschnitt Werse	1 : 2.500/100
Anlage 12	Querprofile	1 : 200
Anlage 13	Lageplan Eigentümer	1 : 500
Anlage 14	Querprofildarstellung Hydraulik	verschiedene

Ohne Nummer	Artenschutzrechtlicher Fachbeitrag [UIH]
	Landschaftspflegerischer Begleitplan [UIH]
	UVP-Bericht [UIH]
	Kartenteil [UIH]

1 Veranlassung

Die Wehranlage der „Sudmühle“ an der Werse in Münster ist in einem schlechten baulichen Zustand. Zudem ist die ökologische Durchgängigkeit nicht gegeben. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie „Entwicklung der unteren Werse im Stadtgebiet Münster unter besonderer Berücksichtigung der der Mühlenstandorte“ der Stadt Münster aus dem Jahr 2018 wurden die weiteren Entwicklungsmöglichkeiten der Wehranlagen Havichhorster Mühle, Pleistermühle und Sudmühle an der Werse untersucht. Nach Abstimmung mit den beteiligten Behörden soll im Ergebnis die Wehranlage inkl. Betrieb der Wasserkraftanlage der Sudmühle aufgegeben werden und die ökologische Durchgängigkeit über ein Raugerinne/Organismenaufstieg im rechtsseitigen Vorland der Werse/Sudmühle hergestellt werden.

Das Amt für Mobilität und Tiefbau beauftragte den Unterzeichnenden mit der Erarbeitung der Entwurfs- und Genehmigungsplanung, welche hiermit vorgelegt wird.

2 Grundlagen

2.1 Örtliche Überprüfungen

1. Vermessung, Januar 2023
2. Begehung, März 2021
3. Rammkernsondierungen, November 2005

2.2 Datengrundlagen

1. Bodengutachten [Stadt Münster, November 2023]
2. Entwicklung der unteren Werse im Stadtgebiet Münster, EDV-gestützte hydrogeologische Variantenbetrachtung zur Auswirkung der geplanten Stauzieländerungen im Bereich Sudmühle und HavichhorsterHavichhorster Mühle im Bereich der Wassergewinnungsanlagen Hornheide-Haskenau der Stadtnetze Münster GmbH [Stadt Münster, September 2021]
3. Abflusstafel Pegel Albersloh [BR Münster, April 2021]

4. „Entwicklung der unteren Werse im Stadtgebiet Münster unter besonderer Berücksichtigung der drei Mühlenstandorte Havichhorster Mühle, Sudmühle, Pleistermühle“ – Machbarkeitsstudie [Stadt Münster, Oktober 2018]
5. Hydraulikmodell der Werse [Stadt Münster, April 2021]
6. Bestandsunterlagen Stauanlage Sudmühle [Stadt Münster, März 2021]

2.3 Software

1. AutoCAD CIVIL [Autodesk]
2. ArcGis 11.1 [Esri]
3. QGIS 3.34
4. Jabron 7.1 [Hydrotec]

3 Situation

3.1 Örtlichkeit

Die Stauanlage „Sudmühle“ liegt bei Station 6,8 km der Werse im Stadtteil Sudmühle, nordöstlich des Kernstadtbereichs von Münster, am nordöstlichen Rand der Wohnbebauung. Neben einzelnen Wohnobjekten ist der Maßnahmenbereich vor allem durch landwirtschaftliche Flächen, Gehölzreihen und kleinen Gehölzstreifen geprägt. Der unmittelbare Maßnahmenbereich erstreckt sich über eine Fließlänge von ca. 500 m der Werse, auf dem diese rechtsseitig eine - auch Flutmulde genannte - Wiese halbseitig umfasst. Der Maßnahmenbereich wird von West nach Nordost durch die Avendruper Straße (Radweg), welche die Werse unmittelbar oberhalb der Stauanlage über die Kamillusbrücke kreuzt, gequert.

Die Stauanlage der Sudmühle wird durch ein Unternehmen, im folgenden „Eigentümer“ genannt, betrieben.

Tabelle 1: Beschreibung der Bearbeitungsstrecke

	Bearbeitungsstrecke Werse	
	von	**bis**
Ortsbeschreibung	Unterhalb der Stauanlage, nördliches Ende der Wiese/Flutmulde	Oberhalb der Stauanlage, südliches Ende der Wiese/Flutmulde
Ortslage	Sudmühle	Sudmühle
Stadt	Münster	Münster
Stationierung (km) [GSK 3. Auflage]	6,5	7,0

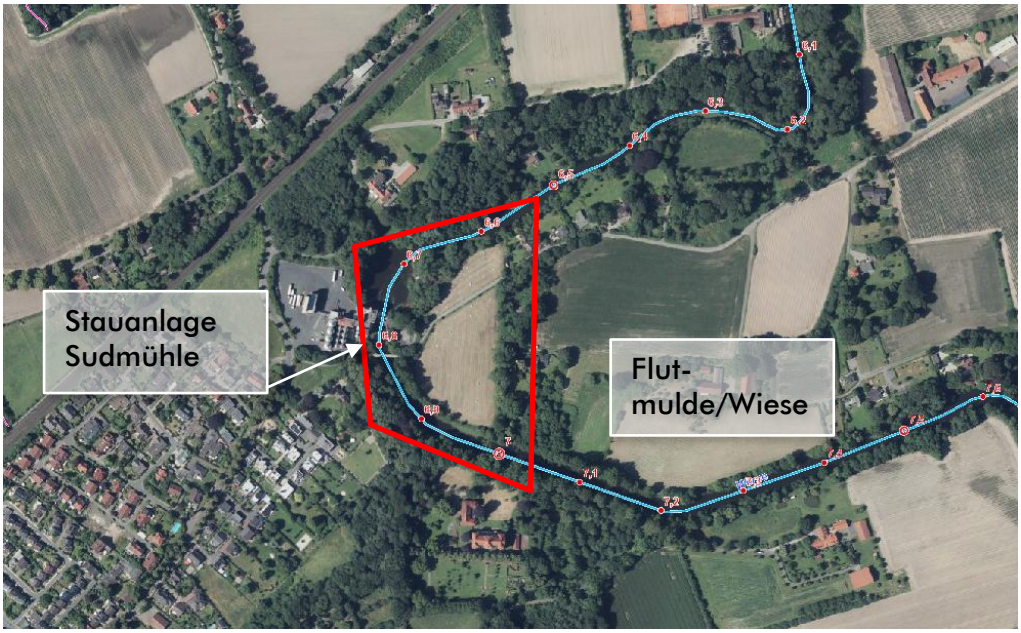

Abbildung 1: Übersicht Bearbeitungsgebiet Sudmühle [www.elwasweb.nrw.de, abgerufen am 14.1.2025]

Im Bereich der Wehranlage beginnt unmittelbar unterhalb der Kamillusbrücke der Wehrkanal, der die Werse in ein Stahlbetonprofil einrahmt. Linksseitig liegen zunächst die mit einem Rechen versehenen Turbineneinläufe sowie die Löschwasserentnahme. Anschließend folgt eine private Brücke, durch Zaun für die Öffentlichkeit abgesperrt, über den Wehrkanal, welche das linksseitige Betriebsgebäude mit einem rechtsseitig der Werse gelegenen Wendeplatz verbindet. Von hier erfolgt ein Anschluss an die Avendruper Straße. Hinter der Brücke liegt die eigentliche Wehrklappe der Stauanlage, welche als Fischbauchklappe ausgelegt ist und die Werse gemäß Genehmigung von 1972 auf das Stauziel von 44,62 NHN(m) staut. Da diese seit mehreren Jahren abgängig ist und um schwerwiegendere Schäden an Wehrklappe oder der sonstigen Stauanlage zu vermeiden, wurde die Wehrklappe auf 43,77 NHN(m) festgestellt (ca. 0,85 m unterhalb des genehmigten Stauziels). Unterhalb der Wehrklappe geht der Wehrkanal auf weiteren rd. 8 m in Beton befestigt weiter und endet mit zwei Reihen von Zahnendschwellen zur Energieumwandlung. Hieran anschließend folgt der „Mühlenkolk“, in

dem die Werse teichähnlich aufgeweitet ist und von dem die Werse in nordöstlicher Richtung abgeht.

Das rechtsseitige Vorland ist als Wiese angelegt. Diese dient dem Hochwasserabfluss und wird daher auch im Weiteren als „Flutmulde“ bezeichnet. Die kreuzende Avendruper Straße ist nach Süden mit einem Drahtzaun versehen. Angrenzend an die Kamillusbrücke steht eine Remise. Im nordwestlichen Bereich ist ein ökologisch hochwertiger Baumbestand vorhanden. Die Flutmulde liegt wenige Meter tiefer als der Wendehammer sowie dem östlich angrenzenden Flächen.

Die folgenden Bilder geben einen Eindruck der Anlage und der Örtlichkeit wieder.

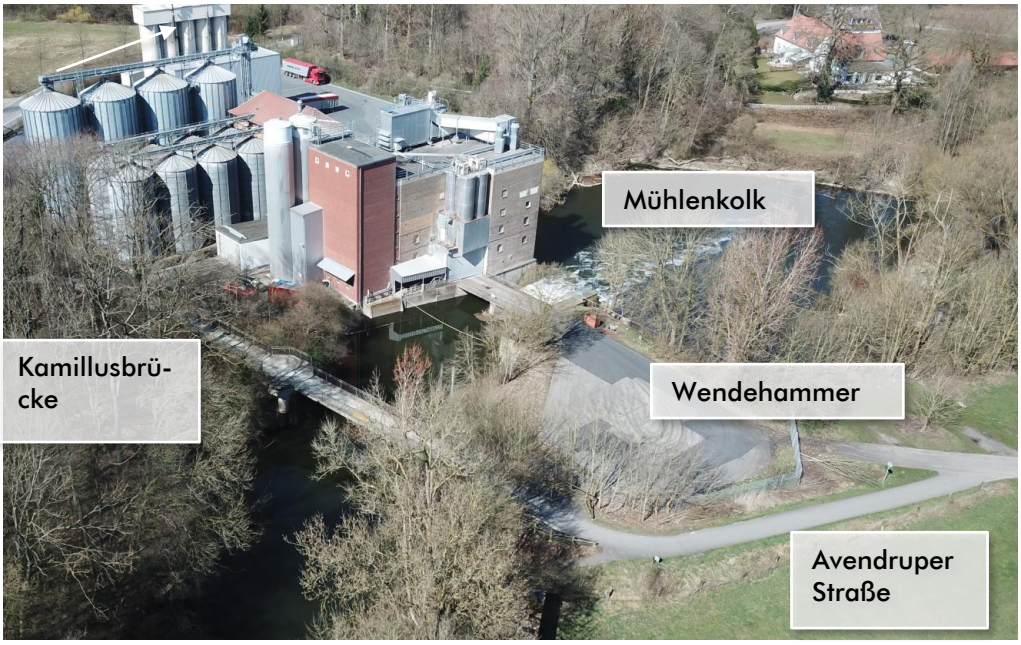

Abbildung 2: Drohnenaufnahme von März 2021

Abbildung 3: Luftbild Wehrkanal

Abbildung 4: Wehranlage, Blick gegen die Fließrichtung, Turbinenauslauf markiert

Abbildung 5: Ansicht der Flutmulde, Blick gegen die Fließrichtung

Abbildung 6: Kamillusbrücke, Blick von Wehranlage gegen die Fließrichtung

Abbildung 7: Wehranlage, Blick von Kamillusbrücke in Fließrichtung

Abbildung 8: Turbineneinläufe

Abbildung 9: Brücke über Wehrkanal zum Wendehammer

Abbildung 10: festgesetzte Wehrklappe mit Zahnendschwellen

Abbildung 11: Flutmulde mit Avendruper Straße und Remise

3.2 Hydrologie

Tabelle 2: Einzugsgebiet Werse auf Höhe Sudmühle

Fließlänge von Quelle bis Sudmühle	6,8 km²
Einzugsgebietsgröße ca.	747 km²
Boden	überwiegend Sandböden
Reliefenergie	Ca. 70 m
Flächennutzung	Überwiegend Acker und Grünland

Das Einzugsgebiet der Werse beträgt insgesamt ca. 762 km². Auf Höhe der Sudmühle wird ein Gebiet von rd. 747 km² entwässert. Das Einzugsgebiet liegt vollständig innerhalb der Westfälischen Bucht, in der das Relief sehr schwach ausgeprägt ist und keine nennenswerten Höhenzüge vorhanden sind. Die Reliefenergie ist mit insgesamt ca. 70 m sehr gering. Das Gebiet ist stark landwirtschaftlich und ländlich geprägt. Die Böden werden überwiegend durch Sand dominiert, Mergel und Schluff kommen bereichsweise vor. Aufgrund der sandigen Böden und des flachen Reliefs erfolgt eine sehr langsame Niederschlags-Abfluss-Konzentration. Die Abflussspenden sind dementsprechend gering.

Die unterjährigen Abflüsse (Q_{30} bis Q_{330}) sind ermittelt anhand der Spende des Pegels Albersloh (Abflusstafel, bereitgestellt durch die BR Münster am 12.4.2021) und dem tatsächlichen Einzugsgebiet. Da das Einzugsgebiet des Pegels Albersloh lediglich 321 km² beträgt und die Abflussspende mit größeren EZG erfahrungsgemäß etwas geringer ausfällt, wurde die Spende um 10% reduziert. Für die Ermittlung der Hochwasserabflüsse wurden die Spenden aus [1] angesetzt.

Tabelle 3: Abflüsse Werse auf Höhe Sudmühle

Abfluss	[m³/s]
Q_{30}	0,6
MNQ	0,49
MQ	5,98
Q_{330}	15,35
HQ_1	85,94
HQ_2	102,38
HQ_5	118,82
HQ_{20}	127,04
HQ_{50}	155,43
HQ_{100}	168,88
HQ_{Extrem}	224,18

3.3 Hydraulik

Aufgrund des flachen Gefälles und der langen Staustrecken fließt die Werse sehr langsam. Die Werse ist insgesamt stark ausgebaut. Das Gewässer weist ein grob trapezförmiges Profil auf. In den Außenkurven sind teils Uferabbrüche in geringem Ausmaß vorhanden. Eine Uferbefestigung liegt in Form der nahezu längendeckend vorhandenen beidseitigen Gehölzreihen vor. Eine stärkere Befestigung ist aufgrund der langsamen Fließgeschwindigkeiten, rückstaubedingt, nicht erforderlich.

Aufgrund des sehr flachen Sohlgefälles reichen die Stauwurzeln der an der Werse vorhandenen Stauanlagen über viele Kilometer. Dies führt dazu, dass der Unterwasserstand an der Sudmühle durch den Stau der Havichhorster Mühle bestimmt wird.

Abbildung 12: Werse unterhalb des Mühlenkolks, Blick in Fließrichtung

Die Werse hat trotz des insgesamt flachen Reliefs ein flaches Muldental ausgebildet, dessen Talkanten insbesondere an den Außenkurven im digitalen Geländemodell gut ersichtlich sind (Abbildung 13).

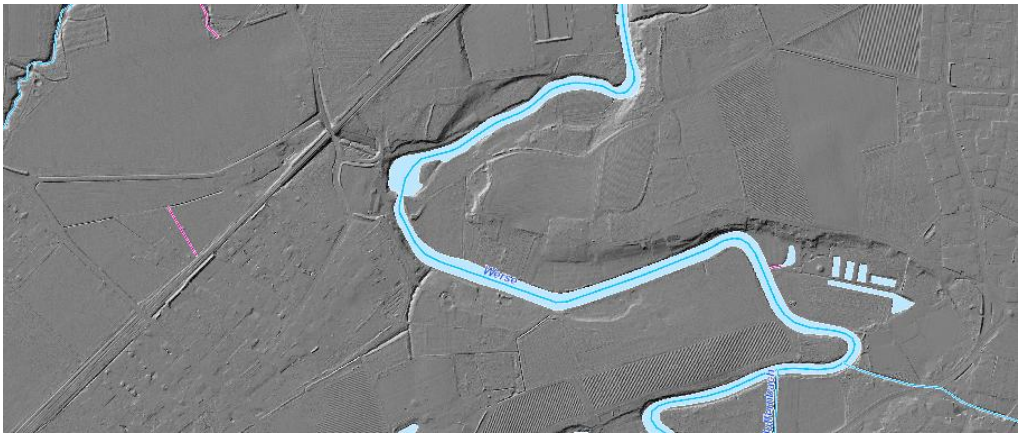

Abbildung 13: Relief Werse an der Sudmühle mit Talkanten
[www.elwasweb.nrw.de, abgerufen am 14.1.2025]

Im Hochwasserfall ist bereits bei häufigen Ereignissen gemäß HWRM-RL Gefahrenkarten (2. Zyklus) der gesamte Talraum überflutet. Bei

Hochwasserereignissen mittlerer sowie niedriger Wahrscheinlichkeit ist die Betroffenheit in der Fläche aufgrund der deutlichen Talkanten nur minimal größer.

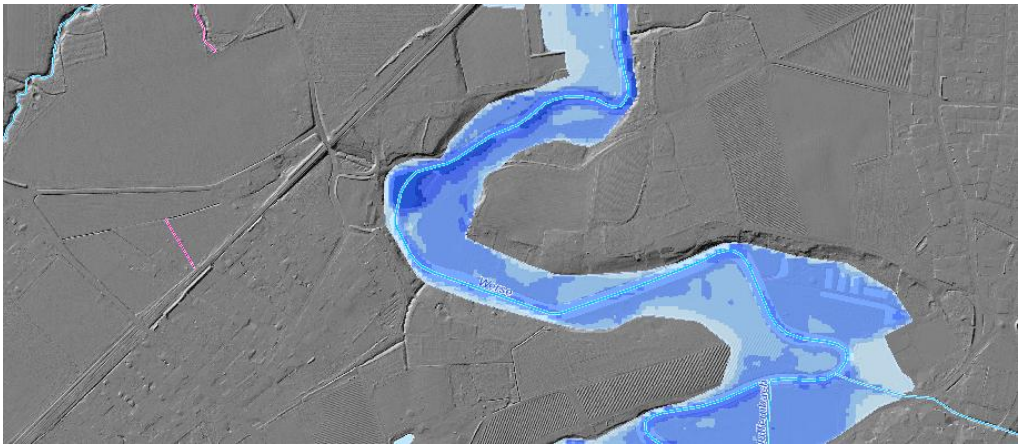

Abbildung 14: Relief Werse mit Überschwemmung bei Hochwasser mittlerer Wahrscheinlichkeit [www.elwasweb.nrw.de, abgerufen am 14.1.2025]

3.3.1 Hydraulikmodell

Im Zuge der Machbarkeitsstudie [1] wurde ein vorhandenes eindimensionales, stationäres Hydraulikmodell der Werse (WSP-Datensatz von 1999 der BR Münster) durch aktuelle Vermessungsdaten der Machbarkeitsstudie aus 2017 ergänzt und aktualisiert. Als Programmsoftware wurde die Software HEC-RAS verwendet. Dies ist eine frei verfügbare Simulationssoftware zur Aufstellung und Berechnung von Gewässer-Hydraulikmodellen, welche von der US-Armee (United States Army Corps of Engineers) entwickelt wurde.

Für die weitere Bearbeitung wurde das Modell händisch in die aktuelle Programmsoftware Jabron 7.1 (Hydrotec) konvertiert. Der Vorteil ist vor allem die bessere Kompatibilität mit gängiger GIS-Software wie ArcGis sowie den in der deutschen Wasserwirtschaft standardisierten Übergabeformaten (z. B. GAF).

Das Berechnungsverfahren simuliert das Abfluss-Wasserstand-Verhalten in einem Gerinne, das aus den Talquerprofilen und deren Abständen gebildet wird. Seine Rauheiten werden durch den „Strickler-Parameter" k_{St} dargestellt. Die jeweiligen Profile sind in der Regel ungleich und der Abfluss von Profil zu Profil ändert sich über die Zeit nicht. Der Abfluss ist somit stationär ungleichförmig. Die Strömungsrichtung ist eindimensional. Das Programmsystem Jabron ist eine geläufige Software und für die gegebene Aufgabenstellung gut geeignet. Auf eine detaillierte Beschreibung wird hier verzichtet.

