

Unterlage 01.03.01 – Einlaufbauwerk

Festgestellt gem. § 68 Abs. 1 WHG
durch Beschluss vom 30.10.2025
Nr. RNB-55.1.W 4543-1-25

Teilbericht 01.01 - Variantenbetrachtung Einlaufbauwerk

Regierung von Niederbayern
Landshut, 30.10.2025

gez.
Jahn
Oberregierungsrat

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Planungsrandbedingungen	1
2.1	Vorbemerkungen	1
2.2	Einordnung des Bauwerkes in die aktuelle Normung	2
2.3	Gewässerkundliche Grundlagen	2
2.4	Allgemeine Anforderungen	3
2.5	Anforderungen des Betreibers/Nutzers	4
2.6	Anforderungen der GDWS Ast Süd	4
2.7	Vorgaben des Bayerischen Landesamts für Umwelt	5
3	Variantenbetrachtungen	5
3.1	Vorbemerkungen	5
3.2	Variantenbetrachtung zum Standort des geplanten Einlaufbauwerks	6
3.2.1	Vorbetrachtungen	6
3.2.2	Varianten zum Standort	7
3.2.3	Variantenvergleich und Erarbeitung einer Vorzugsvariante zum Standort	13
3.3	Variantenbetrachtung zum Funktionsprinzip und zur Bauweise	14
3.3.1	Varianten zum Funktionsprinzip	14
3.3.2	Varianten zur Bauweise	14
3.3.3	Bauwerk mit Freispiegelabfluss (offene Bauweise)	15
3.3.4	Bauwerk mit Druckabfluss (teiloffene Bauweise)	16
3.3.5	Bauwerk mit Druckabfluss (geschlossene Bauweise)	17
3.3.6	Vorschlag einer Vorzugsvariante zum Funktionsprinzip und zur Bauweise	18
3.4	Variantenbetrachtung zur Steuerung des geplanten Einlaufbauwerks	19
3.4.1	Vorbetrachtungen	19
3.4.2	Variante St1 – Vollständige Steuerung	19
3.4.3	Variante St2 – „Auf-Zu-Modus“	20
3.4.4	Variante St3 – Gestaffelter „Auf-Zu-Modus“	21
3.4.5	Vorschlag einer Vorzugsvariante zur Steuerung des Einlaufbauwerks	22
3.5	Variantenbetrachtung zur Anzahl, Breite und Höhe der Wehrfelder am geplanten Einlaufbauwerk	24
3.5.1	Vorbetrachtungen	24
3.5.2	Überschlägige hydraulische Berechnungen	24
3.5.3	Anzahl der Wehrfelder	25
3.5.4	Breite der Wehrfelder	26

3.5.5	Höhe der Überlaufschwelle	28
3.5.6	Vorschlag einer Vorzugsvariante zur Anzahl, Breite und Höhe der Wehrfelder	29
3.6	Variantenbetrachtung zu den Verschlusseinrichtungen am geplanten Einlaufbauwerk	30
3.6.1	Vorbetrachtungen	30
3.6.2	Varianten zu den Verschlusseinrichtungen	31
3.6.3	Variante EBW V1 – Rollschütz/Gleitschütz	32
3.6.4	Variante EBW V2 - Klappe	33
3.6.5	Variante EBW V3 - Drucksegment	34
3.6.6	Variantenvergleich und Vorschlag einer Vorzugsvariante zu den Verschlusseinrichtungen.....	35
3.7	Variantenbetrachtung zu den Antriebstypen für die Verschlusseinrichtungen.....	36
3.7.1	Vorbetrachtungen	36
3.7.2	Varianten zu den Antriebstypen	36
3.7.3	Variante EBW A1 – Triebstock-/Triebritzelantrieb	37
3.7.4	Variante EBW A2 - Elektrospindelantrieb	37
3.7.5	Variante EBW A3 - Elektrohübsylinder	38
3.7.6	Variante EBW A4 - Hydraulikzylinder	38
3.7.7	Variantenvergleich und Vorschlag einer Vorzugsvariante zu den Antriebstypen.....	39
3.8	Variantenbetrachtung zur Energieumwandlungsanlage am geplanten Einlaufbauwerk	42
3.8.1	Vorbetrachtungen	42
3.8.2	Varianten zur Energieumwandlung	42
3.8.3	Ebenes Tosbecken	43
3.8.4	Räumliches Tosbecken	44
3.8.5	Tosmulde	44
3.8.6	Standortbezogener Vorschlag einer Vorzugsvariante zur Energieumwandlungsanlage	45
4	Weitere Betrachtungen	46
4.1	(n - 1)-Bedingung.....	46
4.2	Revisions- und Notverschlüsse, doppelte Verschlussebene.....	46
4.2.1	Revisions- und Notverschlüsse	46
4.2.2	Doppelte Verschlusseinrichtungen	47
4.2.3	Empfehlung.....	48
4.3	Baugrube, Wasserhaltung und Dichtungsanschluss	49
4.4	Gestaltung des Zulaufbereichs	50
4.5	Grobrechen bzw. Anfahr-/Einfahrerschutz für das Einlaufbauwerk.....	51
4.6	Weitere Anlagenteile.....	51
4.7	Auswirkungen auf das Absetzbecken.....	52
4.8	Auswirkungen auf die Fließstrecke.....	54
5	Hydraulische Bemessung des Einlaufbauwerks	55
5.1	Vorbetrachtungen	55
5.2	Nachweis der Scheitelreduzierung bei Hochwasser 1988 und 2011	55

5.3	Nachweis der Scheitelreduzierung bei Hochwasser 2002	55
5.4	Überregionale Steuerung.....	56
5.5	Freibord und Höhe der Brücken und Verschlüsse	57
5.5.1	Betriebswegebrücke über die Wehrfelder	57
5.5.2	Freibord und Höhe der Verschlüsse.....	57
5.6	Konstruktive Gestaltung des Einlaufbauwerks und der Überfallschwelle	58
5.7	Überschlägige Tosbeckenbemessung	58
5.7.1	Vorbetrachtungen	58
5.7.2	Überschlägige Bemessung und konstruktive Gestaltung des Tosbeckens	60
5.8	Kolkschutz im Nachboden sowie Befestigung im Zulaufgerinne.....	65
6	Zusammenfassung	67
7	Weitere Empfehlungen	70
8	Literatur- und Quellenverzeichnis	71

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Wasserstände der Donau in m ü. NN	3
Tabelle 2:	Gegenüberstellung der Varianten für den Standort des Einlaufbauwerkes an der Donau	12
Tabelle 3:	Gegenüberstellung der Varianten für die Steuerung des Einlaufbauwerkes	23
Tabelle 4:	Anzahl der erforderlichen Wehrfelder in Abhängigkeit der Hochwasserwelle.....	25
Tabelle 5:	Anzahl der erforderlichen Wehrfelder in Abhängigkeit der Wehrfeldbreite	26
Tabelle 6:	Vor- und Nachteile bei unterschiedlichen Wehrfeldbreiten	27
Tabelle 7:	Anzahl der erforderlichen Wehrfelder in Abhängigkeit der Höhe der Überfallschwelle.....	29
Tabelle 8:	empfohlene Vorzugsvarianten zur Anzahl, Breite und Höhe der Wehrfelder.....	29
Tabelle 9:	Vor- und Nachteile der näher betrachteten Antriebsvarianten	39
Tabelle 10:	Scheitelreduzierung bei HQ100-2002 mit Einsatz des Auslaufbauwerks (ABW).....	56
Tabelle 11:	Zusammenfassung der untersuchten Lastfälle zur Tosbeckenbemessung	61
Tabelle 12:	Zusammenstellung der Vorzugsvarianten und Entwurfparameter	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	potentieller Untersuchungsbereich für die Standortvarianten des Einlaufbauwerks.....	8
Abbildung 2:	Standortvarianten für das Einlaufbauwerk der geplanten Hochwasserrückhaltung	10
Abbildung 3:	offene Bauweise mit Brücke	15
Abbildung 4:	teloffene Bauweise mit Staubalken und Brücke	15
Abbildung 5:	geschlossene Bauweise (Durchlassbauwerk)	15
Abbildung 6:	Darstellung der Abflussreduzierung bei Steuerungsvariante St1	20
Abbildung 7:	Darstellung der Abflussreduzierung bei Steuerungsvariante St2	21
Abbildung 8:	Darstellung der Abflussreduzierung bei Steuerungsvariante St3	22
Abbildung 9:	Ansicht und Bemessungsangaben von Strahlteilern, hier für $Fr = 2,5 \dots 4,5$, [Csallner, 2007].....	62
Abbildung 10:	Standardformen von Störkörpern [Csallner, 2007]	63
Abbildung 11:	Endschwellenform mit aufgesetzter Zahnreihe [Csallner, 2007]	64
Abbildung 12:	Befestigungen am Ufer und unterstrom des Tosbeckens [Csallner, 2007]	65
Abbildung 13:	planmäßiger Aufbau des Kolksschutzes [Csallner, 2007]	66

Anhangverzeichnis

Anhang A	Variantenvergleich zum Standort
Anhang B	Variantenvergleich zu den Verschlusseinrichtungen

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Plandarstellungen zu den Standortvarianten
Anlage 2	Plandarstellungen zu den Varianten der Verschlusseinrichtungen
Anlage 3	Steuerungsvarianten für HQ100 und HQ200 auf Basis Hochwasser 1988, 2002 und 2011
Anlage 4	Anzahl und Breite der Wehrfelder bei HQ30, HQ100 und HQ200 auf Basis Hochwasser 1988, 2002 und 2011 (Breite 6 m, Höhe 318,50 m ü. NN)
Anlage 5	Anzahl und Breite der Wehrfelder bei HQ30, HQ100 und HQ200 auf Basis Hochwasser 2011 (Breite 12 m, Höhe 318,50 m ü. NN)
Anlage 6	Höhe der Wehrfelder bei HQ30, HQ100 und HQ200 auf Basis Hochwasser 2011 (Breite 6 m, Höhe 318,00; 318,50 und 319,00 m ü. NN)
Anlage 7	Bestandspläne zu den Stauhaltungs-dämmen aus dem Jahr 1993 (WSV)
Anlage 8	Einsatz von Einlauf- und Auslaufbauwerk bei HQ100 auf Basis Hochwasser 2002
Anlage 9	Schreiben des LfU vom 26.02.2016 zur Bemessung des Einlaufbauwerks und vom 02.08.2017 zu den doppelten Verschlüssen
Anlage 10	Überschlägige Tosbeckenbemessung
Anlage 11	Darstellung der Fließgeschwindigkeiten am Einlaufbauwerk bei HQ200 auf Basis Hochwasser 2011
Anlage 12	Ergebnisdarstellungen zur Sedimentvermessung im Absetzbecken
Anlage 13	Fließgeschwindigkeiten und Sohlschubspannung während des Flutungsvorganges in der Fließstrecke

1 Veranlassung

Im Rahmen der Bearbeitung der Planungsleistung zur Hochwasserrückhaltung Öberauer Schleife werden Variantenuntersuchungen zu den einzelnen Bauwerken durchgeführt, die zur Umsetzung der Aufgabenstellung erforderlich werden.

Gegenstand der nachfolgenden Unterlage ist die Variantenuntersuchung für das **Einlaufbauwerk** der geplanten Hochwasserrückhaltung (HWR) für die Favorisierte Planung. Die Variantenuntersuchung zum Einlaufbauwerk ist als Teilbericht 01.01 Bestandteil der Vorplanungsunterlage.

Zielstellung dieser Unterlage ist es, verschiedene Lösungsmöglichkeiten zum Standort des Einlaufbauwerks sowie zu einzelnen Konstruktionselementen aufzuzeigen, untereinander zu vergleichen und zu bewerten. Abschließend wird als Grundlage für die Entwurfsplanung eine Vorzugsvariante empfohlen.

2 Planungsrandbedingungen

2.1 Vorbemerkungen

Im Ergebnis eines Raumordnungsverfahrens (ROV) [3], das im Jahre 2012 durchgeführt wurde und mit der Landesplanerische Beurteilung [2] im Jahre 2013 abgeschlossen wurde, ist die Öberauer Donauschleife als Überflutungsfläche zur Rückhaltung im Hochwasserfall vorgesehen. Im Zuge der Vorplanung konnten die im Raumordnungsverfahren prognostizierten Wirkungen für die raumgeordnete „Variante 4 mod LaB“ anhand weiterführender hydraulischer Berechnungen, die auf der Grundlage des fortgeschriebenen Oberflächenwassermodells und für verschiedene Hochwasserwellen durchgeführt wurden, aufgrund der geänderten Randbedingungen und der Vorgaben aus dem Hochwasserschutz-Aktionsprogramm 2020plus aus dem Jahr 2013 nicht bestätigt werden.

Im Rahmen der Vorplanung zur Umsetzung der HWR wurden verschiedene Varianten untersucht, mit denen sich die im ROV prognostizierten Wirkungen erreichen lassen. Im Ergebnis wurde eine favorisierte Planung entwickelt, für die im Jahre 2017 ein Scopingverfahren [1] durchgeführt wurde. Die favorisierte Planung ist die Grundlage für die weitere Planung.

Vorgesehen ist eine gesteuerte Hochwasserrückhaltung, die ab einem HQ(30), HQ(100) bzw. HQ(200) in der Donau geflutet werden soll. Die Hochwasserrückhaltung soll maximal bis zu einem Binnenwasserstand von 320,20 m ü. NN angestaut werden. Bei Erreichen des Stauziels in der Hochwasserrückhaltung ist das Einlaufbauwerk zu schließen. Dazu muss das Bauwerk mit beweglichen Verschlüssen ausgerüstet werden. Bei Beginn der Flutung sind die Wasserstände in der Öberauer Schleife bzw. im Absetzbecken zu berücksichtigen.

Die wesentlichen Anlagenteile am Einlaufbauwerk sind:

- Bauwerkskörper,
- Verschlusseinrichtungen,
- Energieumwandungsanlage,
- Zulaufbereich,
- Ablaufbereich bzw. Verbindung zum Absetzbecken.