Das Modell wurde mit den Abflüssen aus Kapitel 3.2 beschickt. Die sich hieraus ergebenden Wasserspiegellagen für den bestehenden Ist-Zustand stellen die Referenzwasserspiegellagen für die weiteren Untersuchungen dar.

3.4 Boden

Für die Maßnahme wurde eine Baugrunduntersuchung innerhalb der Flutmulde mit insgesamt 19 Rammkernsondierungen durchgeführt. Im Bereich der Avendruper Straße wurden zusätzliche Rammsondierungen zur Ermittlung der Tragfähigkeit durchgeführt. Insgesamt wurden mit Sand, Mergel und Schluff eine wechselhafte Bodenschichtung vorgefunden, wobei die bindigen Böden überwiegen. Tragfähiger Boden (Mergelgestein) steht erst ab ca. 6 m an. Grundwasser wurde 0,5 – 1,5 m unterflur angetroffen. Die Oberbodendicke beträgt im Mittel ca. 0,54 m.

4 Planung

4.1 Randbedingungen und Ziele

Ziel der Vorhabensplanung ist die Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit an der Sudmühle, als letzte nicht durchgängige Wehranlage an der Werse. Die Fischdurchgängigkeit ist ein maßgeblicher Baustein für die Herstellung des gemäß EG-WRRL geforderten guten ökologischen Gewässerzustandes. In [1] hat hierzu bereits eine Variantenbetrachtung stattgefunden. Als Zielvariante hat sich ein „Organismenaufstieg" (Raugerinne) im rechten Vorland/Flutmulde der Werse herausgestellt (siehe Abbildung 15). Der Wehrkanal im Hauptlauf der Werse soll verfüllt und lediglich bei Hochwasserabflüssen beschickt werden. Eine solche Variante wird aus folgenden Gründen ebenfalls vom Unterzeichnenden befürwortet:

- Ein Rückbau der Wehranlage im Hauptlauf/Wehrkanal ist aufgrund der konstruktiven Verbindung der Wehrgründung mit der Gründung des Betriebsgebäudes von Roland Mills United nicht möglich.

- Der aufgestaute Wersewasserstand fungiert als wichtige Stützstelle des Grundwasserstandes. Eine Absenkung des Stauziels >25 cm wird als schädlich eingeschätzt. Umfänglichere Stauzielabsenkungen z. B. durch vollständigen Rückbau sind daher nicht möglich.

- Eine Anschüttung eines Raugerinnes im Mühlenkolk ist mit einer signifikanten Verkleinerung des Abflussquerschnittes und somit einer erheblichen Verschlechterung der Abflusssituation verbunden und daher ebenfalls nicht möglich.

- Der Eigentümer hat zugestimmt, den Turbinenbetrieb aufzugeben, eine Beschickung des Wehrkanals/der Mühle ist somit nicht mehr erforderlich

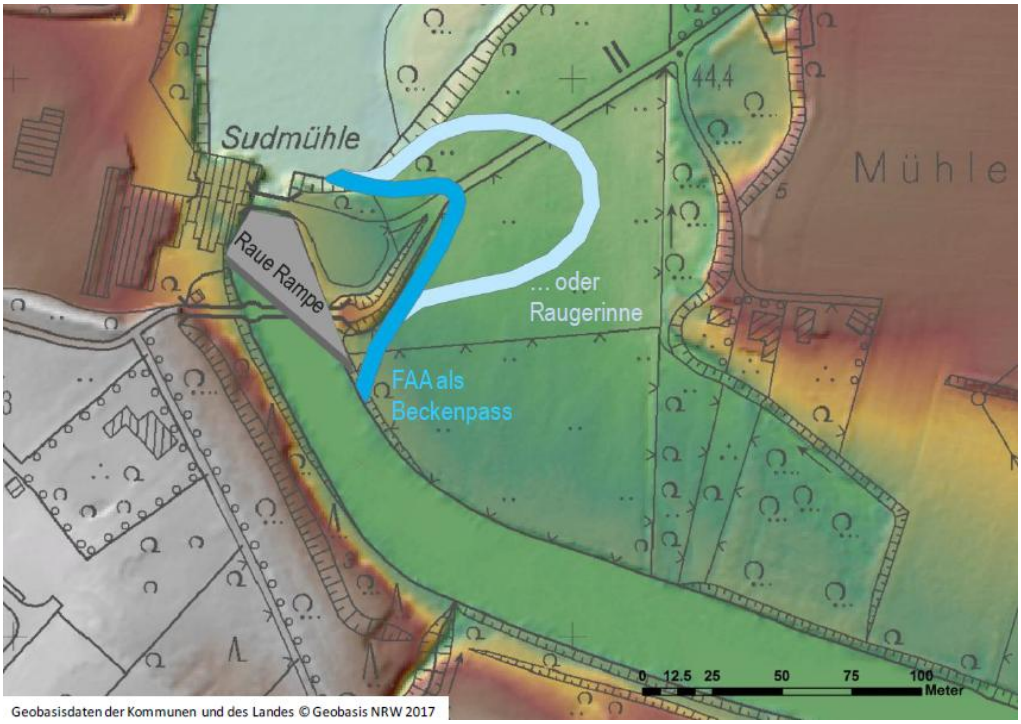

Abbildung 15: Skizze der Zielvariante gemäß [1]

Der weiteren Planung liegen die nachfolgend aufgeführten Randbedingungen zugrunde.

4.1.1 Stauziel

Das genehmigte Stauziel der Sudmühle liegt bei 44,62 NHN(m). Aufgrund der abgängigen Wehranlage wurde die Wehrklappe nunmehr provisorisch festgesetzt auf die Stauhöhe von 43,77 NHN(m).

Der Eigentümer der Staugenehmigung und Betreiber der Wehranlage gibt den Betrieb der Wasserkraftanlage auf. Der Erhalt des bisherigen Stauziels ist somit aus Sicht des bisherigen Genehmigungsinhabers nicht erforderlich.

4.1.2 Flächeneigentum

Das rechtsseitige Vorland in Form der Flutmulde befindet sich im Eigentum des Stauanlageneigentümers. Der Eigentümer stellt die erforderlichen Flächen für das Planvorhaben zur Verfügung. Die Parzellen der Avendruper

Straße sowie die sonstigen Gewässerparzellen liegen im öffentlichen Eigentum der Stadt Münster. Mit Ausnahme der Flächen vom Eigentümer werden keine weiteren Flächen in Privateigentum benötigt.

4.1.3 Grundwasser

Gemäß [1] wird eine Absenkung des Grundwasserstandes um mehr als 25 cm durch Absenkung des Stauziels als schädlich, insbesondere für die im Staubereich der Anlage vorhandenen Biotope, erachtet. Zur Verifizierung der Auswirkung möglicher Grundwasserstandsabsenkungen infolge einer Stauzielabsenkung hat die Stadt Münster eine hydrogeologische Untersuchung beauftragt [3].

Es wurden maßgeblich folgende Varianten untersucht:

- Variante 1 – Stauzielabsenkung bis 25 cm
- Variante 2 – Stauzielabsenkung 80 cm wie bisher durch die Festsetzung der abgängigen Wehrklappe

Im Ergebnis ist festzuhalten, dass im Stauwurzelbereich der Sudmühle Flächen vorhanden sind, die aufgrund des bisherigen Flurabstandes und der Bodenart grundsätzlich empfindlich gegenüber Grundwasserabsenkungen sind. Stauzielabsenkungen und somit auch Grundwasserstandsabsenkungen sind daher nicht ohne weiteres möglich. Die Variante 2 (bisherige Absenkung um 80 cm) wird als kritisch eingeschätzt und es wird empfohlen, den Zustand so bald wie möglich zurückzusetzen.

Grundwasserstandsänderungen <= 0,25 cm hingegen werden aufgrund der natürlichen Grundwasserschwankung (hier bis zu 2 m) als nicht erheblich und damit als nicht umweltrelevant eingestuft.

4.1.4 Versorgungsleitungen

Der Maßnahmenbereich wird durch folgende Leitungen (Betreiber) gekreuzt:

- Trinkwasser (Stadt Münster)
- Strom (Stadt Münster)
- Glasfaser/LWL (Vodafone)
- Glasfaser (Gasline GmbH & Co. KG)

Die Trinkwasserleitung verläuft mittig durch die Flutmulde. Eine Verlegung/Tieferlegung ist nach Auskunft der Stadtwerke Münster zwingend zu vermeiden, da die Leitung erst 2018 und somit vor vergleichsweise kurzer Zeit gebohrt wurde.

Die verbleibenden drei Leitungen verlaufen parallel zur Avendruper Straße und sind an das Planvorhaben anzupassen.

4.1.5 Verkehrsführung/Wegeverbindung

Die Avendruper Straße stellt eine ausgiebig frequentierte Fuß- und Radwegeverbindung dar, welche erhalten werden muss. Aufgrund dessen ist eine Brücke über das Planvorhaben zu berücksichtigen.

4.1.6 Bodenschutz/Bodenmanagement

Eine Bodenuntersuchung liegt vor (vgl. Kapitel 3.4). Die Böden wurden gemäß LAGA, gemäß Vorsorgewerte der BBodSchV und EBV untersucht. Demzufolge ist ca. ein Drittel des Oberbodens (im südlichen Bereich) vollkommen unbelastet und kann uneingeschränkt als Oberboden wiederverwendet werden. Im verbleibenden Oberboden ist aufgrund der erhöhten Vorkommen von Zink eine Wiederverwendung auf landwirtschaftlichen Flächen und in Gärten nicht möglich, jedoch beispielsweise im Landschaftsbau. Eine Umlagerung innerhalb des Baufeldes ist unproblematisch.

Der vorgefundene Boden ist größtenteils unbelastet (LAGA Z0, EBV BM-0). Eine Mischprobe weist einen erhöhten TOC-Gehalt auf, sodass hier die LAGA-Einstufung Z1.1 erfolgt. Gemäß EBV bleibt die günstige Einstufung

BM-0. Der erhöhte TOC-Gehalt kann aufgrund der wechselhaften humosen Beimengungen als standorttypisch angesehen werden. Ein Wiedereinbau zur Verfüllung des Bestandsverlaufes ist unkritisch.

In zwei Teilbereichen wurden leicht erhöhte PAK-Gehalte festgestellt. Die entsprechenden Böden sind abzufahren und nicht für den Wiedereinbau geeignet.

Unabhängig der hier vorliegenden Ergebnisse sind die Böden im Zuge der Erstellung der Leistungsbeschreibung erneut zu beproben, um potenziellen Abnehmern/Deponien aktuelle Analysen (Probealter sollte 12 Monate nicht überschreiten) vorlegen zu können.

4.1.7 Wäldchen/Gehölz

Das am nördlichen Ende, zwischen Flutmulde und Mühlenkolk gelegene Wäldchen ist ökologisch wertvoll. Ein Eingriff in den Bewuchs ist zu vermeiden.

4.1.8 Wehranlage

Die Einläufe des Turbinenkanals sowie der Auslauf sind dauerhaft und wasserdicht zu verschließen. Die oberwasserseitig der Wehranlage vorhandene Löschwasserentnahme ist bei Verfüllung des Bereiches gleichwertig wiederherzustellen.

Es ist nicht auszuschließen, dass der in Stahlbeton befestigte Wehrkanal Lasten des anstehenden Betriebsgebäudes aufnimmt. Die Stahlbetonwände sind daher zu erhalten. Die Wände sowie die Sohle des Wehrkanals wurden im Juni 2018 betontechnologisch untersucht. Demzufolge weist der Beton eine sehr gute Güte auf, es liegen minimale Schäden vor (Moosbewuchs, geringe Abplatzungen im Bereich zur Brücke). Sanierungsmaßnahmen sind mit wenig Aufwand verbunden.

Die Brücke zum Wendehammer ist für den Betrieb des Eigentümers erforderlich und ist ebenfalls zu erhalten.

4.1.9 Ober- und Unterwasserstand

Der Unterwasserstand der Sudmühle ist durch die weiter unterhalb liegende Havichhorster Mühle vorgegeben und liegt gemäß [1] für W_{30} bei ca. 42,0 NHN(m). Es bestehen bereits konkrete Überlegungen, den Stauwasserstand an der Havichhorster Mühle um 0,25 m abzusenken. Um auch für diesen Fall die Funktionstüchtigkeit der hier geplanten Anlage zu gewährleisten, wird für die Ermittlung der Fischdurchgängigkeit bereits von einem um 25 cm abgesenkten Wasserstand im Unterwasser (=41,75 NHN(m)) ausgegangen.

Das genehmigte Stauziel der Sudmühle liegt bei 44,62 NHN(m). Gemäß Kapitel 4.1.3 darf der Stauwasserstand um maximal 0,25 m abgesenkt werden. Aus Gründen der Kostenersparnis (weniger Riegel) und zur Ausschöpfung des Maximums wird der Oberwasserstand somit auf 44,62 NHN(m) - 0,25 m = 44,37 NHN(m) festgelegt.

Es ergibt sich eine für die Fischdurchgängigkeit maßgebende Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser von 44,37-41,75 = 2,62 m.

4.1.10 Fließgewässertyp

Die Werse ist gemäß LAWA als Sand- und Lehmgeprägter Tieflandfluss (Typ 15) ausgewiesen. Bei der Anlage des Fischaufstieges sind die Eigenschaften dieses Gewässertyps im guten ökologischen Zustand im Rahmen des möglichen zu berücksichtigen.

4.1.11 Fischgewässertyp

Die Werse ist im Maßnahmenbereich ausgewiesen als FiGt 26, Brassentyp Tiefland. Die sich daraus ergebenden maßgebenden Größen zur Bemessung der Fischdurchgängigkeit wurden per E-Mail am 15.4.2021 mit der Oberen Fischereibehörde (BR Münster) abgestimmt. Demzufolge bestimmen sich die maßgebenden hydraulischen und geometrischen Größen anhand der Arten Brasse, Quappe, Hecht, Barbe und Döbel.

4.1.12 Natur- und Artenschutz

Die naturschutzfachlichen Belange sind in dem den Antragsunterlagen beigefügten Landschaftspflegerischen Begleitplan, der Artenschutzprüfung und UVP-Bericht, separat erarbeitet durch das Büro Umweltinstitut Höxter (UIH), berücksichtigt. Dieser umfasst u.a. eine Biotopkartierung des Maßnahmenbereiches (inkl. ergänzender faunistischer Untersuchungen), eine Erfassung der in der Stauwurzel der Sudmühle liegenden Biotope, Dokumentation und Ergebnisse des Scoping-Verfahrens, die Artenschutzrechtliche Prüfung sowie die UVP-Vorprüfung.

4.2 Variantenplanung

Ziel ist die Herstellung eines „Organismenaufstiegs" (Fischaufstiegsanlage, FAA) im rechten Vorland. Da der Stauanlagenbetreiber bereits zugesichert hat, die Wasserkraftgewinnung aufzugeben, ist keine Abflussaufteilung zwischen dem Wehrkanal und dem potenziellen Fischaufstieg erforderlich. Somit kann, wie auch für den Fischaufstieg erforderlich, der Abfluss der Werse vollständig durch ein neues Gerinne, welches als Fischaufstieg ausgeführt wird, geleitet werden. Ein konkurrierender Abschlag, der Abflussmengen aus dem Fischaufstieg ableitet, liegt nicht vor. Dies ist insbesondere erforderlich, um in Niedrigwasserzeiten ausreichend Wassertiefe im Wanderkorridor zu ermöglichen.

4.2.1 Priorisierung

Gemäß gültiger Erlasslage (siehe [4] und [5]) ist die Wiederherstellung der Durchgängigkeit gemäß folgender Priorisierung zu prüfen und umzusetzen:

1. Vollständige Beseitigung des Querbauwerkes als beste Option (und Herstellung des natürlichen Sohlgefälles)

2. Fischdurchgängige Sohlgleiten im Hauptschluss

3. Fischaufstiegsanlagen

Im Folgenden wird die Umsetzbarkeit der einzelnen Varianten dargestellt:

Vollständige Beseitigung des Querbauwerkes

Eine vollständige Beseitigung des Querbauwerkes ist aufgrund des tiefen Einschnitts der Werse mit einer Absenkung des Stauwasserstandes um mehrere Meter verbunden. Aufgrund der damit verbundenen enormen Absenkung des Grundwasserstandes ist diese Variante nicht genehmigungsfähig. Des Weiteren wären massive Maßnahmen zur Sicherung der Gründung des Betriebsgebäudes von Roland Mills United erforderlich, welche gegen diese Variante sprechen.

Fischdurchgängige Sohlgleiten im Hauptschluss

Da eine Stauzielabsenkung nicht in Frage kommt (siehe vorherige Variante), ist bei dieser Variante eine Sohlgleite im Mühlenkolk oder unterhalb des Mühlenkolkes auf einer Länge von mehreren Hundert Metern anzuschütten, um die Höhendifferenz zu überbrücken. Dies würde den Abflussquerschnitt massiv verringern und den Hochwasserabfluss gravierend verschlechtern. Diese Variante ist daher aus Gründen des Hochwasserschutzes nicht umsetzbar.

Fischaufstieg im Nebengerinne

Diese Option sieht die Herstellung einer Fischaufstiegsanlage um die Wehranlage herum, vor. Diese Variante erfordert Flächenverfügbarkeit auf den angrenzenden Vorländern. An der Sudmühle ist dies durch die Flutmulde gegeben. Die Fläche ist augenscheinlich ausreichend, die Umsetzung dieser Variante ist somit möglich.

Fischaufstiegsanlagen können sowohl als

1. Raugerinne ohne Einbauten,
2. Raugerinne mit Störsteinen,
3. Raugerinne in Riegel-Becken Bauweise oder als
4. Technischer Fischaufstieg in Betonbauweise

hergestellt werden.

Die hier dargestellte Nummerierung gibt gleichzeitig gemäß Erlasslage die Reihenfolge wieder (von natürlich zu künstlich), in der die Umsetzung zu priorisieren ist.

4.2.1.1 Raugerinne ohne Einbauten

Ein Raugerinne ohne Einbauten stellt ein einfaches „Gerinne" dar, dessen Sohle durch Natursteinmaterial aufgeraut ist, um die Fließgeschwindigkeit absenken zu können und um bei dem erforderlichen Gefälle die Lagestabilität herzustellen und eine rückschreitende Erosion zu verhindern. In Abhängigkeit des maßgebenden Fischgewässertyps darf eine bestimmte maximale Fließgeschwindigkeit nicht überschritten werden. Diese richtet sich vor allem nach der Rauheit sowie der Neigung des Raugerinnes. Darüber hinaus ist sicherzustellen, dass ein Wanderkorridor mit einer Mindestbreite und Mindestwassertiefe auch zu Niedrigwasserzeiten (ab Q_{30}) vollständig gefüllt ist.

Die maximale Länge von Raugerinnen ohne Einbauten darf gemäß DWA M 509 25 m nicht überschreiten. Bei längeren Anlagen ist in Abständen von 5-10 m ein aufgelöster Bereich ohne Gefälle mit einer Länge von 3-5 m vorzusehen.

Ausgehend vom Fischgewässertyp Brachsenregion ergibt sich gemäß Handbuch Querbauwerke (Tabelle 10.2) eine maximale Fließgeschwindigkeit von v_{max} = 0,7 m/s. Gemäß DWA Merkblatt M 509 (Tabelle 18) beträgt v_{max} = 1,3 m/s. Für eine Gleite mit der Länge von 10 m, unter Berücksichtigung eines Sicherheitsbeiwertes Sv = 0,9, reduziert sich v_{max} zu 1,17 m/s (=1,3*0,9). Es gilt stets der für die Fische günstigste Wert, somit in diesem

Fall 0,7 m/s. Die Mindestbreite des Wanderkorridors beträgt 2 m, die Mindestwassertiefe 0,6 m.