2.2 Einordnung des Bauwerkes in die aktuelle Normung

Die Bestimmung der maßgebenden Normen für das Einlaufbauwerk und weitere durch das Planungsvorhaben betroffene wasserbaulichen Anlagen beruht auf folgenden Überlegungen:

Das geplante Einlaufbauwerk (EBW) dient im Regelfall der Aufrechterhaltung der Donauwasserstände in der Stauhaltung Straubing und ist ständig angestaut. Deshalb wird das Einlaufbauwerk als Stauewehr (Staustufenklasse III) im Sinne der DIN 19700-13 [14] eingeordnet (siehe auch Sicherheitskonzept [9]). Im Hochwasserfall kann das Einlaufbauwerk gezielt geöffnet werden, um die geplante Hochwasserrückhaltung zu füllen.

Bei dem im Vorhabengebiet vorhandenen linken Stauhaltungsdamm an der Donau handelt es sich ebenfalls um eine Anlage im Sinne der DIN 19700 Teil 13 – Staustufen. Stauhaltungsdämme sind Absperrbauwerke, die eine Stauhaltung begrenzen und hydraulisch vom Hinterland trennen. Der vorhandene linke Stauhaltungsdamm an der Donau ist gemäß DWA-Themen Flutpolder [12] ein Trenndeich oder Trenndamm, der die geplante Hochwasserrückhaltung zum Gewässer hin begrenzt.

Für die Staustufe Straubing gilt die Staustufenklasse I mit $BHQ1 = HQ(100)$ und $BHQ2 = HQ(1000)$. Eine Reduzierung des BHQ (Wehr Straubing) ist insbesondere durch die vorgesehene Flutung der Hochwasserrückhaltung möglich.

2.3 Gewässerkundliche Grundlagen

Hauptvorfluter im Vorhabensgebiet ist die durch die Staustufe Straubing aufgestaute Bundeswasserstraße Donau. Maßgebender Pegel ist der etwa 15 km unterstrom von Straubing liegende Pegel Pfelling.

Auf Basis realer Hochwasserereignisse aus den Jahren 1988, 2002, 2011 und 2013 liegen Messwerte zum Abfluss in der Donau vor. Daraus wurden Hochwasserganglinien für die Jährlichkeiten HQ30, HQ100 und HQ200 erzeugt.

Für die Sicherheitsbetrachtungen und die Bemessung der Hochwasserrückhaltung werden die donaubetonten Ganglinien am Pegel Pfelling für die Jährlichkeiten HQ30, HQ100 und HQ200 verwendet, die auf Basis des Hochwassers 2011 erstellt wurden. Zusätzlich dient die Ganglinie der Donau vom Hochwasser 2013 als Vergleichsgröße, um ein reales Ereignis abzubilden.

Die bereits im Raumordnungsverfahren verwendeten Ganglinien aus den Hochwasserereignissen von 1988 und 2002 werden für den Nachweis der Rückhaltewirkung herangezogen, jedoch aufgrund ihrer zu geringen oder zu großen Fülle nicht als Bemessungsganglinie verwendet.

Das Hochwasserereignis 1988, das real etwa einem HQ20 entsprach, hatte eine lange Zeitdauer und damit eine sehr große Fülle („breite“ Welle). Das Hochwasserereignis 2002, das real einem HQ10 bis HQ20 entsprach, war hingegen durch eine kurze Zeitdauer gekennzeichnet und besaß damit eine sehr geringe Fülle („spitze“ Welle). Beide Ganglinien spiegeln daher die äußersten Extreme für den Einsatz der Hochwasserrückhaltung wieder.

Weiterhin wird für die Sicherheitsbetrachtungen im Überlastfall die Ganglinie eines HQ1000 Donau mit einem Abflussscheitel von ca. 4.500 m³/s (Pegel Schwabelweis – SWWE) verwendet. Dabei ist jedoch zu beachten, dass ein HQ1000 den Standort der geplanten Hochwasserrückhaltung nicht erreicht, da bereits in der oberstrom gelegenen Donaustrecke die HWS-Anlagen an der Donau überströmt werden und das Hinterland geflutet wird.

Die Überströmung der oberstrom gelegenen Donaudeiche, die für HQ100 ausgebaut sind, setzt bei Hochwasserereignissen von knapp HQ500 ein. Am Standort der geplanten Hochwasserrückhaltung

Öberauer Schleife ist bei einem HQ1000 daher ein Scheitelwert von etwa 4.031 m³/s ~ HQ500 = 4.100 m³/s zu erwarten.

Auf der Grundlage des Oberflächenwassermodells wurden aktuelle Wasserspiegellagenberechnungen für den Ist-Zustand bei den Ganglinien auf Basis des Hochwassers 2011 durchgeführt. Danach können der Donau oberstrom der Staustufe Straubing folgende Wasserstände zugeordnet werden:

Tabelle 1: Wasserstände der Donau in m ü. NN

Fluss-km	MQ * 473 m³/s	HQ30 2.800 m³/s	HQ100 3.400 m³/s	HQ200 3.700 m³/s	HQ500 4.100 m³/s
2335,0	320,00	320,93	321,32	321,72	322,27
2334,0	320,00	320,49	320,76	321,17	321,74
2333,0	320,00	320,31	320,52	320,94	321,55
2332,0	320,00	320,19	320,35	320,77	321,36
2331,0	320,00	320,13	320,27	320,70	321,30
2330,0	320,00	320,01	320,09	320,51	321,10

* aus dem Längsschnitt des WSA Regensburg für die Jahresreihe von 1961 bis 1990

Hinweis: Wasserstände in Tabelle ohne Deichbruch an den Kößnachdeichen und ohne Überströmung der St 2125

Folgende höchste schiffbare Wasserstände (HSW) der Bundeswasserstraße Donau bestehen an der Staustufe Straubing:

oberstrom der Staustufe: 320,00 m ü. NN

unterstrom der Staustufe: 316,20 m ü. NN

Die Wasserstände in der Öberauer Schleife werden im jährlichen Turnus durch eine Heberanlage an der Donau sowie ein Regulierungsbauwerk zur Kößnach (RzK) reguliert:

obere Schleife 315,45 ... 316,20 m ü. NN (sowie zur Frühjahrsflutung 318,00 m ü. NN)

untere Schleife 315,45 ... 315,80 m ü. NN

Absetzbecken 317,50 m ü. NN (sowie zur Frühjahrsflutung 318,00 m ü. NN)

2.4 Allgemeine Anforderungen

Für die Variantenbetrachtung gelten folgende Prämissen:

- möglichst große Scheitelkappung am Bauwerksstandort,
- möglichst geringe Eingriffe in Natur und Landschaft (Lage am Stauhaltungsamm),
- Funktions- und Überlastungssicherheit des Einlaufbauwerks (optimale hydraulische Leistungsfähigkeit des Einlaufbauwerks mit möglichst geringen Auswirkungen auf die Hochwasserrückhaltung bei Flutung),
- geringe Baukosten, geringe Folgekosten,
- einfache Wartung und Unterhaltung des Bauwerks,

- einfache Kontrolle des Einlaufbauwerks bei Flutung der Hochwasserrückhaltung,
- Berücksichtigung der (n - 1)-Bedingung (Wehre mit beweglichen Verschlüssen sind gemäß DIN 19700-13 [14] so zu bemessen, dass der Bemessungszufluss über das Wehr auch bei Ausfall eines Wehrfeldes ohne Überschreitung des für diesen Fall festgelegten Wasserspiegels schadlos für die Stauanlage abgeführt werden kann).