Die Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser der Sudmühle beträgt 2,62 m. Abbildung 16 zeigt den möglichen Verlauf eines Raugerinnes, die Länge beträgt ca. 300 m. Aufgrund der Gewässerbreite und des damit verbundenen Flächenbedarfs bei größerem Windungsgrad ist ein noch längeres Raugerinne nicht oder nur um wenige Meter möglich. Auch ist zu berücksichtigen, dass im östlichen Bereich die Trinkwasserleitung nur wenige Meter unterflur liegt, und selbige somit zwingend in der westlichen Hälfte der Flutmulde gekreuzt werden muss. Es ergibt sich eine Gerinneneigung von 0,87%.

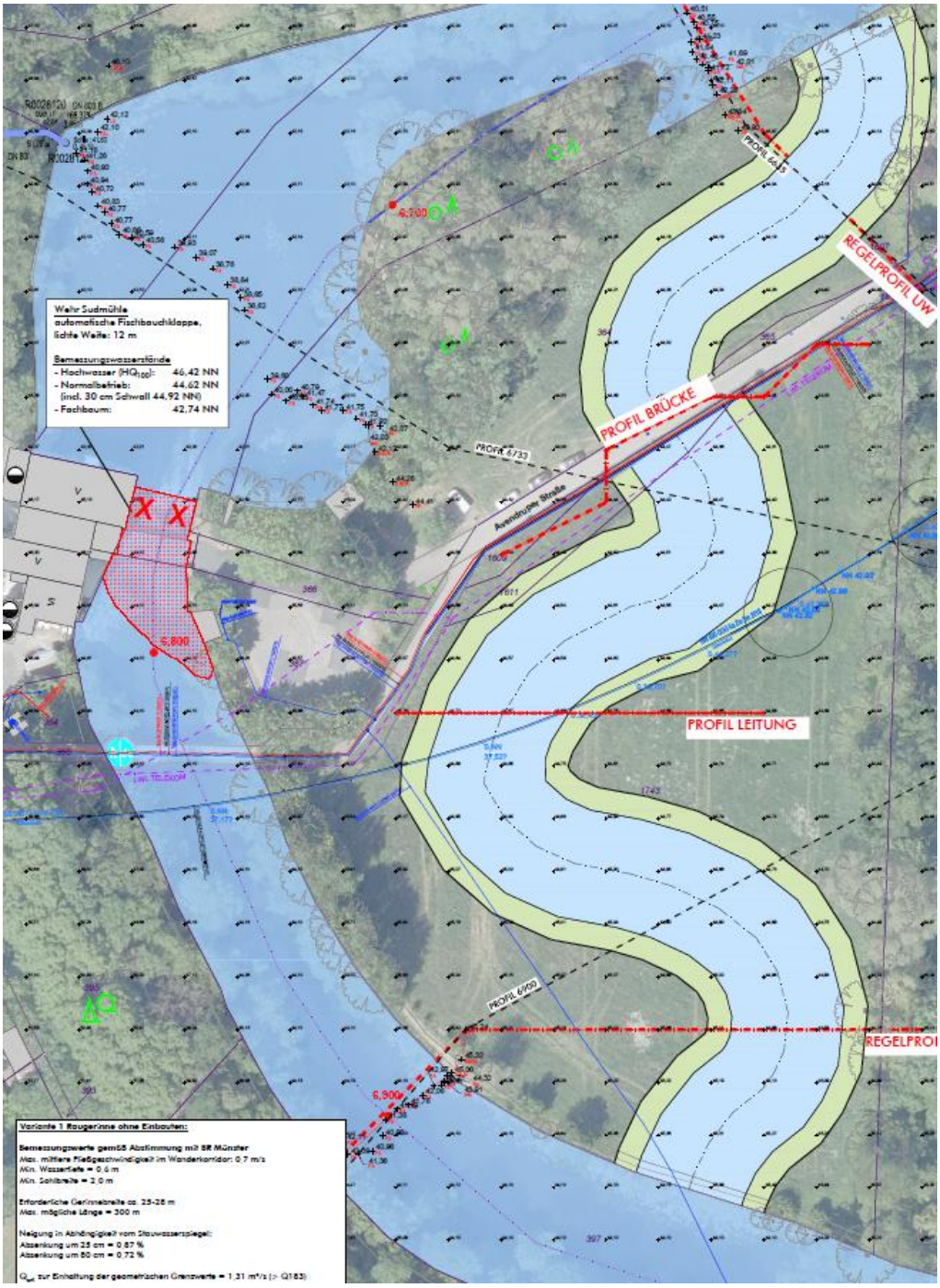

Abbildung 16: Variantendarstellung Raugerinne ohne Einbauten, Länge ca. 300 m

Mit der Software „Hydraulikus“ (Dipl.-Ing. Martin Lehmann, 2004) wird der erforderliche Wanderkorridor in einem Querprofil abgebildet. Die Software ermittelt die Fließgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Querprofilgeometrie, der Rauheit, der Neigung und der Wassertiefe. Gemäß Abbildung 17 sind

für ein Raugerinne ohne Einbauten mit einer Neigung von 0,87 % bei einer Wanderkorridorbreite von 2 m und einer Wassertiefe von 60 cm ein Abfluss von 1,384 m³/s erforderlich. Die Fließgeschwindigkeit beläuft sich in dem Fall zu 0,93 m/s.

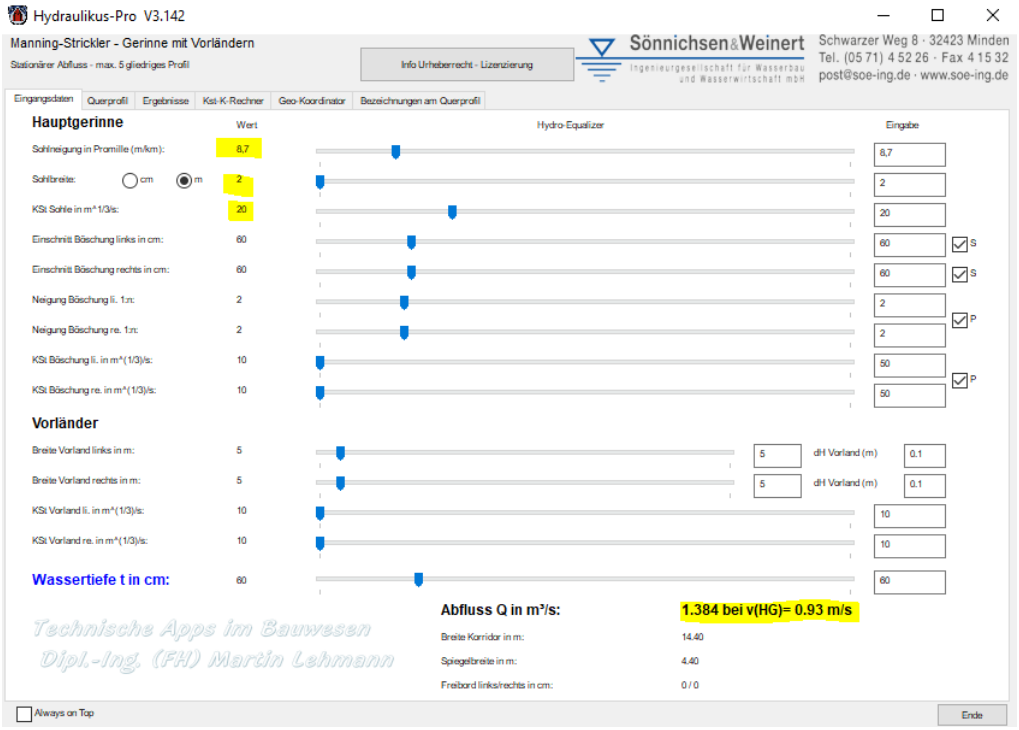

Abbildung 17: Auszug Hydraulikus für ein Raugerinne ohne Einbauten

Da v_{max} überschritten wird und zudem Q_{30} lediglich 0,6 m³/s beträgt und somit nicht ausreicht, um die Mindestwassertiefe herzustellen, können sowohl die hydraulischen als auch geometrischen Bemessungswerte bei dieser Variante nicht eingehalten werden. Zudem fehlt der erforderliche Platz, um das Raugerinne um die aufgelösten Bereiche (ca. 30x Einzellängen von 3-5 m) zu ergänzen. Diese Variante ist daher nicht umsetzbar.

4.2.1.2 Raugerinne mit Störsteinen

Ergänzend zu einem Raugerinne ohne Einbauten werden bei dieser Bauart massive Störsteine in bestimmten Abständen in und quer zur Fließrichtung eingebaut, um die Rauheit massiv zu erhöhen und über den damit

einhergehenden Energieverlust die Fließgeschwindigkeiten abzusenken. Somit können bei gleicher Länge größere Höhendifferenzen überwunden werden. Zudem sind die aufgelösten Bereiche nicht erforderlich.

Zur Nachweisführung wird ein Raugerinne in Störsteinbauweise analog zum Raugerinne ohne Einbauten mit der Software Hydraulikus abgebildet. Lediglich der Rauhigkeitsbeiwert k_{st} nach Manning-Strickler wird zu 15 geändert, um die deutlich erhöhte Rauheit der massiven Störsteine zu simulieren (siehe Abbildung 18). Die Fließgeschwindigkeiten sinken deutlich, dennoch ist ein Abfluss von 0,8 m^3/s erforderlich, um die erforderliche Wassertiefe von in diesem Fall 50 cm im Wanderkorridor zu erreichen. Der geometrische Bemessungswert Wassertiefe kann somit bei dieser Variante nicht eingehalten werden. Da die Wirkung der Störsteine nur über die Rauheit abgebildet werden kann, welche mit einer Ungenauigkeit verbunden ist, ist bei dieser Bauweise ein größeres Risiko vorhanden, dass auch andere Grenzwerte nach Fertigstellung der Anlage nicht eingehalten werden. Auch ist aufgrund der Turbulenzen durch den Energieabbau an den Störsteinen eine Befestigung der Sohle auf gesamter Länge und Breite erforderlich, sodass diese Variante teurer ist als ein Raugerinne ohne Einbauten oder in Riegel-Becken-Bauweise. Eine Umsetzung dieser Variante wird daher nicht weiterverfolgt.

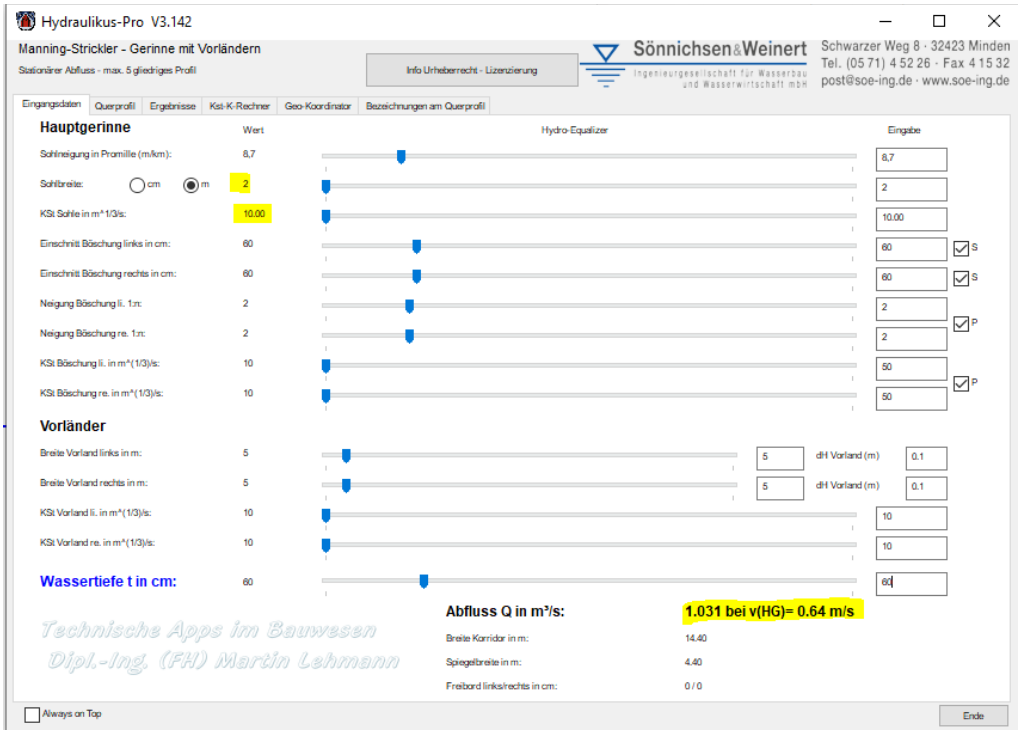

Abbildung 18: Auszug Hydraulikus für ein Raugerinne in Störsteinbauweise

4.2.1.3 Raugerinne in Riegel-Becken-Bauweise

Diese Variante unterteilt das Raugerinne durch Steinriegel in unterschiedliche Becken. Innerhalb der Steinriegel ist ein sogenannter Schlitz, durch den die Fische von Becken zu Becken wandern können. Die Becken- und Schlitzgeometrien sind abhängig vom maßgebenden Fischtyp. Neben den Geometrien ist vor allem die Fließgeschwindigkeit im Schlitz, welch sich aus dem Δh (die maximale Wasserspiegeldifferenz zwischen den Becken) ergibt, maßgebend.

In Abstimmung mit der Br Münster und unter Berücksichtigung der Regelwerke DWA M 509 und Handbuch Querbauwerke ergeben sich die Bemessungswerte für ein Raugerinne in Riegel-Beckenbauweise gemäß Tabelle 4. Die Sicherheitsbeiwerte werde angesetzt zu S_v = 0,89, S_b = 0,8 und S_g = 0,8.

Tabelle 4: Bemessungswerte gemäß DWA M509/Handbuch Querbauwerke

Maximales dh [m]	0,07
Min. Schlitzbreite [m]	0,41
Min. Wassertiefe im Schlitz [m]	0,53
Min. Beckenlänge [m]	4,5
Min. Wassertiefe im Becken [m]	0,66
Leistungsdichte [W/m³]	80/100

Bei einem Δh von 7 cm und einer maximalen Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser der Sudmühle von 2,62 m sind insgesamt 37,4 Riegel erforderlich, um die Stauhöhe über Becken abbauen zu können. Für die Maßnahme wird aufgerundet auf 38 Riegel. Bei einer Mindestbeckenlänge von 4,5 m zzgl. 1 m für die Länge der Natursteinquader ergibt sich eine erforderliche Gesamtlänge von 209 m.

Die Umsetzung eines Raugerinnes in Riegel-Beckenbauweise ist das einzige, innerhalb des Maßnahmenraumes ohne Einschränkungen herstellbare Raugerinne und wird daher als Zielvariante festgelegt.

4.3 Maßnahmenplanung Raugerinne in Riegel-Beckenbauweise

Der Verlauf des Raugerinnes orientiert sich im Wesentlichen anhand der Variantenplanung gemäß Abbildung 16. Da die Trinkwasserleitung nur im westlichen Bereich so tief liegt, dass diese vom Raugerinne überquert werden kann und das vorhandene Gehölz den Trassenverlauf nördlich der Avendruper Straße einschränkt, ist eine Abweichung vom dargestellten Verlauf nur minimal im südlichen Bereich, ohne Wirkung auf die Maßnahme, möglich.

Die Riegelbreite differiert über die Raugerinnelänge. Nördlich der Brücke der Avendruper Straße sind aus Platzgründen maximal 20 m möglich. Durch die schmaleren Riegel wird zudem der Bodenaushub aufgrund des hier tieferen

Einschnittes minimiert. Die Riegel 15 – 35 werden 25 m, die Riegel 36-38 30 m breit angelegt. Die größere Breite bei den oberwasserseitigen Riegeln ist erforderlich, um eine Verschlechterung des Hochwasserrisikos zu vermeiden. Die Böschungsneigungen werden im Mittel mit 1:3 ausgeführt. Die Riegelsteine werden in der Böschung bis 1 m über W_{330} ausgeführt, um Hinterspülungen und somit Umläufigkeiten der Riegel zu vermeiden. Die mittlere Beckenlänge beträgt ca. 6 m. Die Schlitze werden mit einer Breite von 0,9 m ausgeführt. Die Riegelkrone liegt 0,6 m über der Schlitzsohle. Die geometrischen Bemessungswerte gemäß Tabelle 4 werden eingehalten.

Die unterwasserseitige Ausmündung wird strömungsoptimiert in Fließrichtung der Werse angepasst und im Rahmen der Möglichkeiten ausgeführt. Ein flacherer Winkel ist aus Platzgründen nicht möglich.

Zur Erhaltung des Mindestwasserstandes von 44,37 NHN(m) wird die Krone des obersten Riegels auf diese Höhe angelegt. Die Riegel werden mit einer Höhendifferenz von 7 cm zum nächsten Riegel eingebaut. Der Schlitz ist so dimensioniert, dass ein Abfluss von ca. 0,6 m^3/s (entspricht Q_{30}) durch diesen abgeführt wird. Der Nachweis ist Anhang A zu entnehmen (auf Basis der Excel-Datei von Wolfgang Kleef, RP Darmstadt, Berechnungsansatz beruht auf der „Wehrformel" nach Poleni). Ergänzend ist das Raugerinne ebenfalls im Hydraulikmodell als sog. „Planzustand" abgebildet (siehe auch Kapitel 4.3.12). Demzufolge ergibt sich für den Abfluss Q_{30} oberwasserseitig des Raugerinnes ein Wasserspiegel von 44,38 NHN(m). Die Abweichung von 1 cm ist dem unterschiedlichen Berechnungsansatz zwischen der Vorgehensweise aus Anhang A („Wehrformel") und dem Hydraulikmodell (Gerinnehydraulik, Fließformel nach Manning-Strickler) geschuldet und äußerst gering.

Die exakten Sohlhöhen der Becken und Schlitze sowie die Riegelkronenhöhen sind im Detail den Anlagen 5.1 und 5.2 zu entnehmen.

Die Becken werden zur Initiierung eines natürlicheren Gewässerlaufes und zur Anlage von Laichhabitaten mit Kieslinsen (Kies 2/80), ca. 5 m * 7,5 m, Schichtstärke ca. 30 cm, ausgestattet. Um eine Verlandung dieser wertvollen Strukturen zu vermeiden, werden diese im Bereich des „Stromstriches" in den

Becken, also zwischen dem ober- und unterwasserseitigen Schlitz, verortet. Des Weiteren sind insgesamt 40 Totholzstämme (inkl. Astwerk) und Wurzelstubben vorgesehen, welche als Strukturelemente gleichmäßig über die Becken verteilt, eingebaut werden. Dies erhöht die Beschattung der Wasserfläche und dient den Fischen zum einen als Unterstand und Schutz. Zum anderen sind diese für Vögel als Sitzwarten attraktiv und dienen zudem Insekten als Habitat und werten somit den neuen Gewässerlauf ökologisch auf. Eine exemplarische Darstellung zu Einbau und Befestigung der Strukturelemente ist in Anlage 9.2 dargestellt.

4.3.1 Verlandungen und Leistungsdichte

Im Laufe der letzten Jahre wurde im Münsterland die Erfahrung gemacht, dass die Becken von Raugerinnen in Riegel-Beckenbauweise bei, so wie hier vorhandenen, sandgeprägten Tieflandflüssen, in den Innenkurven verlanden. Auch nach Hochwasserereignissen wurden die Sedimente nicht nennenswert weggetragen. Das Beckenvolumen verringert sich hierdurch merklich. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird die Leistungsdichte wie folgt berechnet:

Betroffen sind die Becken, welche in einer Kurve des Raugerinnes liegen und die aufgrund dessen auf der Innenseite deutlich kürzer sind. Dies sind auch die Bereiche, in denen sich typischerweise aufgrund der langsameren Fließgeschwindigkeit Gleithänge ausbilden. Dies sind die Becken oberhalb der folgenden Riegel: 1, 3, 7, 8, 11, 12, 18, 20, 21, 22, 23, 27, 28, 29, 34, 35 und 37.

Die exakte Größe der Verlandungen kann nicht eindeutig festgelegt werden. Es wird daher vereinfachend die Annahme getroffen, dass nach einigen Jahren die Becken auf einer Länge eines Drittels der Beckenbreite, von der Innenkurve ausgehend in Richtung Beckenmitte verlandet sind.

Im GIS wird zunächst die gesamte lichte Beckenfläche zwischen den Riegelsteinen abgegrenzt (siehe Abbildung 19). Die geringste Beckenfläche mit A = 103 m^2 weist das Becken zwischen den Riegeln 7 und 8 auf.

Augenscheinlich sind einige Becken im Oberwasser länger, jedoch ist die Beckenbreite bei diesen nördlichen Becken mit 20 m von Böschungsoberkante zu Böschungsoberkante am geringsten. Diese Breite wird für die Flächenberechnung als maßgebend angesetzt. Zur Sicherheit hin wird nicht berücksichtigt, dass bei einem Q_{330} auch die Böschung in Teilen benetzt ist und das Beckenvolumen somit größer ausfällt.

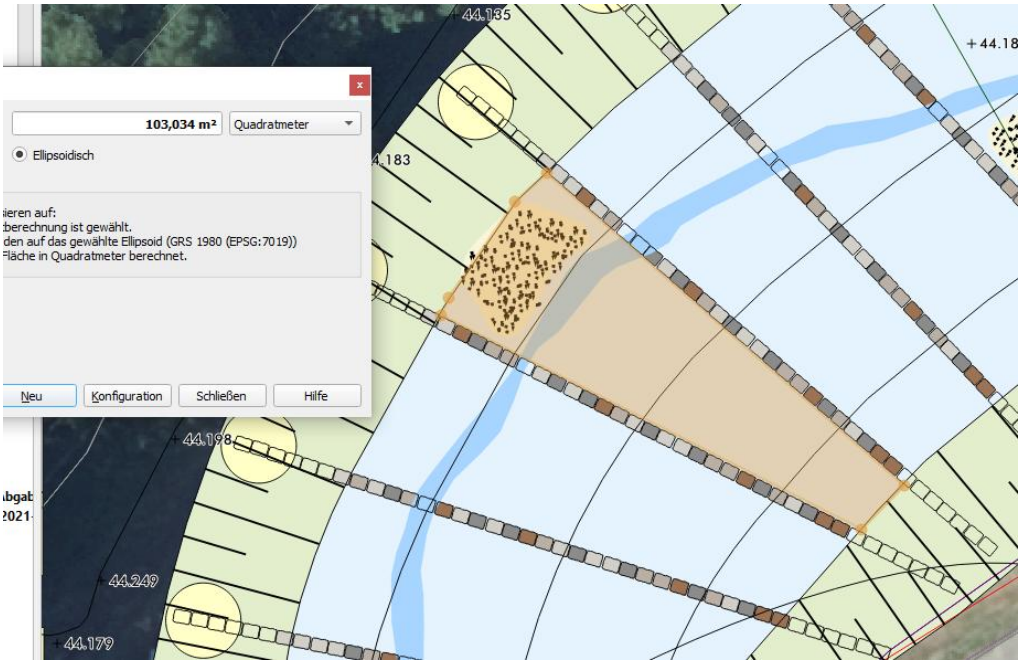

Abbildung 19: Beckenfläche zwischen Riegel 7 und 8

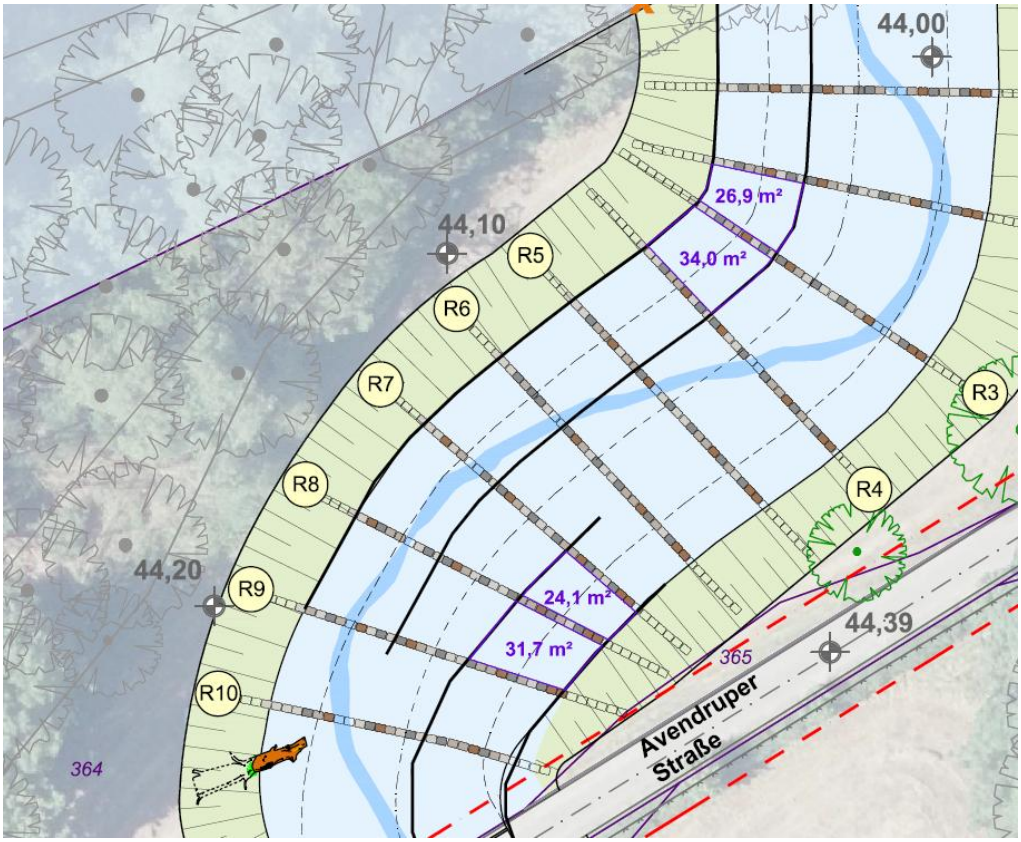

Abbildung 20: Ermittlung der Fläche des innenliegenden Drittels nördlich der Avendruper Straße

Ergänzend hierzu wird die Beckenfläche des inneren Drittels dieser Becken bemessen und von der Beckengesamtfläche abgezogen. Somit verbleibt die Beckenfläche welche nicht von der Verlandung betroffen ist und im Weiteren für den Nachweis der Energiedissipation angesetzt werden kann.

Der Nachweis wird geführt mit der Formel

ρ*g*Q*Δh/V mit

ρ = 1000

g = 9,81

Q_{30} = 0,6 m³/s

Q_{330} = 15,3 m³/s

Δh = 0,07 m

Das Volumen V wird ermittelt aus der Wassertiefe, welche sich ergibt aus dem Wasserstand für W_{30} bzw. W_{330} abzüglich der Beckensohlhöhe (40 cm unter Schlitzsohle), multipliziert mit der um das innere Drittel reduzierte Beckenfläche.

Der Bemessungswert für die maximale Leistungsdichte beträgt 80 W/m³ für Q_{30} und 100 W/m³ für Q_{330}.

Im Anhang B sind sämtliche Flächengrößen, Sohl- und Wasserstandshöhen, Wassertiefen, Abflüsse sowie die daraus ermittelte Leistungsdichte pro Becken aufgeführt. Die größte Leistungsdichte tritt mit 97,0 W/m³ im Becken zwischen Riegel 7 und 8 auf. Der Bemessungswert wird somit auch bei vollständiger Verlandung der Innenseite eines Beckens auf einer Breite von 6-10 m (abhängig vom Becken) eingehalten.

4.3.2 Natursteinmaterial

Die Riegel werden aus einer Reihe „Riegelsteine" (Natursteinquader mit einer Kantenlänge von 80*60*60 cm) und dahinter angeordneten Stützsteinen (Natursteinquader mit einer Kantenlänge von 0,6*0,4*0,4 cm) hergestellt. Letztere dienen der Sicherung der Lagestabilität bei höheren Strömungskräften und verhindern somit das Umkippen der Riegelsteine. Beide Steinreihen werden auf einer Lage von bruchgesprengtem Natursteinmaterial mit einer Korngröße von 0-500 mm gebettet. Um zu verhindern das große Einzelsteine des bruchgesprengten Natursteinmaterial in dem weichen Boden einsinken und somit die Gründung der Riegel nicht mehr gegeben ist, ist die Natursteinbettung gemäß Bodengutachten [2] auf einem Geotextil GRK4 einzubauen. Dieses ist auf der Oberseite mindestens 0,5 m einzuschlagen und zu verfüllen.

Im Folgenden wird nachgewiesen, dass sowohl die angeströmten Natursteinquader als auch das bruchgesprengte Natursteinmaterial bei den auftretenden Fließgeschwindigkeiten lagestabil sind und Erosion oder Kippen verhindern wird.

4.3.2.1 Nachweis der Lagestabilität der Einzelsteine

Der Nachweis der Einzelsteine erfolgt über das Verfahren nach Gebler. Es wird ein Vergleich der einwirkenden Kräfte, die durch die Fließbewegung des Wassers verursacht werden, mit den Widerstandskräften, resultierend aus der Gewichtskraft des Steins, aufgestellt (Abbildung 21). Anhang C sind die Fließgeschwindigkeiten der Hochwasserabflüsse im Raugerinne zu entnehmen. Demzufolge tritt die höchste Fließgeschwindigkeit bei einem HQ_5, bei Riegel 31 mit v = 1,95 m/s auf. Zur Sicherheit wird diese aufgerundet auf 2,0 m/s.

Tabelle 5: Zusammenstellung der erforderlichen Rechenwerte zur Berechnung der Einzelsteine

Kürzel	**Bedeutung**	**Wert**
b	Steinbreite	0,60 m
h_{ges}	gesamte Steinhöhe	0,80 m
$h_{angeströmt}$	angeströmte Steinhöhe	0,60 m
t	Steintiefe	0,60 m
ρs	Gesteinsdichte	2.500 kg/m³
ρw	Wasserdichte	1.000 kg/m³
v	Fließgeschwindigkeit[1]	2,0 m/s
cw	Widerstandsbeiwert	1,2

[1] gewählt: maximale Fließgeschwindigkeit bei HQ_{100} bei Riegel 1

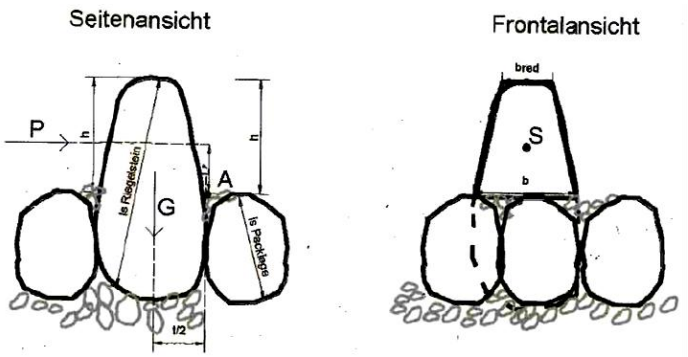

Abbildung 21: Schematische Ansicht der einwirkenden Kräfte auf den Einzelstein

Die Gewichtskraft G des Steines unter Auftrieb errechnet sich mit nachstehender Formel zu **2.969 N**.

$$G = (\rho s - \rho w) * g * Vs$$

mit $\mathrm{VS} = 0{,}7 * \mathrm{h_{ges}} * \mathrm{b} * \mathrm{t} = 0{,}2\ \mathrm{m}^3$

Der entsprechende Hebelarm L_G ergibt sich als t/2 zu **0,3 m**.

Dem gegenüber steht die angreifende Strömungskraft P mit **864 N.**

$$P = \frac{1}{2} * cw * \rho w * As * v^2$$

mit $\mathrm{AS} = \mathrm{h_{angeströmt}} * \mathrm{b}\ [\mathrm{m}^2]$

Der Hebelarm L_P ergibt sich als $h_{angeströmt}/2$ zu **0,3 m**.

Der maßgebende Widerstandsgrad η ergibt sich nach folgender Formel, als Verhältnis des Momentes der Gewichtskraft zum Moment der Strömungskraft:

$$\eta = \frac{\mathrm{G} \cdot \mathrm{L_G}}{\mathrm{P} \cdot \mathrm{L_P}} \geq 1$$

Im vorliegenden Fall ergibt sich die Gleichung zu:

$$\eta = \frac{2943 \cdot 0{,}3}{864 * 0{,}3} 3{,}4 = \geq 1$$

Dies bedeutet, dass der gewählte Einzelstein (0,6 x 0,6 x 0,8 m) genügend Gewichtskraft gegen die höchste auftretende Strömungskraft der Werse aufbringt. Somit ist eine ausreichende Standsicherheit gegeben. Es sind großzügige Sicherheiten vorhanden, um Materialmängel bei der Ausführung (bspw. Kantenlängen unterschritten, brüchiges Material) aufzufangen.

4.3.2.2 Nachweis Lagestabilität des bruchgesprengten Natursteinmaterials (Bettung)

Die Bettung bezeichnet die Schicht Natursteinmaterial, auf denen die Riegelsteine aufgesetzt werden. Diese muss den Erosionskräften der turbulenten Strömung standhalten und sichert so die Standsicherheit der Riegel. Dazu wird der erforderliche Korndurchmesser der Steinschüttung nach dem Ansatz von PALT und DITTRICH berechnet:

$$\mathrm{d65} = \left\{ \frac{\mathrm{q}krit \cdot \mathrm{IR}^{1,25}}{0{,}093 \cdot \sqrt{\mathrm{g} \cdot \frac{\rho s - \rho w}{\rho w}}} \right\}^{2/3} \qquad (1)$$

mit:

$$\mathrm{q}krit = \frac{Q_{Bem}}{b} = \frac{168{,}88\ m^3/s}{15\ m} = 11{,}26\ \frac{m^3/s}{\mathrm{m}} \qquad (2)$$

$\mathrm{q}krit$	kritischer Abfluss $\frac{m^3/s}{\mathrm{m}}$
$\mathrm{QBem} = 168{,}88$[2]	Bemessungsabfluss $[\frac{\mathrm{m}^3}{\mathrm{s}}]$
$\mathrm{I}R = 0{,}0087$	Rampenneigung [-]
$\rho w = 1000$	Dichte Wasser $[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}]$

[2] gewählt: HQ_{100}; Anmerkung: der Gesamtabfluss wird aufgrund vorzeitiger Ausuferung an des Raugerinnes nicht auftreten; der Ansatz wird zur sicheren Seite hin gewählt

$\rho s = 2000$ Dichte Steinmaterial $[\frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^3}]$

Die größten maßgebenden Abflüsse treten auf bei einem HQ_{100} mit 168,88 m³/s. Die kleinste benetzte Breite liegt mit 15 m in der Sohle des Brückenquerschnittes der Brücke Avendruper Straße vor. Zur sicheren Seite hin wird angenommen, dass der gesamte Abfluss des HQ_{100} diesen schmalen Querschnitt passiert. Tatsächlich liegt der Abflussanteil im Brückenquerschnitt deutlich geringer, da wesentliche Anteile des Abflusses bei diesem Ereignis auch über das Vorland sowie über den verfüllten Bestandsverlauf abgeführt werden. Es ergibt sich ein kritischer Abfluss von 11,26 m³/s/m.

Der erforderliche Korndurchmesser für 65 % Siebdurchgang (d_{65}) für das gewählte Material ergibt sich gemäß der Formel (1) zu **23 cm**. Diese Anforderung kann mit bruchgesprengtem Natursteinmaterial mit einer Korngröße von 0/500 eingehalten werden. Im Zuge der Leistungsbeschreibung sind die entsprechenden Anforderungen aufzunehmen (z. B. Sieblinie oder Anlieferung und Abstimmung des zu verwendenden Materials). Aufgrund der hier großzügig vorhandenen Sicherheiten kann bei ausreichender Erfahrung der Bauleitung und des Unternehmens auf gesiebtes Material verzichtet werden. Plattiges Material darf nicht verwendet werden.

Dieser Nachweis der Lagestabilität ist gleichermaßen auch für die anderen Bereiche gültig, in denen bruchgesprengtes Natursteinmaterial mit Körnung 0/500 eingebaut wird, wie z. B. der Erosionsschutz auf dem teilverfüllten Bestandsverlauf.

4.3.3 Verfüllung Bestandsverlauf (siehe Anlage 6)

Der parallel zum neuen Gerinne liegende Bestandsverlauf ist hydraulisch nur noch für Hochwasserabflüsse relevant. Eine Beschickung der Turbine erfolgt nicht mehr. Zur Verwertung des Bodenaushubs wird der Bestandsverlauf daher auf einer Länge von rd. 150 m teilverfüllt auf 44,50 NHN(m) am oberwasserseitigen Beginn der Verfüllung. Auf diese Weise erfolgt eine

Beschickung ab ca. Q_{330}. Für die Verfüllung wird möglichst schluffiger Boden verwendet, welcher nur wenig geeignet ist für einen Einbau an anderen Stellen und dessen Entsorgung somit teurer ausfallen würde. Mittig wird die Verfüllung tiefer ausgeführt, um eine Rinnenartige Struktur anzulegen, in der sich bei einer ablaufenden Hochwasserwelle der Abfluss sammelt. Diese Rinne wird flach geneigt in Richtung Unterwasser ausgeführt. Die Höhe beträgt vor der Brücke der Wehranlage 44,00 NHN(m). Somit wird die Gefahr von sich bildenden Gumpen/Senken ohne Abflussmöglichkeit (Fischfallen) vermieden, Fische haben eine bessere Möglichkeit, die Verfüllung in Richtung Unterwasser aufgrund der hier höheren Wassertiefe zu verlassen. Zur Verhinderung von rückschreitender Erosion wird die Verfüllung auf einer Schichtstärke von 50 cm mit bruchgesprengtem Natursteinmaterial 0/500 (siehe Kapitel 4.3.2.2 zum Nachweis der Lagestabilität) gesichert. Ebenso die oberwasserseitige Böschung am Beginn der Verfüllung, um Erosion und damit verbundene Uferabbrüche (Prallhang) aufgrund der hierzu günstigen Lage in der neuen Außenkurve zu vermeiden. Am Beginn der Verfüllung wird das Steinmaterial am höchsten Punkt zusätzlich auf einer Länge von ca. 1,5 m in Beton C16/20 gesichert. Darauf folgt zur Begrünung mit einer Rasenansaat eine 10 cm starke Schicht Oberboden.

Die Böschung im oberwasserseitigen Beginn der Verfüllung wird zur Vermeidung von Ausspülungen ebenfalls mit Natursteinmaterial gesichert. Das Gerinne des hier linksseitig ankommenden Gewässers wird über die Teilverfüllung um wenige Meter mit identischer Profilgeometrie und Sohlgefälle weitergeführt und mündet weiterhin offen in die Werse.

Die Stauklappe wird entfernt. Vorhandene und nicht mehr erforderliche Öffnungen / Hohlräume in der Stahlbetonkonstruktion der Wehranlage (z. B. des Hydraulikantriebs) werden mit Verdämmer verfüllt. Ebenso der Pegelschacht. Der Wehrkanal wird mit bruchgesprengtem Material 0/500 mit einer Neigung von 1 : 7,5 verfüllt, um die Höhendifferenz zum Mühlenkolk abzubauen. Die Zahnendschwellen bleiben bestehen zur besseren Verzahnung der Aufschüttung mit der glatten Betonoberfläche. Zur Verhinderung

einer dauerhaften Vernässung der Sohle des Wehrkanals wird vor diesem ein Drainagefilter aus einem Sandkiesgemisch 0/32 vorgesetzt.