Das bedeutet u.a. Erhalt der Altarmstruktur in der Hochwasserrückhaltung, insbesondere des Zulaufgerinnes (Fließstrecke) zwischen Absetzbecken und oberer Oberauer Schleife, Erhalt der Straßen- und Wegeverbindungen sowie des Radwegenetzes (Radweg „Donau im Wandel“), ästhetische Anforderungen an das Bauwerk und das Landschaftsbild.

Das Einlaufbauwerk ist vergleichbar den Kronenwegen auf den Polderdeichen und den Stauhaltungsdämmen für Schwerlastverkehr (SLW60) auszurüsten. Die durchgängige Befahrbarkeit des Unterhaltungsweges an der Bundeswasserstraße auf dem Stauhaltungsdamm ist sicherzustellen. Dieser dient zudem der Erreichbarkeit des Bauwerks und der zugeordneten Anlagen.

2.5 Anforderungen des Betreibers/Nutzers

Betreiber des geplanten Einlaufbauwerks wird künftig das Wasserwirtschaftsamt Deggendorf sein. Die Stauhaltungsdämme, das Heberbauwerk und weitere Anlagen zur Regulierung der Wasserstände in der Oberauer Schleife werden auch zukünftig weiterhin durch das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Regensburg betrieben. An das Einlaufbauwerk und die damit errichteten baulichen Anlagen werden folgende Grundanforderungen gestellt:

- gesteuerte Abgabe in die Hochwasserrückhaltung, bei Bedarf Regelbarkeit des Durchflusses über Zwischenstellungen, Beenden der Flutung durch Schließen des Einlaufbauwerks,
- einfacher Einsatz von Revisions- und Notverschlüssen, Berücksichtigung des Arbeitsschutzes für das Setzen der Verschlüsse (geringer Personaleinsatz),
- einfache Revisions-, Unterhaltungs- und Überwachungsmöglichkeiten, Fernüberwachung und ggf. Fernsteuerung des Einlaufbauwerks.

Weitere Anforderungen des Betreibers an die Gestaltung und Ausrüstung des Einlaufbauwerks (z.B. Stromversorgung, Beleuchtung, Umzäunung, ...) werden im Rahmen dieser Variantenuntersuchung nicht betrachtet.

2.6 Anforderungen der GDWS Ast Süd

Die Stauhaltung der Donau mit den Nebenanlagen (auch der Heberanlage) liegen in Zuständigkeit der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt – Außenstelle Süd (GDWS Ast Süd), vertreten durch das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt MDK.

Allgemein gelten folgende Grundanforderungen:

- keine Beeinträchtigung der Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt auf der Donau, weder durch das Vorhaben allgemein noch während der Bauzeit, (LaB [2], siehe A.II; 4.3),
- Gewährleistung der Standsicherheit des linken Stauhaltungsdamms der Donau, auch im Fall der eingestauten Hochwasserrückhaltung, Gewährleistung der Funktionsfähigkeit der Dichtung,

- Sicherung der Benutzung des Betriebsweges der Wasserstraße (auch während der Bauzeit),
- schifffahrtspolizeiliche Kennzeichnung des Gefahrenbereichs (Einlaufbauwerk bzw. Zulauf zum Einlaufbauwerk)
- Anfahr- bzw. Einfahrtsschutz für das Einlaufbauwerk.

2.7 Vorgaben des Bayerischen Landesamts für Umwelt

Im Schreiben vom 26.02.2016 nahm das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) Stellung zur Bemessung des geplanten Einlaufbauwerks, s. auch Anlage 9. Darin wurden folgende Empfehlungen benannt:

- Aufgrund eines möglichen kombinierten Betriebs mit dem unterstrom liegenden gesteuerten Hochwasserrückhalteraum Steinkirchen wird die Bemessung auf Basis der regionalen Steuerung empfohlen.
- Bei überregionalem Einsatz der Hochwasserrückhaltung ist von einem kombinierten Einsatz mit dem gesteuerten Rückhalteraum Steinkirchen auszugehen. Eine zielgerichtete Steuerung auf den Isarzufluss ist bei diesem näher an der Isarmündung gelegenen Rückhalteraum besser zu gewährleisten als bei der Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife. Denkbar wäre z. B. ein Einsatz der Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife im Rahmen seiner Möglichkeiten (bei Dimensionierung des Einlassbauwerks auf lokale Steuerung) für eine Art Grundentlastung, auf die dann der Hochwasserrückhalteraum Steinkirchen mit einer zielgerichteten Steuerung auf den Isarzufluss aufsetzt.
- Aus Gründen der Betriebssicherheit (u.a. zur Gewährleistung der vorgesehenen Hochwasserschutzfunktion bei Ausfall eines Wehrfeldes, Erhalt der hydraulischen Leistungsfähigkeit bei Verklausungen am Grobrechen oder Verlandungen im Zulaufbereich) sollte ein weiteres Wehrfeld vorgesehen werden. Dieses bietet dann auch im Hinblick auf die überregionale Steuerung zusätzliche Handlungsoptionen.

Weiterhin wurden seitens des Bayerischen Landesamts für Umwelt und des Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (STMUV) die donaubetonten Ganglinien auf Basis des Hochwassers 2011 als primäre Bemessungsganglinien für das Einlaufbauwerk bestätigt.

3 Variantenbetrachtungen

3.1 Vorbemerkungen

Aufgabe der nachfolgenden Variantenbetrachtungen ist es, verschiedene Lösungsmöglichkeiten aufzuzeigen, untereinander zu vergleichen und zu bewerten sowie abschließend eine Vorzugsvariante zu empfehlen. Die Variantenbetrachtungen erfolgen vorrangig für die nachfolgend aufgeführten Bereiche:

- Standort/Lage des Bauwerks,
- Hydraulisches Funktionsprinzip,
- Breite und Anzahl der Wehrfelder,
- Verschlusseinrichtungen,
- Steuerung.

Aufgrund der Vielzahl von Varianten werden in einem ersten Schritt denkbare Varianten aufgezeigt, untersucht und hinsichtlich ihrer Eignung bewertet. Nach dem Ausschlussprinzip erfolgt eine erste Filterung der Varianten.

Im zweiten Schritt werden die Vor- und Nachteile der verbliebenen Varianten verglichen und bewertet. Die Bewertung der Varianten erfolgt dabei relativ zueinander.

Für die Lage des Bauwerks und die Verschlusseinrichtungen erfolgt zudem ein vertiefter Variantenvergleich unter Verwendung einer Bewertungsmatrix. Darin erfolgt die Bewertung nach Hauptkriterien, die wiederum in Unterkriterien unterteilt sein können. Weder die Reihenfolge der Kriterien noch deren Anzahl ist ein Maß für die Rangfolge. Im Rahmen dieser Variantenuntersuchung werden die Kriterien nicht mit Wichtungsfaktoren belegt.

Für jedes Bewertungskriterium werden zwischen 0 und 100 Punkte vergeben. Die Maximalpunktzahl 100 entspricht der Bestbewertung. Die Abstufung der Punktvergabe erfolgt in 25er Schritten.

Allen nachfolgenden Varianten liegen folgende Festlegungen zugrunde:

- Minimierung der Eingriffe in Natur und Landschaft,
- optimale hydraulische Leistungsfähigkeit mit geringsten Auswirkungen auf das Absetzbecken,
- Durchflusssteuerung bei Flutung, ggf. gestaffelte Freigabe der Öffnungen am Einlaufbauwerk,
- Beginn der Flutung über die obere Öberauer Schleife,
- Beenden der Flutung bei Erreichen des Stauzieles in der Hochwasserrückhaltung von 320,20 m ü. NN durch Schließen des Einlaufbauwerks.

3.2 Variantenbetrachtung zum Standort des geplanten Einlaufbauwerks

3.2.1 Vorbetrachtungen

Gemäß der Landesplanerischen Beurteilung [2] sind bei der Variantenbetrachtung zum Standort des Einlaufbauwerkes im Wesentlichen folgende Maßgaben zu berücksichtigen:

- A.II.1.6: Das geplante Einlaufbauwerk sollte möglichst am nordwestlichen Schenkel der Altwasserschleife errichtet werden. Technische Möglichkeiten, die eine Durchströmung des Flutpolders während der Speicherung erlauben, sind zu prüfen.
- A.II.4.3: Es ist dafür Sorge zu tragen, dass die Leichtigkeit und Sicherheit der Schifffahrt auf der Donau durch das Vorhaben nicht beeinträchtigt wird.

Die Standortsuche für das Einlaufbauwerk erfolgte mit dem Ziel, unter Berücksichtigung der topografischen Verhältnisse die Lage zu finden, bei der das zur Verfügung stehende Volumen optimal genutzt werden kann (Stauziel von 320,20 m u. NN muss erreichbar sein) und die geringsten naturschutzfachlichen Eingriffe zu erwarten sind. Zudem soll die Flutung der Hochwasserrückhaltung so erfolgen, dass im Umfeld keine Schäden entstehen bzw. diese auf ein verträgliches Minimum beschränkt werden können.

Grundsätzlich bestehen in folgenden Bereichen an der geplanten Hochwasserrückhaltung Möglichkeiten zur Anordnung eines Einlaufbauwerks:

- Einlaufbauwerk im Bereich der oberen Öberauer Schleife (am nordwestlichen Schenkel)
- Einlaufbauwerk im Bereich der unteren Öberauer Schleife (am südöstlichen Schenkel)
- Einlaufbauwerk am Kößnach-Ableiter

Im Folgenden werden gemäß dem Raumordnungsverfahren und der Landesplanerischen Beurteilung nur Standorte im Bereich der oberen Öberauer Schleife näher betrachtet.

Es werden keine Standorte im Bereich der unteren Öberauer Schleife (zwischen Donau-km 2330+800 und 2331+500) untersucht. Mit einer Lage an der unteren Schleife kann das Stauziel in der HWR von 320,20 m ü. NN, aufgrund des geringeren Donauwasserspiegels nicht erreicht werden, da bei HQ30 hier nur max. Wasserstände in der Donau von 320,10 bis 320,15 m ü. NN auftreten, s. Tabelle 1. Solche Abstriche bei der Zielerreichung und der Wirkung (Stauziel nicht erreichbar) sind bei Flutpolderprojekten nicht hinnehmbar.

Weiterhin wurden mittlerweile zwischen Donau-km 2330+700 und 2331+330 vier Schiffsanlegestellen für Fahrgastkabinenschiffe an der unteren Schleife errichtet. Das und die Lage im Bereich des oberwasserseitigen Vorhafens (Schleuse Straubing) sind weitere Nachteile dieses Gewässerabschnittes.

Auch die Möglichkeit die geplante Hochwasserrückhaltung rückwärtig über ein Einlaufbauwerk am Kößnach-Ableiter zu fluten, wird nicht untersucht. Die Wasserspiegellage unterstrom der Staustufe Straubing ist geringer als oberstrom in der Stauhaltung, so dass ein Stauziel von 320,20 m ü. NN bei rückwärtiger Einleitung nicht erzielbar wäre. Damit ist die Zielerreichung nicht gegeben. Zudem ist aufgrund der geringeren Wasserspiegellage die Leistungsfähigkeit geringer als bei Einleitung von oberstrom, was wiederum ein größeres Bauwerk mit zumindest flächig größeren Eingriffen in Rechte Dritter zur Folge hätte.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin Einlauf- und Auslaufbauwerk in einem Bauwerk zu kombinieren. Diese Variante wird aus folgenden Gründen ebenfalls nicht weiter untersucht:

- Die Geländehöhen in der Hochwasserrückhaltung nehmen in Fließrichtung der Öberauer Schleife ab. Um ein hohes Stauziel (bspw. 320,00 ... 320,30 m ü. NN) und damit die Zielerreichung in der Rückhaltung zu erreichen, ist daher ein Standort oberstrom im Bereich der Stauhaltung Straubing von Vorteil.
- Die Hochwasserrückhaltung erstreckt sich im Wesentlichen entlang der Stauhaltung Straubing. Eine Entleerung ist nur ins Unterwasser der Stauhaltung sinnvoll, weil die Wasserspiegel in der Stauhaltung Straubing höher liegen als das Stauziel in der Hochwasserrückhaltung. Eine Entleerung der Hochwasserrückhaltung in die Stauhaltung wäre demzufolge nur mit einem Pumpwerk möglich.
- Alternativ ist eine Einleitung auch von unterstrom (Kößnach-Ableiter) möglich. Hier kann jedoch nur ein niedriges Stauziel (max. bis 319,25 m ü. NN) und damit nur eine geringe Rückhaltungswirkung erreicht werden.

Die Vorteile eines kombinierten Einlauf- und Auslaufbauwerkes, das zur Vermeidung eines Pumpwerkes somit nur am Kößnach-Ableiter angeordnet werden kann, ergeben sich durch die Kostensenkung beim Bau nur eines Bauwerkes sowie infolge des niedrigen Stauziels durch die geringeren Deichhöhen der geplanten Polderdeiche. Da mit einem kombinierten Einlauf- und Auslaufbauwerk das potentiell zur Verfügung stehende Rückhaltevolumen jedoch nicht ausreichend genutzt werden kann, wird diese Variante aufgrund nicht gegebener Zielerreichung nicht weiterverfolgt.

3.2.2 Varianten zum Standort

Als potentieller Untersuchungsbereich für die Anordnung des Einlaufbauwerkes wird der nordwestliche Schenkel der Altwasserschleife an der oberen Schleife zwischen Donau-km 2332,700 und 2333,750 eingegrenzt, s. nachfolgende Abbildung 1.