Der Stahlbeton sowohl des Brückenpfeilers sowie der Wände und der Sohle des Wehrkanals wird vor der Verfüllung von dauerhaft schädlichen Vermoosungen gereinigt. Anschließend wird eine zusätzliche Schicht Beton aufgetragen, um etwaige Karbonatisierungen oder Schwachstellen zu beheben und die Dauerhaftigkeit des Stahlbetons maßgeblich zu erhöhen. Weitere Maßnahmen sind aufgrund der sehr guten Betongüte nicht erforderlich. Analog zur Betonsanierung im Wehrkanal wird das Widerlager des Brückenpfeilers der Kamillusbrücke vor Verfüllung ebenfalls gereinigt und abgedichtet.

Sowohl Turbinenauslauf als auch beide Turbineneinläufe werden nach Rückbau der Rechen verdämmt mit 36,5er Mauerwerk inkl. Abdichtung. Der Auslaufkanal wird zusätzlich vorher mit Beton verfüllt.

Der rechtsseitig vorhandene Steuerkasten wird zurückgebaut.

4.3.4 Brücke Avendruper Straße (siehe Anlage 7)

Zur Aufrechterhaltung der Wegeverbindung wird für die Avendruper Straße eine Brücke über das Raugerinne errichtet. Die Brücke ist als Fuß- und Radwegebrücke konstruiert. Die lichte Spannweite beträgt 15 m. In Abstimmung mit der zuständigen Fachstelle der Stadt Münster wird die maximale Verkehrslast auf 5t (resultierend aus Unterhaltungsfahrzeugen) festgelegt.

Der Oberbau wird als Stahlträgerkonstruktion (z. B. HEB300) mit einem Belag aus GFK-Bohlen hergestellt. Das Gelände wird als Füllstabgeländer gemäß ZTV-Ing, Höhe 1,3 m (orientierend an BAST, Richtzeichnung GEL4) ausgeführt. Der Korrosionsschutz erfolgt gemäß ZTV-Ing. Die Widerlager werden in Stahlbeton ausgeführt mit einer Unterkante von 50 cm unter der Gewässersohle. Die lichte Breite der Brücke beträgt 3 m.

Die Gewässersohle wird mit bruchsteinmaterial gegen Erosion, Auskolkungen und Freispülen des Widerlagers gesichert.

Gemäß [2] steht ein ausreichend tragfähiger Boden erst ab ca. 6 m Tiefe liegenden Mergel an. Die Gründung erfolgt daher als Tiefengründung über Rammpfähle.

Die hier vorhandenen Versorgungsleitungen (Glasfaser, Strom) sind für die Maßnahme zu verlegen (unter dem Gewässer oder an der Brücke befestigt).

Die Entwurfszeichnung der Brücke ist Anlage 7 zu entnehmen.

4.3.4.1 Freibord

Die DIN 19661 empfiehlt ein Freibordmaß von 0,5 m zum Bemessungswasserstand HW_{100}. Dieser Wasserstand liegt im Bestand bei ca. 45,70 NHN(m) und somit rd. 1,4 m über dem vorhandenen Geländeniveau der Avendruper Straße im Bestand. Die KUK der Brücke wäre somit anzulegen auf 46,20 NHN(m). Bei einer Höhe des Oberbaus von ca. 50 cm (ca. 30 cm Stahlträger + 20 cm für Träger- und Belagbohle) ergibt sich eine Brückenoberkante von ca. 46,70 NHN(m). Die Avendruper Straße liegt im Bestand bei GOK = 44,33 NHN(m). Zum Anschluss der Avendruper Straße an die Brücke wäre die Straße um rd. 2,4 m zu erhöhen. Dies müsste über eine Anrampung geschehen, welche barrierefrei mit einer Neigung von 4% anzulegen ist.

Im Hydraulikmodell wird eine Anrampung wie folgt simuliert:

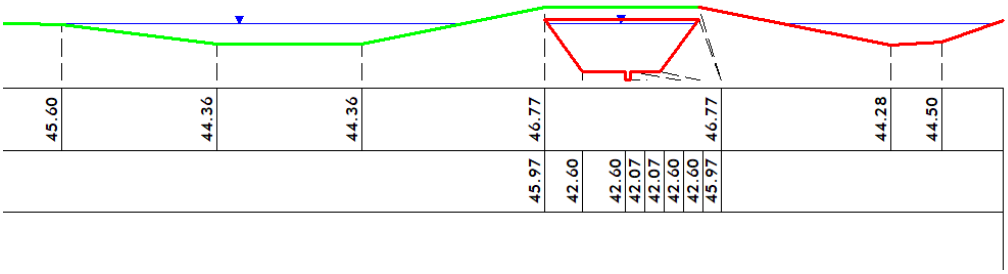

Abbildung 22: Abbildung einer möglichen Anrampung der Avendruper Straße an eine hochliegende Brücke mit Freibord von 50 cm

Bei Anrampung der Avendruper Straße bis auf die erforderliche Höhe von 46,70 NHN(m) wird somit auf großer Länge ein Querriegel innerhalb der Flutmulde hergestellt, welcher bis auf die Brückenöffnung nicht „durchflossen" werden kann. Der Abflussquerschnitt der Flutmulde wird signifikant verschlechtert. Die Hochwasserspiegellage beträgt in diesem Fall am obersten Riegel (Nr. 38) 45,92 NHN(m) und liegt mit 16 cm deutlich über dem HW_{100} im Istzustand von 45,76 NHN(m).

Alternativ hierzu wird simuliert, die Brücke höhengleich an die Avendruper Straße anzuschließen. In diesem Fall wird die Brücke bei Hochwasserereignissen angeströmt. Der Oberbau der Brücke inkl. Geländer ist in dem Fall gegen Anströmung zu sichern. Die resultierende Wasserlast ist statisch zu berücksichtigen. Das Füllstabgeländer als Fließhindernis wird über den Fließwert nach Manning-Stricker von k_{st} = 10 (dichter Auwald) hydraulisch berücksichtigt. Im Ergebnis liegt der Wasserstand HW_{100} am obersten Riegel bei 45,82 NHN(m) und somit 6 cm über dem Bestandswasserspiegel von 45,76 NHN(m).

Die Fließgeschwindigkeiten sind auch im Hochwasserfall vergleichsweise gering. Die aus einer Anströmung der Brücke inkl. Geländer entstehenden Wasserdrucklast ist daher moderat und kann über konstruktive und statische Maßnahmen schadlos aufgefangen werden. Da zudem eine

Wasserspiegellagenerhöhung um 16 cm, wie bei der Variante der Brücke mit Freibord, vom Unterzeichnenden als zu signifikant eingeschätzt wird (Verschlechterung der Hochwassersituation), wird die höhengleiche Variante ohne Freibord umgesetzt. Bei dieser liegt die Erhöhung der Wasserspiegellagen bei lediglich 6 cm am obersten Riegel, der Abflussquerschnitt ist insgesamt leistungsfähiger. Die Abweichung von der Empfehlung der DIN (Freibord von 50 cm) wird durch die erforderlichen konstruktiven Maßnahmen kompensiert.

Die Brücke wird hochwasserangepasst ausgeführt. Auf einen Mittelpfeiler als potenzielles Fließhindernis wird verzichtet. Die Gefahr der Verklausung wird somit verringert. Der Lastfall „Anströmung im Hochwasserfall" wird in der Tragwerksplanung berücksichtigt, die Widerlager werden gegen Horizontalkräfte aus Anströmung ausgeführt.

4.3.5 Sachverhalt Gewässerverlauf

Der Abfluss der Werse erfolgt nach Umsetzung der Maßnahme bis ca. Q_{330} vollständig und dauerhaft über das neu angelegte Gerinne. Erst bei Abflüssen ab Q_{330} erfolgt ein zusätzlicher Abschlag in den teilverfüllten Bestandsverlauf. Dieser Abschlag in den Bestandsverlauf ist deutlich geringer als der Abfluss über das Neugerinne. Es wird lediglich zusätzlicher Abflussquerschnitt für hohe Abflüsse zur Verfügung gestellt, ohne den die Maßnahme aus Gründen des Hochwasserschutzes nicht genehmigungsfähig wäre. Der teilverfüllte Bestandsverlauf fungiert somit nur noch als Hochwasserabschlag oder auch Flutmulde/Flutrinne.

Das neu angelegte Gerinne, welches gleichzeitig als Raugerinne in Riegel-Beckenbauweise ausgeführt ist, fungiert hingegen als neuer Hauptverlauf der Werse. Hierdurch wird zugleich der Fischaufstieg in den Hauptschluss gelegt. Die Planung entspricht somit Kapitel 4.2.1 der Variante 2 Sohlgleite im Hauptschluss. Dies ist bei den vorhandenen Restriktionen die ökologisch bestmögliche Variante.

4.3.6 Löschwasserentnahme (Anlage 8)

Die Löschwasserentnahme erfolgt im Bestand oberhalb des Wehrkanals an der linken Seite. Da der Bereich durch die Maßnahme verfüllt wird, ist eine Verlegung der Löschwasserentnahme erforderlich. Diese erfolgt in Abstimmung mit dem Eigentümer zukünftig vom linken Ufer des Mühlenkolks im Bereich des zu verdämmenden Turbinenauslasses.

Die Löschwasserentnahme erfolgt gemäß DIN14210 und 14244 in Form eines Saugrohrs DN125, welches auf Einzelfundamenten in der Böschung des Mühlenkolks zum Betriebshof führt. Die Saugstelle wird mit Saugkorb und wasserdichter Membran zur Herstellung der Frostsicherheit hergestellt. Der Korb wird auf das Niveau von 41,00 NHN(m) und somit 75 cm unter den niedrigsten Bemessungswasserstand unter Berücksichtigung der Absenkung der Havichhorster Mühle gelegt.

4.3.7 Bewuchs/Vorländer, Unterhaltung

Die zwischen dem Bestandsverlauf und dem neuen Verlauf vorhandene Remise liegt unmittelbar vor dem rechten Widerlager der Kamillusbrücke und dem höher liegenden Wendehammer in derselben Flucht. Die letztgenannten Objekte stellen die deutlich größeren Fließhindernisse dar. Ein Rückbau der Remise ist daher nicht erforderlich, sodass diese erhalten bleibt.

Oberwasserseitig der Remise, ebenfalls zwischen Bestandsverlauf und neuem Gerinne wird auf einem kleineren Bereich ein Auwald (Riegel 21 – 23), reihig, angepflanzt. Darüber hinaus erfolgt in den südlichen Bereichen linksseitig (Riegel 23 – 27) die reihige Bepflanzung mit Solitärstämmen zur Verbesserung der Beschattung sowie im nördlichen Bereich rechtsseitig (Riegel 3 und 4).

Der rechtsseitige Vorlandbereich wird mit einer Rasenmischung eingesät und als Feuchtwiese erhalten. Der nunmehr als „Flutmulde“ genutzte teilverfüllte Bestandsverlauf wird als Hochstaudenflur entwickelt. Eine Unterhaltung durch Mahd oder Beweidung dieser Flächen wird 1-2 x pro Jahr erfolgen.

Aufkommender Busch- und Strauchbewuchs sowie Großbewuchs sind zu unterbinden.

4.3.8 Kanuten

Eine Befahrung der FAA durch Kanuten wird von Seiten der Stadt nicht erlaubt. Ein entsprechender Warnhinweis wird aufgestellt. Die Ein- und Ausstiegsmöglichkeiten sind von Wassersportlern zu nutzen (siehe Anlage 9.1). Falls Kanuten entgegen dieser Regelung doch die FAA befahren, ergeben sich aufgrund der geringen Wasserspiegeldifferenzen an den Riegeln von sieben Zentimetern keine besondere Gefährdung. Es verbleibt aber das Risiko der Beckentiefe von rd. einem Meter in den Becken.

4.3.9 Bauliche Umsetzung, Bauzeit

Da die Grundwasserstände mit Flurabständen von 1,5 m oder niedriger höher sind als die geplante Aushubsohle, soll die Maßnahme in trockener Witterung im Sommer, Spätsommer bis Herbst umgesetzt werden. In diesem Zeitraum ist der Grundwasserstand am niedrigsten. Baupraktisch ist hierbei vorab ein Entwässerungsgraben anzulegen, um eine Entwässerung der Baugrube in Richtung Unterwasser auch bauzeitlich zu begünstigen. Ggf. ist im nördlichen Bereich zeitweise eine Wasserhaltung erforderlich. Grundsätzlich ist aufgrund der vergleichsweise hohen Grundwasserstände eine Erschwernis aus diesen, auch bei Berücksichtigung der genannten Maßnahmen nicht zu vermeiden, es ist damit zu rechnen, dass es zu Wassereintritten in die Baugrube kommt.

Oberwasserseitig und Unterwasserseitig wird zudem ein Damm zur Werse belassen, um das Ein- oder Rückströmen des Wersewasserstandes in die Baugrube zu verhindern.

Bei dem idealen Baubeginn im Sommer/Spätsommer ist bei den, wenn auch geringen Rodungsarbeiten, der Artenschutz zu beachten.

4.3.10 Flächenbedarf

Der Flächenbedarf sowie die Eigentumsverhältnisse der benötigen Flächen sind in Anlage 13 dargestellt.

4.3.11 Boden/ Bodenschutz

Die Maßnahmenumsetzung bedingt die Bodenbewegung von insgesamt knapp 20.000 m³ Boden und Oberboden. Davon entfallen rd. 2.600 m³ auf Oberboden, wovon rd. 700 m³ im Bestandsverlauf aufgebracht werden. Die weiteren rd. 1.900 m³ müssen abgefahren und können anderweitig verwertet werden. 4.500 m³ Bodenaushub können zur Teilverfüllung des Bestandsverlaufes verwendet werden. Ca. 2.230 m³ müssen aufgrund einer erhöhten PAK-Belastung entsorgt werden. Rd. 10.000 m³ müssen abgefahren und einer anderen Verwertung zugeführt werden. Im Zuge der Ausführung ist nach Möglichkeit darauf zu achten, den Schluff vor Ort einzubauen und aufgrund der besseren Verwertungsmöglichkeiten die sandigen Anteile abzufahren.

Im Zuge der Erarbeitung von [2] wurde ebenfalls ein Bodenschutzkonzept für die Maßnahme erstellt. Demzufolge sind folgende Maßnahmen bei der baulichen Umsetzung zu berücksichtigen:

- Baustellenverkehr muss innerhalb des neu geplanten Gewässerverlaufes erfolgen, ebenso ist die Baustraße innerhalb dieses Verlaufes anzulegen. Durch den anschließenden Aushub dieser Flächen in rückschreitender

Bauweise können aufgrund der Aushubtiefe schädliche Bodenveränderungen ausgeschlossen werden.

- Baustraßen sind zwingend erforderlich. Idealerweise lastverteilend in Form von Stahlplatten oder Baggermatratzen. Geschotterte Baustraßen sind mit einem Trennvlies zu unterlegen.
- Die Bauzeit ist in die trockene Sommerzeit zu legen.
- Bodenabtrag muss abhebend, nicht abschiebend (mit einer Raupe) erfolgen.
- Für Bodenzwischenlager ist der Oberboden zunächst abzutragen.

Die genannten Maßnahmen werden bei der Leistungsbeschreibung berücksichtigt, um den daraus entstehenden Mehraufwand eindeutig zu kommunizieren, diesen auskömmlich kalkulieren und baulich/logistisch umsetzen zu können. Eine Berücksichtigung dieser Maßnahmen in der hier vorgelegten Kostenberechnung erfolgt über die Bepreisung der Bodenaushubarbeiten.

4.3.12 Hydraulische Modellierung Planzustand

Das Vorhaben wird im Hydraulikmodell (siehe Kapitel 3.3.1) abgebildet. Hierzu werden die Riegelgeometrien aller 38 Riegel als einzelne Querprofile im Vorland der Werse manuell mit den entsprechenden Höhen und Breiten inkl. Schlitz, Böschung, Brücke Avendruper Straße etc. eingepflegt. Ebenso wird die Teilverfüllung des Bestandsverlaufes im Modell eingearbeitet. Die Rauheiten des originären Modells der BR Münster werden grundsätzlich beibehalten. Lediglich für die hinzugekommenen bzw. veränderten Geländeoberflächen, welche im Bestandsmodell nicht enthalten sind (Natursteinquader, bruchgesprengtes Natursteinmaterial, Verfüllung des Bestandsverlaufes), werden neue Rauheiten wie folgt vergeben:

- Oberfläche Natursteinquader, k_{st} = 30 $m^{1/3}/s$
- Bruchgesprengtes Natursteinmaterial, k_{st} = 25 $m^{1/3}/s$
- Verfüllung Altverlauf (Wiese), k_{st} = 30 $m^{1/3}/s$

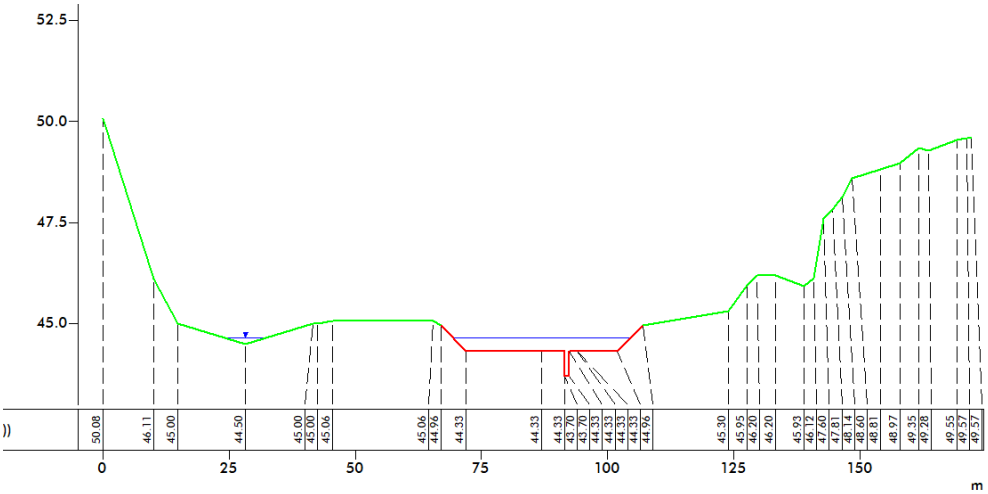

Abbildung 23: Querprofildarstellung Riegel 37 mit Teilverfüllung und W_{330}

Die Modellierung der Maßnahme im Hydraulikmodell dient lediglich dem Zweck der Ermittlung der Auswirkung der Maßnahme auf den Hochwasserabfluss. Der Nachweis der Funktionstüchtigkeit des Fischaufstieges erfolgt gemäß den separaten Berechnungen in Anhang A.

Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnung sind tabellarisch in Anhang C, sowie als hydraulischer Längsschnitt und den hydraulischen Querprofilen in Anlage 11 und Anlage 14 dargestellt.

4.3.13 Nachweis Hochwasser und Stauwasserstand

Ein Vergleich der Wasserspiegellagen kann am besten der Anlage 11, hydraulischer Längsschnitt, entnommen werden. Die Ergebnisse werden im Folgenden, bezogen sowohl auf die Absenkung des Stauwasserstandes von maximal 25 cm als auch auf die Hochwassersituation, erläutert.

4.3.13.1 Stauwasserstand

Gemäß den Berechnungen in Anhang A wird lediglich ein Abfluss von rd. 0,327 m^3/s benötigt, um den Mindeststauwasserstand von 44,37 NHN(m) (= 0,25 m unterhalb des genehmigten Stauziels) zu erreichen. Im für den Fischaufstieg maßgebenden Bemessungslastfall Q_{30} liegt ein Abfluss von rd. 0,6 m^3/s vor, bei Mittelniedrigwasser (MNQ) liegt mit 0,49 m^3/s ebenfalls ein deutlich höherer Abfluss vor. Somit wird auch bei deutlich geringeren Abflüssen das erforderliche Mindeststauziel zur Verhinderung einer nachteiligen Grundwasserstandsabsenkung erreicht. Der Erreichung des Stauwasserstandes ist sichergestellt.

4.3.13.2 Hochwasser

In Anlage 11 sind sowohl die Wasserspiegel im Istzustand des Referenzmodells (HW_{100} Bestand gelegt) sowie auch mit Wirkung der Maßnahme (HW_{100} Plan) dargestellt. Entgegen der tatsächlichen Situation wird hierbei für den Istzustand angenommen, dass die vorhandene Wehrklappe noch voll funktionstüchtig und absenkbar ist und somit im Hochwasserfall vollständig zur Maximierung des Abflussquerschnittes „gelegt" ist. Es wird zusätzlich auch die bestehende Situation mit dem auf 43,82 NHN(m) festgesetzten Wehr gerechnet (HW_{100} Bestand gesetzt).

Unterhalb der Aufstiegsanlage ergeben sich keine Veränderungen des HW_{100}-Wasserstandes. Auch für die unmittelbar unterhalb der Sudmühle, im ÜSG liegenden Objekte „Avendruper Straße 3, 5 und 7" ergibt sich keine Verschlechterung oder sonstige Veränderung der Hochwasser- oder Wasserstandssituation.

Oberhalb der Sudmühle zeigt sich im Vergleich mit dem gelegten Wehr im Planzustand am obersten Riegel eine Wasserstandserhöhung um 6 cm. Die maximale Erhöhung beträgt 9 cm bei Gew.-km 6,975. Ab diesem fällt die Wasserstandserhöhung wieder ab. Bei Gew.-km 7,328 beträgt diese nur noch 4 cm. Bei der Brücke der Sudmühlenstraße bei Gew.-km 9,381 gleichen sich die Wasserstände wieder an.

Die Wasserstandserhöhung durch das Planvorhaben für den maßgebenden Lastfall HQ_{100} liegt somit im einstelligen Bereich. Die sich aus dieser Wasserspiegelerhöhung ergebende Überflutung ist in Anlage 10, durch Verschneidung der Bestandswasserspiegellage und der Planwasserspiegellage mit dem digitalen Geländemodell dargestellt. Die Flächen sind übereinandergelegt. Die größte zusätzliche flächige Betroffenheit ergibt sich bei Gew.-km 7,0 – 7,1 im rechten Vorland oberhalb von 4 Einfamilienhäusern. Die maximale zusätzliche Ausuferungsbreite beträgt ca. 4,5 m (vgl. Abbildung 24).

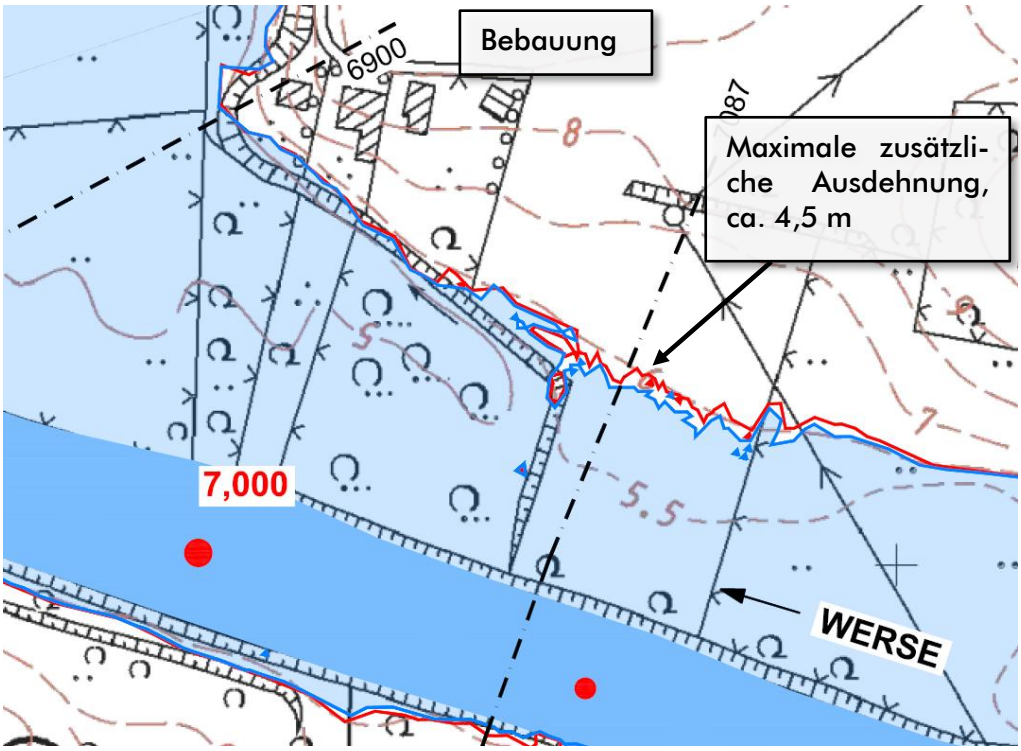

Abbildung 24: Vergleich Überflutung HQ_{100}Bestand (blaue Umrisslinie) und HQ_{100}Plan (rot transparent),

Das hier rechtsseitige Gelände steigt stark an. Die dortige Bebauung beginnt ab der Höhenlinie von 47 m über NN. $HW_{100Plan}$ liegt bei 46,02 NHN(m), es verbleibt somit ein Puffer von rd. 1 m für höhere Abflüsse. Auch bei einem HW_{Extrem} liegt der Wasserstand im Planzustand mit 46,35 NHN(m) nur gering über dem HW_{100}. Es verbleibt somit weiterhin ein komfortabler Puffer, um

auch Hochwasserereignisse mit einer statistischen Auftretenswahrscheinlichkeit seltener als 1.000 Jahre schadlos für die angrenzenden Gebäude ablaufen zu lassen (vgl. Abbildung 25).

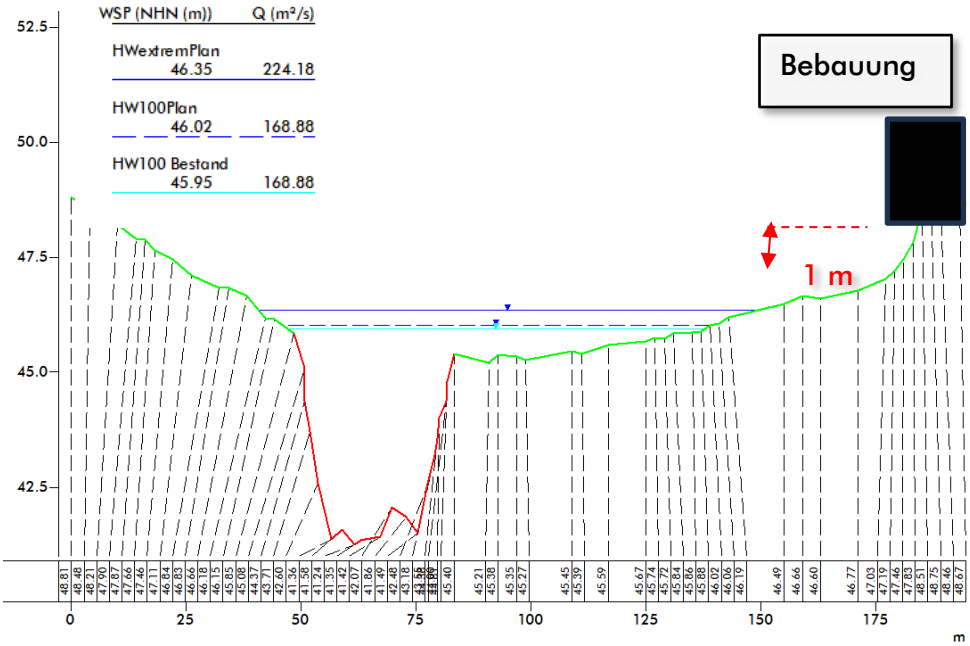

Abbildung 25: Querprofilauszug Station 7,087 mit Verortung der Bebauung

Ähnlich ist die Situation bei Gew.-km 8,0. Die Bebauung liegt hier ca. auf der Höhe von 47,00 NHN(m), eine Betroffenheit liegt nicht vor. Mit Wirkung des Planvorhabens ist der Wasserstand 3 cm höher als im Istzustand mit gelegter Wehrklappe. Eine zusätzliche Betroffenheit liegt nicht vor.

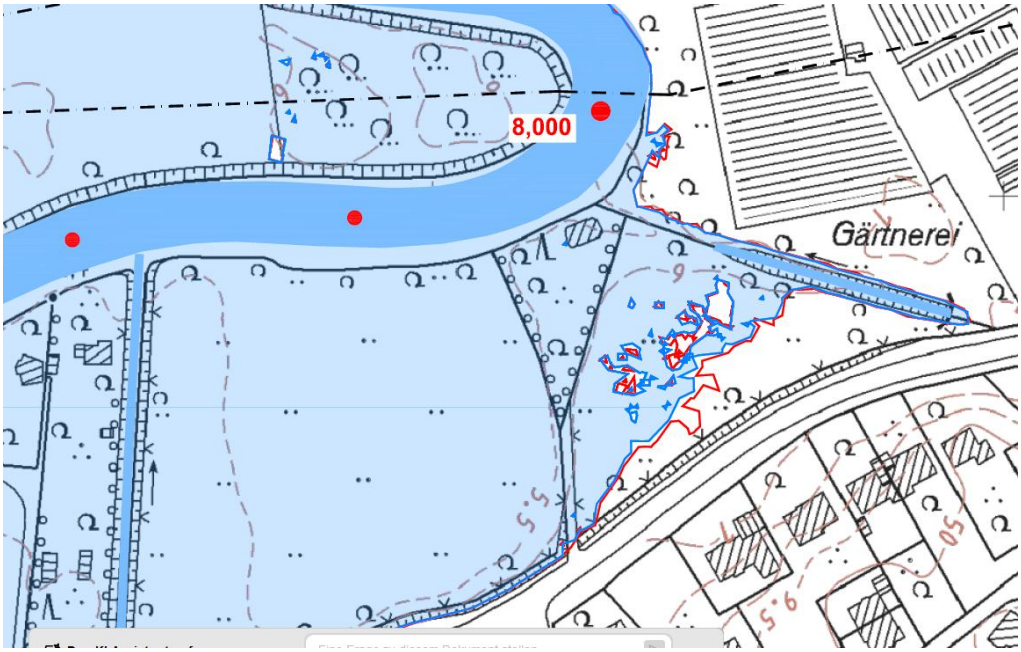

Abbildung 26: Bebauung bei Gew.-km 8,0

Eine "… Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere eine erhebliche und dauerhafte, nicht ausgleichbare Erhöhung der Hochwasserrisiken…" gemäß §68 WHG (3) liegt nach Einschätzung des Unterzeichnenden nicht vor.

Die auftretenden Erhöhungen der Wasserspiegellagen sind nicht zu vermeiden, da der Planzustand mit der planfestgestellten Anlage mit funktionstüchtiger Wehranlage verglichen werden muss. Diese kann im Hochwasserfall abgesenkt werden und somit zusätzlichen Abflussquerschnitt bereitstellen. Gleichzeitig wird für die Normalabflusszustände eine Mindeststauhöhe gehalten, um z. B. eine Grundwasserabsenkung zu vermeiden. Die Herstellung eines ökologischen Fischaufstieges mit einem natürlichen Gerinne – wie hier vorliegend – setzt eine feste Stauhöhe im Oberwasser voraus. Dies resultiert in einem Kompromiss zwischen Grundwasserstand und Hochwasserstand: Da der Grundwasserstand um maximal 25 cm abgesenkt werden darf, ist eine niedrigere feste Schwelle als geplant, nicht möglich. Dies wäre jedoch erforderlich, um Wasserspiegelerhöhungen im Hochwasserfall zu vermeiden.

5 Kosten

Die Gesamtkosten der Maßnahme sind in einer Kostenberechnung (siehe Anhang D) ermittelt. Die EP beruhen auf umfangreichen Erfahrungswerten bereits umgesetzter Maßnahmen dieser Art in den vergangenen Jahren sowie auf aktuellen Baupreisen gemäß DBD-Baupreise (Stand 2024).

Hinsichtlich der Bepreisung des Bodens wird davon ausgegangen, dass die sandigen Anteile teilweise getrennt werden können und diese günstiger einer Verwertung zugeführt werden können als die schluffigeren Anteile. Letztere sollen daher auch für die Verfüllung des Bestandsverlaufes genutzt werden. Hier verbleibt eine Unsicherheit, da die exakte Verbringung/Verwertung der Böden sowie die tatsächliche Eignung zum Wiedereinbau erst mit Verifizierung des Bodengutachtens durch eine erneute Analyse im Zuge der Erstellung des Leistungsverzeichnisses abgestimmt werden kann.

Die Bruttogesamtkosten der Maßnahme belaufen sich auf 2.553.014,10 € (netto 2.145.390 €).

Die Baunebenkosten betragen Netto rd. 255.000 €. Die Baukosten belaufen sich auf Netto rd. 1.890.390 €.

6 Wasserrechtsantrag

Das ursprüngliche Staurecht zum Aufstau der Werse an der Sudmühle auf die nach wie vor gültige Stauhöhe von 44,62 NHN(m) wurde am 15.5.1972 durch das RP Münster planfestgestellt. Das Recht wurde in den Folgejahren auf die Nachnutzer der Mühle übertragen. Nunmehr ist der Eigentümer Inhaber des Staurechtes. Der Betrieb der Wasserkraftanlage an der Sudmühle durch den Eigentümer wird aufgegeben. Der Aufstau ist aus betrieblichen Gründen nicht mehr erforderlich. Das Staurecht wird ebenfalls aufgegeben. Mit der hiermit vorgelegten Maßnahmenplanung erfolgt ein Ersatz hin zu einem dauerhaften Aufstau der Werse auf 44,37 NHN(m) in Form eines Raugerinnes in Riegel-Beckenbauweise. Diese Maßnahme stellt die Durchgängigkeit der Wehranlage Sudmühle für Fische und Makrozoobenthos wieder her. Der Umfang und die Auswirkungen des Vorhabens sind dem vorliegenden Bericht und den Plänen zu entnehmen. Es sind keine nachteiligen Auswirkungen für Unter-, An- oder Oberlieger zu erwarten. Der ökologische Zustand der Werse wird durch die Maßnahmen signifikant verbessert. Die derzeitig vorhandene Verschlechterung der Hochwassersituation durch die temporäre Staufeststellung wird durch die Maßnahme behoben.

Hiermit beantragt die Stadt Münster gemäß § 68 WHG die Umgestaltung der Werse an der Stauanlage Sudmühle gemäß den beigefügten Unterlagen.

7 Zusammenfassung

Die Stadt Münster beabsichtigt die Wiederherstellung der Durchgängigkeit an der Wehranlage der Sudmühle an der Werse. Der vorhandene Wasserkraftsbetrieb durch den Eigentümer wird aufgegeben, ebenso das damit verbundene Staurecht. Aus vorherigen Untersuchungen wurde die Verfüllung des Bestandsverlaufes sowie Neuanlage eines fischdurchgängigen Gerinnes im rechten Vorland als Zielvariante herausgearbeitet. Der Unterzeichnende wurde von der Stadt Münster mit der Ausarbeitung der Entwurfs- und Genehmigungsplanung für dieses Vorhaben beauftragt, welche hiermit vorgelegt wird. Folgendes ist festzuhalten:

- Geplant ist die Anlage eines neuen Gerinnes im rechten Vorland in der dortigen Flutmulde der Werse, dieses ist für den Fischaufstieg als Raugerinne in Riegel-Beckenbauweise mit insgesamt 38 Riegeln ausgeführt. Der Fischaufstieg erfolgt somit in Form eines Raugerinnes im Hauptschluss.

- Dieses Gerinne bildet den neuen Hauptlauf der Werse und wird dauerhaft beschickt.

- Die Oberkante des obersten Riegels liegt auf 44,37 NHN(m) und staut die Werse auch bei Niedrigwasser auf mindestens diesen Wasserstand. Gegenüber dem genehmigten Staurecht von 44,62 NHN(m) wird der Wasserstand um maximal 25 cm abgesenkt. Eine größere Wasserstandsabsenkung ist aufgrund der negativen Auswirkung auf den

Grundwasserstand und der damit verbundenen Beeinträchtigung oberhalb liegender Biotope nicht möglich.

- Der Betrieb der WKA sowie das Staurecht durch den Eigentümer werden aufgegeben.

- Der Bestandsverlauf der Werse im Bereich der Wehranlage wird teilverfüllt und ab einem Abfluss von ca. Q_{330} mit einem Abschlag des Werseabflusses beschickt und fungiert zukünftig als Flutrinne/Flutmulde.

- Zur Aufrechterhaltung der Wegeverbindung wird für die Avendruper Straße eine Fuß- und Radwegebrücke über das neue Gerinne als Stahlträgerkonstruktion mit Belag aus GFK-Bohlen errichtet. Die Gründung erfolgt als Tiefengründung.

- Das Raugerinne wird großzügig mit Strukturelementen ausgestattet. Die Ufer werden reihig mit Solitärstämmen zur Beschattung bepflanzt. In einem Teilbereich wird ein Auwald initiiert, die verbleibenden größeren Anteile werden als Blühwiese eingesäät.

- Die Vorländer sowie der verfüllte Bestandsverlauf (Flutmulde) sind 1-2x pro Jahr durch Mahd oder Beweidung zu unterhalten. Busch- und Strauchbewuchs sowie Großbewuchs sind zu unterbinden.

- Die vorhandene Trinkwasserleitung der Stadtwerke Münster wird mit ausreichend Höhe gequert, Anpassungsarbeiten an der Trinkwasserleitung sind nicht erforderlich.

- Die Befahrung des neuen Gerinnes durch Kanuten wird untersagt. Ober- und Unterwasserseitig sind Kanueinstiege vorgesehen.

- Die Naturschutzfachliche Belange sind im beigefügten LBP abgearbeitet.

- Kosten sind in einer Kostenberechnung erfasst und belaufen sich auf bruttogesamt ca. 2.553.000 €

- Maßnahmen des Bodenschutzes sind benannt

- Aus Gründen der Wasserhaltung und des Bodenschutzes erfolgt die Umsetzung der Maßnahme im Sommer bis Spätsommer/Herbst während einer trockenen Witterung. Die im geringen Umfang erforderlichen Rodungsarbeiten sind vorzuziehen.

Die Stadt Münster beantragt die Umgestaltung der Werse an der Sudmühle nach §68 WHG gemäß der hiermit vorgelegten Planunterlagen und Erläuterungen. Negative Auswirkungen auf Ökologie, auf die Hochwassersituation oder sonstige Aspekte liegen nicht vor. Die Maßnahme stellt die ökologische Durchgängigkeit an der Sudmühle wieder her und trägt wesentlich zur Verbesserung des ökologischen Zustandes bei.