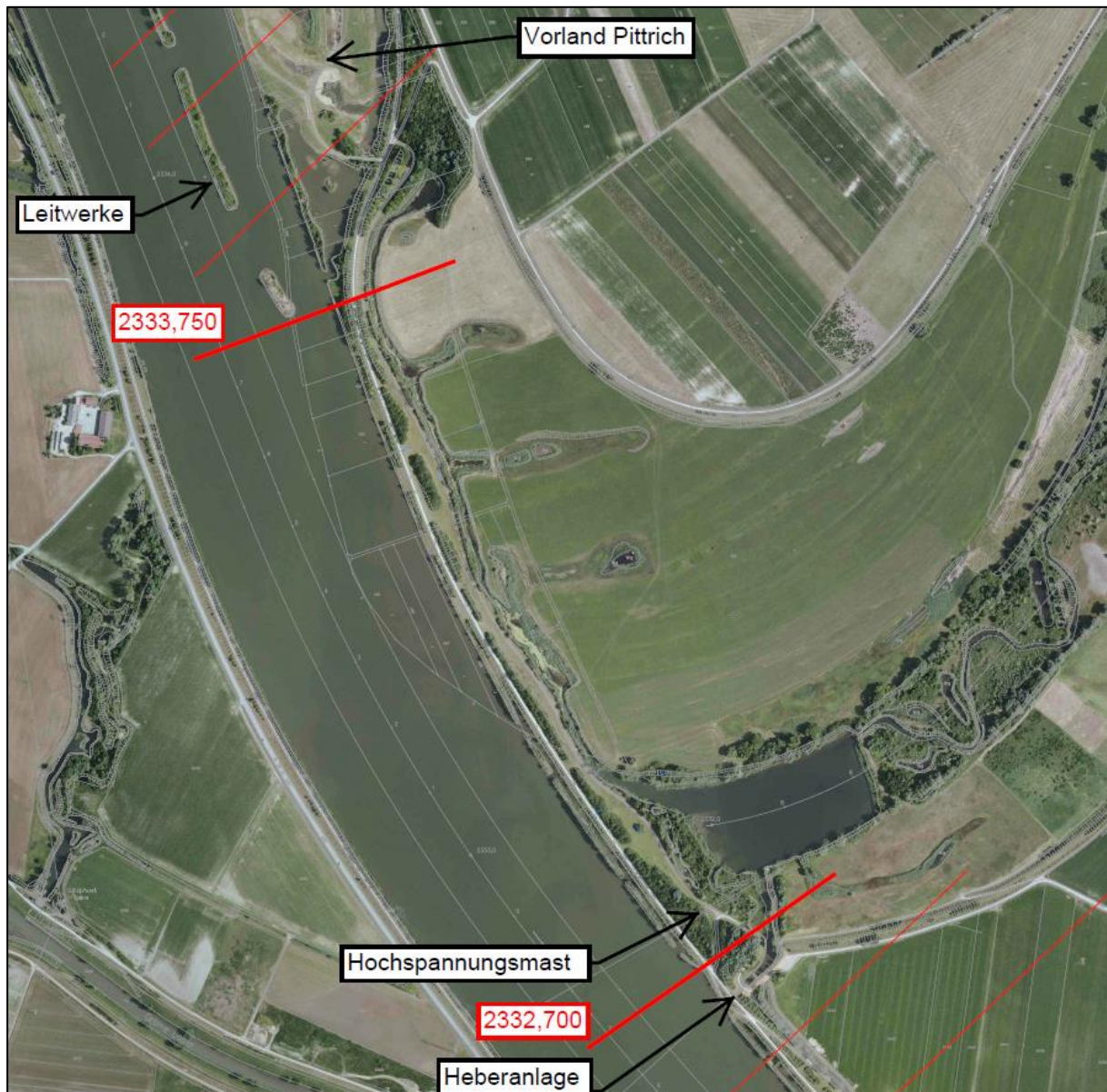


Abbildung 1: potentieller Untersuchungsbereich für die Standortvarianten des Einlaufbauwerks

Begrenzung und Einschränkungen im Süden

Südlich des Donau-km 2332,700 befindet sich die Heberanlage der WSV, welche die Öberauer Schleife mit Frischwasser versorgt. Bei Standorten ab bzw. oberstrom der Heberanlage ist es möglich, die HWR bis zu ihrem Stauziel von 320,20 m ü. NN zu fluten. Bei Standorten südlich der Heberanlage liegt der Wasserstand in der Donau teilweise niedriger als das Stauziel, so dass keine vollständige Ausnutzung des verfügbaren Poldervolumens erfolgen kann, s. Tabelle 1. Mit Standorten für ein Einlaufbauwerk südlich der Heberanlage kann somit das Projektziel nicht erreicht werden.

Unmittelbar nördlich der Heberanlage, etwa bei Donau-km 2332,780 befindet sich zudem ein Hochspannungsmast der Heider Energie. Eine Standortvariante für das Einlaufbauwerk zwischen dem bestehenden Hochspannungsmast und der Heberanlage wird ebenfalls ausgeschlossen, da unter Berücksichtigung eines Sicherheitsabstandes zum Hochspannungsmast und zu den Anlagen der WSV die Platzverhältnisse nicht ausreichen. Zudem ist hier ein größerer Auwaldbereich sowie bei Flutung der Grabenzug von Heberanlage zum Absetzbecken betroffen.

Eine Verlegung des bestehenden Hochspannungsmastes ist zwar grundsätzlich möglich, bedarf bei einer Verschiebung nach Süden jedoch voraussichtlich auch den Ersatzneubau des Mastes am rechten Donauufer sowie die Erneuerung der ca. 500 m langen Freileitungen über die Donau. Aufgrund dieser erhöhten Aufwendungen kommt eine Verlegung des Hochspannungsmastes nicht in Betracht.

Begrenzung und Einschränkungen im Norden

Im Norden wird ein Standort für das Einlaufbauwerk durch den Anschluss des Stauhaltungsdammes an den ehemaligen linken Donaudeich der Oberauer Schleife, durch das Pittricher Vorland und die Leitwerke in der Donau beschränkt.

Die Leitwerke in der Donau dienen der Abtrennung der Fahrrinne vom Pittricher Vorland und wurden im Zuge des Staustufenbaus angelegt. Der Teil der Donau zwischen Pittricher Vorland und den Leitwerken dient zwar auch der Ableitung von Hochwasser der Donau, liegt jedoch viel höher als die Fahrrinne und geht in das höher liegende Vorland über. Das Pittricher Vorland wurde zudem mit umfangreichen Ausgleichsmaßnahmen (u. a. Nass- und Feuchtwiesen, Röhrichte, Kleingewässer) überbaut und fungiert bei Hochwasser als strömungsberuhigter Bereich und Rückzugsort für Fische.

Aufgrund der linksseitigen Leitwerke und der Fahrrinne erfolgt die Hauptströmung bei Hochwasser am rechten Ufer der Donau. Für die Anströmung eines Einlaufbauwerks sind die Leitwerke eher ungünstig, weswegen Standorte nördlich der Leitwerke (Donau-km 2333,750) ausgeschlossen werden.