Aufgestellt:	Bearbeitet:
Stadt Münster, Tiefbauamt, 30.04.2025	Minden, 30.04.2025
Kopietz	Wehe

8 Quellenangabe

[1] „ENTWICKLUNG DER UNTEREN WERSE IM STADTGEBIET MÜNSTER UNTER BESONDERER BERÜCKSICHTIGUNG DER DREI MÜHLENSTANDORTE HAVICHHORSTER MÜHLE, SUDMÜHLE, PLEISTERMÜHLE“ – MACHBARKEITSSTUDIE [STADT MÜNSTER, OKTOBER 2018]

[2] BAUMAßNAHME WERSE SUDMÜHLE ORGANISMENAUFSTIEG, BAUGRUNDUNTERSUCHUNG UND GEOTECHNISCHER BERICHT – [DIPL.-ING KARL UMPFENBACH, NOVEMBER 2023]

[3] ENTWICKLUNG DER UNTEREN WERSE IM STADTGEBIET MÜNSTER, EDV-GESTÜTZTE HYDROGEOLOGISCHE VARIANTENBETRACHTUNG ZUR AUSWIRKUNG DER GEPLANTEN STAUZIELÄNDERUNGEN IM BEREICH SUDMÜHLE UND HAVICHHORSTER MÜHLE IM BEREICH DER WASSERGEWINNUNGSANLAGEN HORNHEIDE-HASKENAU DER STADTNETZE MÜNSTER GMBH [STADT MÜNSTER, SEPTEMBER 2021]

[4] ERLASS „SOHLGLEITEN UND FISCHAUFSTIEGSANLAGEN; BEMESSUNG UND UNTERHALTUNG“ VOM 27.10.2012 [MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN]

[5] ERLASS „DURCHGÄNGIGKEIT GEWÄSSER“ VOM 26.6.2012 [MINISTERIUM FÜR KLIMASCHUTZ, UMWELT, LANDWIRTSCHAFT, NATUR- UND VERBRAUCHERSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN]

Anhang

Anhang A	Dimensionierung und Nachweis Fischaufstieg
Anhang B	Nachweis Leistungsdichte
Anhang C	Berechnungsergebnisse Hydraulik im Raugerinne
Anhang D	Kostenberechnung

Anhang A – Dimensionierung und Nachweis Fischaufstieg

Dimensionierung und Nachweis von Riegelrampen und Schlitzen (mit Schwelle in Schlitzen)

Programmiert: Wolfgang Kleef, Regierungspräsidium Darmstadt
Version 1.3 Berücksichtigung M509

Projekt: Umgestaltung Stauanlage Sudmühle
Variante: 01.2 Raugerinne in Beckenbauweise, Q30, Bemessung, Stand 22.01.2025, dh=0,07 m
Planer: Wehe

Eingabewerte:

Länge über alle Riegel [m]	300	
Anzahl Riegel [-]	38	
Sohle Oberwasser, gesamt [müNN]	43,77	
Sohle Unterwasser, gesamt [müNN]	41,22	
WSP OW [müNN]	44,37	Stauziel abzgl. 0,25 m
WSP UW [müNN]	41,75	gemessen abzgl 0,25 m
Riegelhöhe [m]	0,6	min 0,53
Summe Schlitzbreite je Riegel [m]	0,9	0,6
Schwellehöhe im Schlitz [m]	0	
Breite der Schlitzschwelle [m]	0,6	
Dicke Riegel [m]	0,6	
Gerinne, Sohlbreite [m]	21	gew
äquival. Steindurchm. unterh. Schlitz ds [m]	0,2	
Böschungsneigung [h/b] **1:**	3	gew
Faktor Spaltverluste f	1,1	

Gesamt Δh WSP [m]	2,62			
durchschn. Δh [m]	0,0689			
Neigung Rampensohle [m/m]	0,009	**117,6**	**= 1:**	**117,65**
			= [%]	**0,85**
$\Delta h_{ges.}$ aus Berechnungszeilen:	**2,620**			
Beckenbreite auf Höhe OK Riegel [m]:	**24,60**			
Leitströmung [m/s]:	**1,17**			
Mindestversatz der Schlitzöffnungen [m]:	**1,80**			
Mindestbreite des Wasserspiegels [m]:	**4,50**			
Mindestbeckenlänge (bei Q330) [m]:	**3,45**			

μ	Riegelmaterial
0,5-0,6 (DVWK 232)	breite, scharfkantige Steine, gebrochenes Material
~0,65 (DWA M509 Entwurf)	breite, scharfkantige Steine, gebrochenes Material
0,6-0,8	abgerundete Steine, z.B. Feldsteine
0,55	Wert bei Schlitz ohne Schwelle

Faktor f für Spaltverluste am Riegel
1,05-1,1 bei Riegelsteinen mit geraden Bruchflächen, gut aneinander gefügt
1,15-1,25 bei runden Riegelsteinen oder sehr unregelmäßigen Bruchkanten

Eingabefeld	
Ausgabefeld, keine Eingaben !!	

Berechnungsergebnisse und Eingaben zum Riegel und den Verhältnissen am Riegel

Riegel-Nr v.oben (unter-ster R.: 1)	Station [m]	Sohl-höhe oberh. [müNN]	Sohl-höhe unterh. [müNN]	Riegel-krone [müNN]	μ Riegel-krone	Summe Breite Riegel-krone [m]	OK Schlitz-schw-elle [mü NN]	μ Schlitzs chwelle	WSP OW [mü NN]	WSP UW [mü NN]	hü Schlitz schwel le [m]	hu Schlitzsc hwelle [m]	h_{eff} unterh. Schlitz	hü Schlitzs ohle [m]	hu Schlitzso hle [m]	Grenz-tiefe h_{gr} [m]	$h_u > h_{gr}$?	Δh [m]	σ Schlit zsch welle	σ Schlit zssohl e	σ Riegelk rone	Q Über-fall Riegel-krone [m^3/s]	Qges [m^3/s]	v_{max} im Schl-itz [m/s]
38	299,40	43,77	43,76	44,37	0,6	0,00	43,77	0,6	44,37	44,34	0,60	0,57	0,55	0,60	0,58	0,24	okay	0,030	0,43	0,37	1,00	0,00	**0,327**	0,77
37	291,31	43,70	43,70	44,3012	0,6	0,00	43,70	0,6	44,34	44,27	0,64	0,57	0,55	0,64	0,57	0,36	okay	0,070	0,72	0,69	1,00	0,00	**0,620**	1,17
36	283,22	43,63	43,63	44,23	0,6	0,00	43,63	0,6	44,27	44,20	0,64	0,57	0,55	0,64	0,57	0,36	okay	0,070	0,72	0,69	1,00	0,00	**0,619**	1,17
35	275,12	43,56	43,56	44,1637	0,6	0,00	43,56	0,6	44,20	44,13	0,64	0,57	0,55	0,64	0,57	0,36	okay	0,070	0,72	0,69	1,00	0,00	**0,618**	1,17
34	267,03	43,49	43,49	44,0949	0,6	0,00	43,49	0,6	44,13	44,06	0,64	0,57	0,55	0,64	0,57	0,36	okay	0,070	0,72	0,69	1,00	0,00	**0,616**	1,17
33	258,94	43,43	43,42	44,0261	0,6	0,00	43,43	0,6	44,06	43,99	0,63	0,56	0,55	0,63	0,57	0,36	okay	0,070	0,72	0,70	1,00	0,00	**0,615**	1,17
32	250,85	43,36	43,35	43,9573	0,6	0,00	43,36	0,6	43,99	43,92	0,63	0,56	0,55	0,63	0,57	0,36	okay	0,070	0,72	0,70	1,00	0,00	**0,614**	1,17
31	242,76	43,29	43,28	43,8885	0,6	0,00	43,29	0,6	43,92	43,85	0,63	0,56	0,54	0,63	0,57	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,613**	1,17
30	234,66	43,22	43,21	43,8198	0,6	0,00	43,22	0,6	43,85	43,78	0,63	0,56	0,54	0,63	0,57	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,612**	1,17

Berechnungsergebnisse und Eingaben zum Riegel und den Verhältnissen am Riegel																										Werte im Becken unterh. Riegel			
Riegel-Nr v.oben (unter-ster R.: 1)	Station [m]	Sohl-höhe oberh. [müNN]	Sohl-höhe unterh. [müNN]	Riegel-krone [müNN]	µ Riegel-krone	Summe Breite Riegel-krone [m]	OK Schlitz-schw-elle [mü NN]	µ Schlitzs-chwelle	WSP OW [mü NN]	WSP UW [mü NN]	hü Schlitz schwel le [m]	hu Schlitzsc hwelle [m]	h_{eff} unterh. Schlitz	hü Schlitzs ohle [m]	hu Schlitzso hle [m]	Grenz-tiefe h_{gr} [m]	$h_u > h_{gr}$?	Δh [m]	σ Schlit zsch welle	σ Schlit zssohl e	σ Riegelk rone	Q Über-fall Riegel-krone [m^3/s]	Qges [m^3/s]	v_{max} im Schl-itz [m/s]	P_D [W /m^3]	mittl. Was-ser-tiefe [m]	lichte Bek-ken-länge [m]	v_m im Bek-ken [m/s]
30	234,66	43,22	43,21	43,8198	0,6	0,00	43,22	0,6	43,85	43,78	0,63	0,56	0,54	0,63	0,57	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,612**	1,17	4	0,60	7,49	0,04
29	226,57	43,15	43,15	43,751	0,6	0,00	43,15	0,6	43,78	43,71	0,63	0,56	0,54	0,63	0,56	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,611**	1,17	4	0,60	7,49	0,04
28	218,48	43,08	43,08	43,6822	0,6	0,00	43,08	0,6	43,71	43,64	0,63	0,56	0,54	0,63	0,56	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,610**	1,17	4	0,59	7,49	0,04
27	210,39	43,01	43,01	43,6134	0,6	0,00	43,01	0,6	43,64	43,57	0,63	0,56	0,54	0,63	0,56	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,608**	1,17	4	0,59	7,49	0,04
26	202,30	42,94	42,94	43,5446	0,6	0,00	42,94	0,6	43,57	43,50	0,63	0,56	0,54	0,63	0,56	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,607**	1,17	4	0,59	7,49	0,05
25	194,21	42,88	42,87	43,4758	0,6	0,00	42,88	0,6	43,50	43,43	0,62	0,55	0,54	0,62	0,56	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,606**	1,17	4	0,59	7,49	0,05
24	186,11	42,81	42,80	43,4071	0,6	0,00	42,81	0,6	43,43	43,36	0,62	0,55	0,54	0,62	0,56	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,605**	1,17	4	0,59	7,49	0,05
23	178,02	42,74	42,73	43,3383	0,6	0,00	42,74	0,6	43,36	43,29	0,62	0,55	0,53	0,62	0,56	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,604**	1,17	4	0,59	7,49	0,05
22	169,93	42,67	42,66	43,2695	0,6	0,00	42,67	0,6	43,29	43,22	0,62	0,55	0,53	0,62	0,56	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,603**	1,17	4	0,59	7,49	0,05
21	161,84	42,60	42,60	43,2007	0,6	0,00	42,60	0,6	43,22	43,15	0,62	0,55	0,53	0,62	0,55	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,601**	1,17	4	0,59	7,49	0,05
20	153,75	42,53	42,53	43,1319	0,6	0,00	42,53	0,6	43,15	43,08	0,62	0,55	0,53	0,62	0,55	0,36	okay	0,070	0,73	0,70	1,00	0,00	**0,600**	1,17	4	0,59	7,49	0,05
19	145,65	42,46	42,46	43,0632	0,6	0,00	42,46	0,6	43,08	43,01	0,62	0,55	0,53	0,62	0,55	0,36	okay	0,070	0,73	0,71	1,00	0,00	**0,599**	1,17	4	0,58	7,49	0,05
18	137,56	42,39	42,39	42,9944	0,6	0,00	42,39	0,6	43,01	42,94	0,62	0,55	0,53	0,62	0,55	0,36	okay	0,070	0,73	0,71	1,00	0,00	**0,598**	1,17	4	0,58	7,49	0,05
17	129,47	42,33	42,32	42,9256	0,6	0,00	42,33	0,6	42,94	42,87	0,61	0,54	0,53	0,61	0,55	0,36	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,597**	1,17	4	0,58	7,49	0,05
16	121,38	42,26	42,25	42,8568	0,6	0,00	42,26	0,6	42,87	42,80	0,61	0,54	0,53	0,61	0,55	0,35	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,596**	1,17	4	0,58	7,49	0,05
15	113,29	42,19	42,18	42,788	0,6	0,00	42,19	0,6	42,80	42,73	0,61	0,54	0,52	0,61	0,55	0,35	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,594**	1,17	4	0,58	7,49	0,05
14	105,19	42,12	42,11	42,7193	0,6	0,00	42,12	0,6	42,73	42,66	0,61	0,54	0,52	0,61	0,55	0,35	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,593**	1,17	4	0,58	7,49	0,05
13	97,10	42,05	42,05	42,6505	0,6	0,00	42,05	0,6	42,66	42,59	0,61	0,54	0,52	0,61	0,54	0,35	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,592**	1,17	4	0,58	7,49	0,05
12	89,01	41,98	41,98	42,5817	0,6	0,00	41,98	0,6	42,59	42,52	0,61	0,54	0,52	0,61	0,54	0,35	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,591**	1,17	4	0,58	7,49	0,05
11	80,92	41,91	41,91	42,5129	0,6	0,00	41,91	0,6	42,52	42,45	0,61	0,54	0,52	0,61	0,54	0,35	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,590**	1,17	4	0,57	7,49	0,05
10	72,83	41,84	41,84	42,4441	0,6	0,00	41,84	0,6	42,45	42,38	0,61	0,54	0,52	0,61	0,54	0,35	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,589**	1,17	4	0,57	7,49	0,05
9	64,74	41,78	41,77	42,3753	0,6	0,00	41,78	0,6	42,38	42,31	0,60	0,53	0,52	0,60	0,54	0,35	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,587**	1,17	4	0,57	7,49	0,05
8	56,64	41,71	41,70	42,3066	0,6	0,00	41,71	0,6	42,31	42,24	0,60	0,53	0,52	0,60	0,54	0,35	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,586**	1,17	4	0,57	7,49	0,05
7	48,55	41,64	41,63	42,2378	0,6	0,00	41,64	0,6	42,24	42,17	0,60	0,53	0,52	0,60	0,54	0,35	okay	0,070	0,74	0,71	1,00	0,00	**0,585**	1,17	4	0,57	7,49	0,05
6	40,46	41,57	41,56	42,169	0,6	0,00	41,57	0,6	42,17	42,10	0,60	0,53	0,51	0,60	0,54	0,35	okay	0,070	0,74	0,72	1,00	0,00	**0,584**	1,17	4	0,57	7,49	0,05
5	32,37	41,50	41,50	42,1002	0,6	0,00	41,50	0,6	42,10	42,03	0,60	0,53	0,51	0,60	0,53	0,35	okay	0,070	0,74	0,72	0,00	0,00	**0,583**	1,17	4	0,57	7,49	0,05
4	24,28	41,43	41,43	42,0314	0,6	0,00	41,43	0,6	42,03	41,96	0,60	0,53	0,51	0,60	0,53	0,35	okay	0,070	0,75	0,72	0,00	0,00	**0,582**	1,17	4	0,57	7,49	0,05
3	16,18	41,36	41,36	41,9627	0,6	0,00	41,36	0,6	41,96	41,89	0,60	0,53	0,51	0,60	0,53	0,35	okay	0,070	0,75	0,72	0,00	0,00	**0,580**	1,17	4	0,56	7,49	0,05
2	8,09	41,29	41,29	41,8939	0,6	0,00	41,29	0,6	41,89	41,82	0,60	0,53	0,51	0,60	0,53	0,35	okay	0,070	0,75	0,72	0,00	0,00	**0,579**	1,17	4	0,56	7,49	0,05
1	0,00	41,23	41,22	41,8251	0,6	0,00	41,23	0,6	41,82	41,75	0,59	0,52	0,51	0,59	0,53	0,35	okay	0,070	0,75	0,72	0,00	0,00	**0,578**	1,17				

Anhang B – Nachweis Leistungsdichte

Becken														
Riegel Unterwasser	Riegel Oberwasser	A (inneres Drittel) [m^2]	Beckengröße gesamt [m^2]	A äußere zwei Drittel [m^2]	Sohlhöhe Schlitz [NHN(m)]	Sohlhöhe Becken [NHN(m)]	W30 [NHN(m)]	W330 [NHN(m)]	V_{W30} [m^3]	V_{W330} [m^3]	Q_{30} [m^3/s]	Q_{330} [m^3/s]	$p_{d,Q30}$ [W/m^3]	$p_{d,Q330}$ [W/m^3]
2	3	27	128	101	41,29	40,89	41,89	42,31	101	143,42	0,6	15,35	4,1	73,5
3	4	34	127	93	41,36	40,96	41,96	42,38	93	132,06	0,6	15,35	4,4	79,8
7	8	24,1	103	78,9	41,64	41,24	42,24	42,64	78,9	110,46	0,6	15,35	5,2	95,4
8	9	31,7	109	77,3	41,71	41,31	42,31	42,71	77,3	108,22	0,6	15,35	5,3	97,4
11	12	24,8	123	98,2	41,91	41,51	42,52	43,06	99,182	152,21	0,6	15,35	4,2	69,3
12	13	23	94	71	41,98	41,58	42,59	43,11	71,71	108,63	0,6	15,35	5,7	97,0
18	19	31,2	137	105,8	42,39	41,99	43,01	43,35	107,916	143,888	0,6	15,35	3,8	73,3
20	21	19,3	144	124,7	42,53	42,13	43,15	43,49	127,194	169,592	0,6	15,35	3,2	62,2
21	22	9,9	133	123,1	42,6	42,2	43,22	43,577	125,562	169,5087	0,6	15,35	3,3	62,2
22	23	15,9	133	117,1	42,67	42,27	43,29	43,63	119,442	159,256	0,6	15,35	3,4	66,2
23	24	14,9	133	118,1	42,74	42,34	43,36	43,72	120,462	162,978	0,6	15,35	3,4	64,7
27	28	29,5	142	112,5	43,01	42,61	43,64	43,99	115,875	155,25	0,6	15,35	3,6	67,9
28	29	19,4	150	130,6	43,08	42,68	43,71	44,06	134,518	180,228	0,6	15,35	3,1	58,5
29	30	22,9	132	109,1	43,15	42,75	43,78	44,13	112,373	150,558	0,6	15,35	3,7	70,0
34	35	32,3	145	112,7	43,49	43,09	44,13	44,46	117,208	154,399	0,6	15,35	3,5	68,3
35	36	36,5	158	121,5	43,56	43,16	44,2	44,52	126,36	165,24	0,6	15,35	3,3	63,8
37	38	22,8	137	114,2	43,7	43,3	44,34	44,64	118,768	153,028	0,6	15,35	3,5	68,9