Standorte nördlich des Donau-km 2333,700 verursachen zudem erhebliche Eingriffe in das Pittricher Vorland. Um eine ausreichende Anströmung zum Einlaufbauwerk sicher zu stellen, müssten auch die zwei südlichsten Leitwerke entfernt werden. Weiterhin sind voraussichtlich Schutzmaßnahmen in Form von Geländerverwallungen auf dem Vorland erforderlich um bei der Polderflutung die Gefahr des Verdriftens von Fischen aus dem Vorland in die HWR zu vermindern bzw. zu verringern.

Bei der Standortwahl für das Einlaufbauwerk wurden folgende Randbedingungen beachtet:

- Verlauf des linken Stauhaltungsdamms der Donau,
- FFH-Gebiet „Donau und Altwässer zwischen Regensburg und Straubing“ (DE 7040-371),
- SPA-Gebiet „Donau zwischen Regensburg und Straubing“ (DE 7040-471),
- geschützte Biotope und Arten,
- Anbindung von Wegen und befahrbaren Straßen,
- Hochspannungsmasten einer 20 kV-Freileitung,
- Grabenzüge und Seigen,
- Pittricher Vorland und Leitwerke in der Donau.

Unter Beachtung der o.g. Randbedingungen wurden drei Varianten zum Standort (S) des Einlaufbauwerkes (EBW) erarbeitet:

- | | |
|------------------|--------------------------------------|
| Variante EBW S1: | Einlaufbauwerk bei Donau-km 2332,860 |
| Variante EBW S2: | Einlaufbauwerk bei Donau-km 2333,015 |
| Variante EBW S3: | Einlaufbauwerk bei Donau-km 2333,520 |

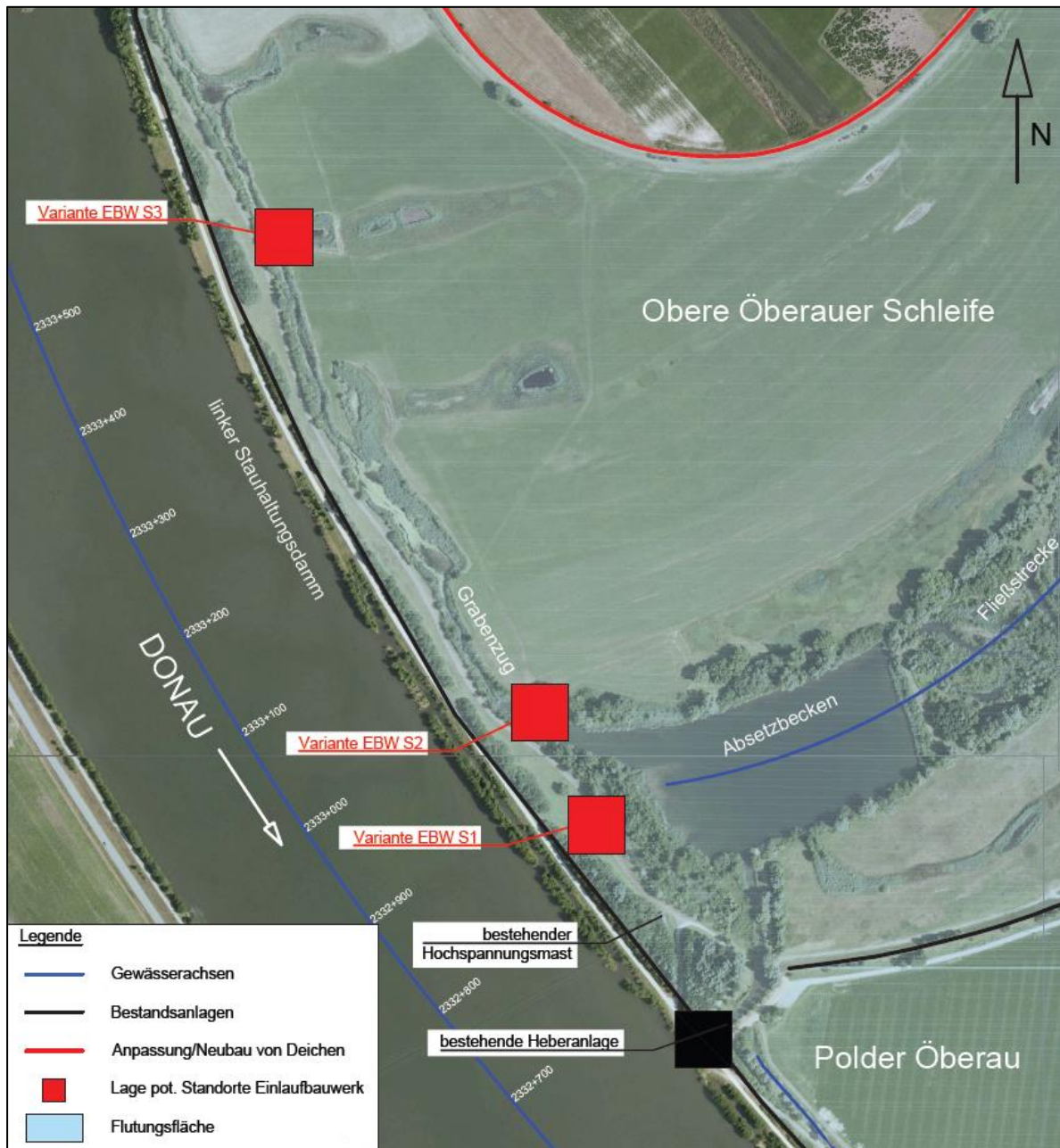


Abbildung 2: Standortvarianten für das Einlaufbauwerk der geplanten Hochwasserrückhaltung

Variante EBW S1 liegt zwischen dem Hochspannungsmast und dem vorh. Grabenzug zum Absetzbecken im Bereich von Wiesen- und Gehölzflächen (Donau-km 2332,800 bis 2333,000). Die Bauwerksachse liegt in Richtung des Absetzbeckens und damit nur leicht geneigt zur Donau. Damit sind Auswirkungen auf die Sohle des Absetzbeckens infolge des Einstromprozesses gering.

Variante EBW S1 beansprucht teils prioritäre Lebensraumtypen (hier WA91E0 - Auwald) führt zu einem großen Eingriff in die Uferzonen am Absetzbecken. Daraus resultieren weiterhin Habitatverluste von u. a. Röhricht brütenden Vogelarten und Beeinträchtigung von Biberlebensräumen. Allerdings verursacht die Variante EBW S1 durch die geringe Eindrehung zur Donau die geringste Flächeninanspruchnahme aller Standortvarianten.

In Bezug auf die Anströmung von der Donau ist diese jedoch weniger günstig als bei den anderen Varianten. Vertiefende hydraulische Untersuchungen zeigten zudem, dass die einzelnen Felder infol-

ge der ungünstigen Anströmung eine sehr aufwändige und komplizierte Steuerung erfordern. Weiterhin variiert infolge der geringen Eindrehung die Leistungsfähigkeit der einzelnen Felder, was eine Vergrößerung des Bauwerkes für vergleichbare Leistung an diesem Standort erfordert. Durch die komplexe Steuerung und die verminderte Leistungsfähigkeit ist eine höhere Fehleranfälligkeit bei Polderflutung zu erwarten. Die Gefahr des zu raschen oder zu langsamen Füllens der HWR steigt.