Anhang C – Berechnungsergebnisse Hydraulik im Raugerinne

Profil			Q30		MQ		Q330		HQ1		HQ2		HQ5		HQ20		HQ50		HQ100		HQextrem	
Kilometer	Profilgeometrietyp	Sohlhöhe in mNN	Wasserstand in mNN	V [mittel] in m/s	Wasserstand in mNN	V [mittel] in m/s	Wasserstand in mNN	V [mittel] in m/s	Wasserstand in mNN	V [mittel] in m/s	Wasserstand in mNN	V [mittel] in m/s	Wasserstand in mNN	V [mittel] in m/s	Wasserstand in mNN	V [mittel] in m/s	Wasserstand in mNN	V [mittel] in m/s	Wasserstand in mNN	V [mittel] in m/s	Wasserstand in mNN	V [mittel] in m/s
6,439	Offenes Profil	39,87	41,752	0,02	42,013	0,14	42,136	0,33	44,563	0,63	44,666	0,7	44,779	0,75	44,839	0,77	45,06	0,83	45,529	0,7	45,837	0,81
6,615	Offenes Profil	40,39	41,748	0,03	42,017	0,26	42,189	0,55	44,613	0,73	44,73	0,81	44,857	0,87	44,923	0,9	45,161	0,97	45,601	0,85	45,933	0,95
6,628	Riegel 1	41,23	41,85	0,5	42,069	1,05	42,247	1,61	44,64	0,18	44,767	0,21	44,901	0,23	44,971	0,24	45,22	0,27	45,65	0,25	46	0,3
6,635	Riegel 2	41,29	41,929	0,43	42,121	1,12	42,313	1,62	44,644	0,18	44,771	0,21	44,905	0,23	44,975	0,24	45,225	0,27	45,654	0,25	46,004	0,3
6,642	Riegel 3	41,36	41,959	0,99	42,187	1,14	42,382	1,63	44,647	0,18	44,775	0,21	44,909	0,23	44,979	0,24	45,229	0,27	45,658	0,25	46,009	0,3
6,649	Riegel 4	41,43	42,001	1,04	42,257	1,14	42,452	1,62	44,651	0,18	44,779	0,21	44,913	0,23	44,984	0,24	45,234	0,27	45,662	0,25	46,014	0,3
6,655	Riegel 5	41,5	42,042	1,1	42,316	1,18	42,506	1,68	44,655	0,18	44,783	0,21	44,918	0,23	44,988	0,24	45,239	0,27	45,666	0,25	46,019	0,3
6,662	Riegel 6	41,57	42,099	1,13	42,407	1,09	42,59	1,63	44,659	0,18	44,787	0,21	44,922	0,23	44,993	0,24	45,244	0,27	45,67	0,25	46,023	0,3
6,668	Riegel 7	41,64	42,151	1,17	42,458	1,18	42,645	1,68	44,663	0,18	44,791	0,21	44,926	0,23	44,997	0,24	45,249	0,27	45,675	0,25	46,028	0,31
6,674	Riegel 8	41,71	42,209	1,19	42,526	1,18	42,713	1,69	44,667	0,18	44,796	0,21	44,931	0,23	45,002	0,24	45,254	0,27	45,679	0,25	46,034	0,31
6,68	Riegel 9	41,78	42,271	1,21	42,596	1,19	42,782	1,69	44,671	0,19	44,8	0,21	44,936	0,23	45,007	0,24	45,259	0,27	45,684	0,26	46,039	0,31
6,686	Riegel 10	41,84	42,336	1,2	42,667	1,13	42,859	1,62	44,676	0,19	44,804	0,21	44,941	0,23	45,012	0,24	45,264	0,27	45,689	0,26	46,045	0,31
6,697	Becken	41,84	42,468	0,04	42,789	0,29	43,025	0,58	44,678	0,75	44,806	0,79	44,942	0,82	45,013	0,83	45,264	0,84	45,69	0,71	46,043	0,77
6,701	Brücke Avendr. Straße	41,34	42,468	0,04	42,789	0,27	43,026	0,6	44,705	1,12	44,828	1,08	44,954	1,07	45,03	1,03	45,274	0,98	45,5	0,69	45,5	0,61
6,71	Riegel 11	41,91	42,546	0,45	42,824	0,84	43,062	1,23	44,734	0,82	44,852	0,86	44,977	0,89	45,046	0,9	45,285	0,91	45,697	0,76	46,051	0,81
6,723	Riegel 12	41,98	42,638	0,34	42,867	0,91	43,113	1,27	44,73	0,95	44,849	0,98	44,975	1	45,044	1	45,284	1	45,696	0,82	46,048	0,9
6,728	Riegel 13	42,05	42,682	0,53	42,883	1,12	43,12	1,45	44,735	0,9	44,854	0,93	44,98	0,94	45,048	0,94	45,288	0,92	45,7	0,74	46,053	0,8
6,735	Riegel 14	42,12	42,762	0,42	42,95	1,11	43,154	1,55	44,737	0,94	44,855	0,97	44,98	0,97	45,05	0,97	45,29	0,94	45,702	0,76	46,053	0,82
6,741	Riegel 15	42,19	42,822	0,43	43,026	0,89	43,234	1,24	44,749	0,89	44,865	0,93	44,989	0,95	45,057	0,95	45,295	0,93	45,703	0,75	46,054	0,82
6,748	Riegel 16	42,26	42,895	0,4	43,066	1,01	43,264	1,36	44,747	0,95	44,864	0,98	44,988	0,99	45,057	0,99	45,295	0,97	45,703	0,78	46,054	0,84
6,754	Riegel 17	42,33	42,956	0,47	43,117	1,11	43,295	1,51	44,724	1,18	44,842	1,18	44,968	1,16	45,038	1,14	45,283	1,07	45,699	0,83	46,051	0,88
6,76	Riegel 18	42,39	42,996	0,98	43,188	1,11	43,353	1,57	44,724	1,25	44,841	1,27	44,965	1,27	45,034	1,26	45,273	1,23	45,688	0,96	46,036	1,02
6,767	Riegel 19	42,46	43,046	1,01	43,269	1,05	43,438	1,5	44,749	1,15	44,87	1,15	44,997	1,15	45,065	1,14	45,301	1,11	45,702	0,89	46,05	0,96
6,773	Riegel 20	42,53	43,082	1,08	43,327	1,11	43,494	1,56	44,741	1,27	44,865	1,25	44,993	1,23	45,062	1,21	45,299	1,17	45,701	0,93	46,049	0,99
6,78	Riegel 21	42,6	43,133	1,12	43,409	1,05	43,577	1,5	44,751	1,31	44,875	1,28	45,001	1,25	45,067	1,24	45,303	1,15	45,712	0,85	46,066	0,88
6,786	Riegel 22	42,67	43,18	1,17	43,467	1,11	43,634	1,55	44,761	1,34	44,885	1,3	45,01	1,28	45,076	1,26	45,31	1,19	45,709	0,9	46,063	0,92
6,793	Riegel 23	42,74	43,238	1,19	43,549	1,05	43,717	1,5	44,776	1,36	44,899	1,32	45,022	1,29	45,086	1,28	45,317	1,21	45,712	0,91	46,066	0,93
6,799	Riegel 24	42,81	43,291	1,24	43,607	1,11	43,774	1,55	44,77	1,44	44,889	1,39	45,01	1,36	45,073	1,34	45,302	1,26	45,704	0,93	46,059	0,94
6,806	Riegel 25	42,88	43,36	1,24	43,689	1,04	43,857	1,49	44,792	1,53	44,907	1,51	45,023	1,49	45,082	1,48	45,309	1,37	45,713	0,99	46,064	1,01
6,812	Riegel 26	42,94	43,419	1,24	43,747	1,1	43,914	1,54	44,806	1,6	44,918	1,59	45,025	1,59	45,08	1,58	45,307	1,45	45,712	1,04	46,062	1,06
6,819	Riegel 27	43,01	43,49	1,24	43,828	1,04	43,996	1,48	44,856	1,52	44,968	1,51	45,06	1,54	45,114	1,54	45,338	1,39	45,725	1	46,076	1,01
6,825	Riegel 28	43,08	43,551	1,26	43,887	1,05	44,057	1,48	44,906	1,4	45,001	1,44	45,087	1,48	45,142	1,47	45,362	1,33	45,732	0,98	46,083	0,99
6,832	Riegel 29	43,15	43,63	1,24	43,957	1,05	44,127	1,47	44,879	1,71	44,972	1,75	45,045	1,83	45,096	1,82	45,328	1,59	45,723	1,09	46,074	1,09
6,838	Riegel 30	43,22	43,691	1,26	44,017	1,04	44,187	1,47	44,929	1,68	44,998	1,79	45,064	1,89	45,113	1,89	45,342	1,64	45,725	1,14	46,074	1,13
6,844	Riegel 31	43,29	43,761	1,26	44,077	1,09	44,243	1,52	44,956	1,72	45,025	1,83	45,085	1,95	45,136	1,93	45,365	1,66	45,729	1,17	46,077	1,16
6,851	Riegel 32	43,36	43,84	1,24	44,159	1,03	44,326	1,46	45,006	1,67	45,075	1,78	45,135	1,89	45,186	1,86	45,415	1,61	45,733	1,22	46,076	1,22
6,858	Riegel 33	43,43	43,91	1,24	44,227	1,04	44,396	1,45	45,056	1,63	45,125	1,74	45,185	1,84	45,236	1,81	45,419	1,68	45,73	1,28	46,07	1,27
6,864	Riegel 34	43,49	43,969	1,24	44,288	1,03	44,457	1,41	45,116	1,49	45,219	1,51	45,306	1,53	45,356	1,51	45,508	1,52	45,77	1,25	46,091	1,28
6,87	Riegel 35	43,56	44,031	1,26	44,351	1,03	44,517	1,39	45,081	1,88	45,182	1,87	45,27	1,87	45,327	1,81	45,487	1,75	45,76	1,39	46,083	1,39
6,877	Riegel 36	43,63	44,11	1,24	44,431	0,96	44,609	1,14	45,197	1,5	45,302	1,48	45,395	1,48	45,436	1,48	45,557	1,55	45,789	1,3	46,107	1,31
6,884	Riegel 37	43,7	44,18	1,24	44,501	0,99	44,646	1,34	45,188	1,78	45,306	1,68	45,395	1,67	45,435	1,69	45,55	1,76	45,78	1,47	46,094	1,48
6,89	Riegel 38	43,77	44,25	1,24	44,567	0,89	44,707	1,36	45,382	0,65	45,462	0,72	45,542	0,79	45,579	0,82	45,697	0,92	45,86	0,9	46,174	1
6,9	Offenes Profil	40,96	44,384	0,01	44,645	0,09	44,846	0,2	45,382	0,94	45,442	1,08	45,522	1,14	45,559	1,16	45,66	1,26	45,824	1,15	46,138	1,17
6,975	Offenes Profil	41,06	44,384	0,01	44,645	0,09	44,846	0,2	45,421	0,92	45,495	1,03	45,589	1,05	45,639	1,06	45,76	1,13	45,904	1,07	46,238	1,1
7,087	Offenes Profil	41,24	44,382	0,01	44,643	0,08	44,847	0,18	45,485	0,78	45,58	0,88	45,689	0,96	45,745	0,99	45,89	1,11	46,021	1,11	46,348	1,21
7,328	Offenes Profil	41,39	44,381	0,01	44,644	0,08	44,852	0,19	45,583	0,76	45,71	0,82	45,841	0,86	45,908	0,87	46,096	0,93	46,222	0,93	46,6	0,98

Anhang D – Kostenberechnung

Kostenberechnung

Kostenberechnung Durchgängigkeit Sudmühle (21_21)

Kostengliederung (KG)

- Kostengliederung: DIN 276 (2018-12)
- **Gesamt, Netto:** **2.145.390,00 EUR**
- zzgl. MwSt.: 407.624,10 EUR
- **Gesamt, Brutto:** **2.553.014,10 EUR**

KG	DIN 276 (2018-12) / Bezeichnung	Basisbetrag	Bezugspreis	Menge / Einheit	EP / %-Anteil	Teilbetrag	Gesamt	Projekt-anteil %
200	**Vorbereitende Maßnahmen** Gesamt, Brutto:	-	-	-		-	**174.650,00** 207.833,50	**8,1%**
210	**Herrichten**	-	-	-		-	**56.650,00**	**2,6%**
211	Sicherungsmaßnahmen	-	-	-		-	5.750,00	0,3%
2111	Stammschutz, Ummantelung Lattung, Polsterung, aufbaue...	-	-	5 St	150,00	750,00	750,00	> 0,1%
2115	Baustellenabsperrung	-	-	1 psch	5.000,00	5.000,00	5.000,00	0,2%
212	Abbruchmaßnahmen	-	-	-		-	40.500,00	1,9%
2121	Asphalt aufnehmen, entsorgen	-	-	200 m³	150,00	30.000,00	30.000,00	1,4%
2123	Abbruch Kanuausstieg	-	-	1 psch	500,00	500,00	500,00	> 0,1%
2124	Wehrtafel abbrechen, laden und entsorgen	-	-	1 psch	10.000,00	10.000,00	10.000,00	0,5%
214	Herrichten der Geländeoberfläche	-	-	-		-	10.400,00	0,5%
2141	Baufeld herrichten, mähen, räumen	-	-	10.000 m²	1,00	10.000,00	10.000,00	0,5%
2142	Bäume, Stammdurchmesser roden, laden, entsorgen	-	-	5 St	80,00	400,00	400,00	> 0,1%
250	**Übergangsmaßnahmen**	-	-	-		-	**118.000,00**	**5,5%**
251	Bauliche Maßnahmen	-	-	-		-	118.000,00	5,5%
2511	Baustelleneinrichtung	-	-	1 psch	100.000,00	100.000,00	100.000,00	4,7%
2512	Baustraße herstellen, zurückbauen	-	-	200 m	80,00	16.000,00	16.000,00	0,7%
2513	Bauschild	-	-	1 St	2.000,00	2.000,00	2.000,00	0,1%
500	**Außenanlagen und Freiflächen** Gesamt, Brutto:	-	-	-		-	**1.715.740,00** 2.041.730,60	**80,0%**

Alle Einzelbeträge Netto in EUR

13.02.2025 - Seite 1

Kostenberechnung

Kostenberechnung Durchgängigkeit Sudmühle (21_21)

KG	DIN 276 (2018-12) / Bezeichnung	Basisbetrag	Bezugspreis	Menge / Einheit	EP / %-Anteil	Teilbetrag	Gesamt	Projekt-anteil %
510	**Erdbau**	**-**	**-**	**-**		**-**	**639.250,00**	**29,8%**
511	Herstellung	-	-	-		-	639.250,00	29,8%
5111	Oberbodenarbeiten	-	-	-		-	63.100,00	2,9%
51112	Oberboden, lösen, laden, bauseits lagern, wiederaufbringen	-	-	700 m³	25,00	17.500,00	17.500,00	0,8%
51113	Oberboden, D 0,5 m, lösen, laden, entsorgen	-	-	3.800 m²	12,00	45.600,00	45.600,00	2,1%
5112	Bodenarbeiten	-	-	- m³		-	576.150,00	26,9%
51121	Boden, lösen, laden, bauseits lagern, wiedereinbauen	-	-	4.500 m³	25,00	112.500,00	112.500,00	5,2%
51122	Boden (Sand), lösen, laden, entsorgen	-	-	2.670 m³	20,00	53.400,00	53.400,00	2,5%
51123	Boden-Auffüllungen, lösen, laden, deponieren	-	-	2.230 m³	75,00	167.250,00	167.250,00	7,8%
51124	Boden, lösen, laden, entsorgen	-	-	7.600 m³	30,00	228.000,00	228.000,00	10,6%
51125	weitere Maßnahmen des Bodenschutzes	-	-	1 psch	15.000,00	15.000,00	15.000,00	0,7%
530	**Oberbau, Deckschichten**	**-**	**-**	**-**		**-**	**22.140,00**	**1,0%**
531	Wege	-	-	-		-	8.640,00	0,4%
5312	wassergebundene Decke erstellen	-	-	-		-	8.640,00	0,4%
53121	Schottertragschicht 0/32 liefern, einbauen	-	-	270 m²	32,00	8.640,00	8.640,00	0,4%
532	Straßen	-	-	-		-	13.500,00	0,6%
5321	Oberbau Bauklasse für Anliegerstraße, befahrbare Wohnw...	-	-	-		-	13.500,00	0,6%
53213	Oberbau Avendruper Straße	-	-	180 m²	75,00	13.500,00	13.500,00	0,6%
540	**Baukonstruktionen**	**-**	**-**	**-**		**-**	**240.000,00**	**11,2%**
543	Wandkonstruktionen	-	-	-		-	31.000,00	1,4%
5431	Betonsanierung Wehrkanal	-	-	1 psch	15.000,00	15.000,00	15.000,00	0,7%
5432	Abdichtung Pfeiler Kamillusbrücke	-	-	1 psch	1.000,00	1.000,00	1.000,00	> 0,1%
5435	Verdämmung Turbineneinlauf	-	-	2 psch	2.500,00	5.000,00	5.000,00	0,2%
5436	Verfüllung Turbinenauslauf	-	-	1 psch	10.000,00	10.000,00	10.000,00	0,5%
544	Rampen, Treppen, Tribünen	-	-	1		-	9.000,00	0,4%

Alle Einzelbeträge Netto in EUR

13.02.2025 - Seite 2

Kostenberechnung

Kostenberechnung Durchgängigkeit Sudmühle (21_21)

KG	DIN 276 (2018-12) / Bezeichnung	Basisbetrag	Bezugspreis	Menge / Einheit	EP / %-Anteil	Teilbetrag	Gesamt	Projekt-anteil %
5441	Kanuein- und Ausstieg	-	-	2 St	4.500,00	9.000,00	9.000,00	0,4%
546	Stege	-	-	-		-	200.000,00	9,3%
5461	Fuß- und Radwegebrücke L=15 m, Breite 3	-	-	1 St	200.000,00	200.000,00	200.000,00	9,3%
570	**Vegetationsflächen**	**-**	**-**	**-**		**-**	**17.500,00**	**0,8%**
574	Rasen- und Saatflächen	-	-	-		-	17.500,00	0,8%
5741	Ansaat Feuchwiese; einschl. Fertigstellungspflege	-	-	5.000 m²	3,50	17.500,00	17.500,00	0,8%
580	**Wasserflächen**	**-**	**-**	**-**		**-**	**796.850,00**	**37,1%**
581	Befestigungen	-	-	-		-	786.350,00	36,7%
5812	bruchgesprengtes Material für Riegel	-	-	3.300 t	45,00	148.500,00	148.500,00	6,9%
5813	Sohlsicherung Natursteinmaterial für spätere "Furt"	-	-	200 t	45,00	9.000,00	9.000,00	0,4%
5814	Natursteinquader (0,8x0,6x0,6) Riegelsteine	-	-	1.500 t	230,00	345.000,00	345.000,00	16,1%
5815	Natursteinquader (0,6*0,4*0,4) Stützsteine liefern, einbauen	-	-	700 t	200,00	140.000,00	140.000,00	6,5%
5816	Wasserbausteine Altverlauf	-	-	480 t	45,00	21.600,00	21.600,00	1,0%
5817	Sicherung Altverlauf mit Natursteinmaterial	-	-	1.600 t	45,00	72.000,00	72.000,00	3,4%
5818	bauzeitliche Gewässerüberfahrt	-	-	1 psch	10.000,00	10.000,00	10.000,00	0,5%
5819	Geogitter für Unterbau Riegel	-	-	4.500 m²	7,00	31.500,00	31.500,00	1,5%
581B	Kieslinsen	-	-	350 t	25,00	8.750,00	8.750,00	0,4%
583	Bepflanzungen	-	-	-		-	4.500,00	0,2%
5831	Solitärbäume und Auwald	-	-	30 St	150,00	4.500,00	4.500,00	0,2%
589	Sonstiges zur KG 580	-	-	-		-	6.000,00	0,3%
5893	Strukturelemente	-	-	40 St	150,00	6.000,00	6.000,00	0,3%
700	**Baunebenkosten** Gesamt, Brutto:	**-**	**-**	**-**		**-**	**255.000,00** 303.450,00	**11,9%**
720	**Vorbereitung der Objektplanung**	**-**	**-**	**-**		**-**	**55.000,00**	**2,6%**
724	Landschaftsplanerische Leistungen	-	-	-		-	55.000,00	2,6%

Alle Einzelbeträge Netto in EUR

13.02.2025 - Seite 3

Kostenberechnung

Kostenberechnung Durchgängigkeit Sudmühle (21_21)

KG	DIN 276 (2018-12) / Bezeichnung	Basisbetrag	Bezugspreis	Menge / Einheit	EP / %-Anteil	Teilbetrag	Gesamt	Projekt-anteil %
7241	Landschaftspflegerischer Begleitplan (LBP) / Artenschutzr...	-	-	1 psch	55.000,00	55.000,00	55.000,00	2,6%
730	**Objektplanung**	**-**	**-**	**-**		**-**	**155.000,00**	**7,2%**
733	Ingenieurbauwerke	-	-	-		-	155.000,00	7,2%
7331	Ingenieurleistungen LPH 1-8	-	-	1 psch	150.000,00	150.000,00	150.000,00	7,0%
7333	bodenkundliche Baubegleitung	-	-	1 psch	5.000,00	5.000,00	5.000,00	0,2%
740	**Fachplanung**	**-**	**-**	**-**		**-**	**45.000,00**	**2,1%**
741	Tragwerksplanung	-	-	1 psch	30.000,00	30.000,00	30.000,00	1,4%
744	Geotechnik	-	-	-		-	15.000,00	0,7%
7441	Bodengutachten	-	-	1 psch	15.000,00	15.000,00	15.000,00	0,7%

Kostenberechnung Durchgängigkeit Sudmühle, Netto:	**2.145.390,00 EUR**
enthaltene MwSt.:	407.624,10 EUR
Gesamt, Brutto:	**2.553.014,10 EUR**

Alle Einzelbeträge Netto in EUR

13.02.2025 - Seite 4