Aufgrund der komplizierten und fehleranfälligen Steuerung bei dieser Variante ist das Projektziel (insbesondere Kappung der Hochwasserwelle, Aktivierung des größtmöglichen Rückhaltes) nicht realisierbar. Daher wird die Standortvariante EBW S1 ausgeschlossen und nachfolgend nicht näher betrachtet.

Variante EBW S2 liegt nördlich des Standorts der Variante EBW S1 auf Höhe des bestehenden Grabenzuges zum Absetzbecken. Das Einlaufbauwerk verläuft damit schräger zur Donau, etwa in der Achse des Grabenzuges. Die Anströmung zum Einlaufbauwerk ist damit deutlich günstiger als bei Variante EBW S1. Die Leistungsfähigkeit des Einlaufbauwerks wird dadurch um ca. 20 % gegenüber der Variante EBW S1 erhöht, die Steuerung vereinfacht und die Reserven bei zu raschem oder zu langsamem Fluten erhöht.

Infolge der schrägen Lage zur Donau ist jedoch ein langes Zulaufgerinne zum Bauwerk erforderlich und der vorhandene Grabenzug muss auf einer Länge von ca. 200 m in die nördlichen Wiesenflächen verlegt werden.

Auf der Landseite begünstigt der Grabenzug zum Absetzbecken hingegen die Ableitung des einströmenden Wassers in das Absetzbecken. Jedoch können durch die schräg gerichtete Strömung Auswirkungen auf die Sohle des Absetzbeckens nicht ausgeschlossen werden.

Variante EBW S2 liegt ebenfalls im Bereich von u. a. prioritären Lebensraumtypen (hier WA91E0 - Auwald), die sich sowohl nördlich als auch südlich des Absetzbeckens und des Grabenzuges befinden. Zudem sind hochwertige Grünländer auf den „Saulburger Wiesen“ nördlich des Absetzbeckens durch die Neuanlage des Grabenzuges betroffen (hier GE6510 und LR6510, magere und artenreiche Flachlandmähwiesen), das wiederum zur Reduzierung des bedeutenden Wiesenbrüterlebensraums führt. Infolge der starken Eindrehung zur Donau und des langen Zulaufgerinnes wird bei dieser Variante eine große Flächeninanspruchnahme verursacht, die entsprechend zu einem höheren Habitatverlust besonders und streng geschützter Tierarten (z. B. Röhrich und Gehölz brütende Vogelarten, Weichtiere, Libellen, Wasserinsekten) führt. Ebenso wie bei Variante EBW S1 resultieren aus dieser Variante Beeinträchtigungen des Biberlebensraumes und große Eingriff in die Uferzonen des Absetzbeckens (ebenfalls Lebensraumtypen, hier SU 3150, VH, VU 3150).

Bei den beiden Varianten EBW S1 und S2 dient das Absetzbecken der raschen Ausbildung eines Wasserpollsters und so der Verringerung der Erosionsgefahr auf den Vorlandflächen. Beide Varianten erfordern zudem die Unterbrechung der donauseitigen Parallelwerke (Ruhezonen für Fische) im Bauwerksbereich.

Variante EBW S3 liegt weiter nördlich im bestehenden Grabenzug landseitig des Stauhaltungsdammes und ist nicht direkt an das Absetzbecken angeschlossen.

Durch die Lage am strömungsberuhigten Innenufer und im Bereich der Leitwerke in der Donau muss das Einlaufbauwerk noch stärker eingedreht werden als bei Variante EBW S2. Dadurch sind die Länge des Zulaufgerinnes zur Donau und die gesamte Flächeninanspruchnahme bei Variante EBW S3 am größten. Durch die unmittelbare Nähe zum Vorland Pittrich sind Auswirkungen in diesem Bereich nicht auszuschließen. So ist beim Flutungsvorgang davon auszugehen, dass Fische, die das Vorland Pittrich als Ruhezone bei Hochwasser aufsuchen, in die HWR verdriftet werden.

Das Einlaufbauwerk liegt bei dieser Variante vorwiegend auf Ausgleichsflächen für den Bau der Staustufe Straubing. Es handelt sich um einen bislang ungestörten und ruhigen Vorlandbereich mit hervorragendem Seigenrelief, der Saulburger Wiesen mit hochwertigen Grünländern (hier GE6510 und LR6510, magere und artenreiche Flachlandmähwiesen) und bedeutenden Lebensräumen für gefährdete Wiesenbrüter (u. a. Großer Brachvogel).

Obwohl ein Teil der landseitigen Seigen durch das Einlaufbauwerk überbaut wird, bieten diese wiederum die Möglichkeit zur Anlage einer ausgedehnten Tosmulde für die Energieumwandlung. Die Tosmulde kann dabei als Feuchtbiotop oder ständig wasserführendes Kleingewässer ausgebildet werden.

Jedoch muss der vorhandene Grabenzug auf einer Länge von ca. 500 m um das Einlaufbauwerk und die Tosmulde herum verlegt werden. Verbindungen zwischen Tosmulde und Grabenzug sind möglich, begünstigen jedoch Erosionen während der Flutung der HWR. Die Umverlegung führt u. a. zum Verlust von einer Vielzahl an Brutrevieren Röhricht bewohnender Brutvögel am Grabenzug. Zudem werden Habitate von Libellen, Tagfalter, Wasserinsekten, Mollusken mit z.T. hoch- und sehr hochwertem Artvorkommen beansprucht. Durch weit ins Vorland hineinreichende Errichtung des Gesamtbauwerkes resultieren sehr hohe optische Beeinträchtigungen für Wiesen brütende Vögel (Verstärkung der sog. Kulissenwirkung), die zur großflächigen Reduzierung des Habitates führen können.

Nachteilig ist die vorhandene Geländestruktur auf den Wiesen, deren Höhenlage in Richtung Absetzbecken und untere Schleife abnimmt. Dadurch kann sich auf den angrenzenden Wiesenflächen während der Flutung kein rasches Wasserpolder ausbilden und Erosionsprozesse auf den Wiesen und im Grabenzug sind zu erwarten.

Eine weitere Variante zwischen S2 und S3 wurde nicht untersucht, da die Seigen und der Abschnitt des Grabenzuges zwischen diesen beiden Varianten mit Abstand die wertvollsten naturschutzfachlichen Bereiche darstellen. Die Lage der Standortvariante EBW S3 nördlich dieses hochwertigen Bereiches wurde somit auch zur Verringerung von Eingriffen gewählt.

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Varianten für den Standort des Einlaufbauwerkes an der Donau

	EBW S1	EBW S2	EBW S3
Donau-km:	ca. 2332,860	ca. 2332,950	ca. 2333,550
WSP Donau:	HQ30 = 320,28 m ü. NN HQ100 = 320,50 m ü. NN	HQ30 = 320,31 m ü. NN HQ100 = 320,52 m ü. NN	HQ30 = 320,40 m ü. NN HQ100 = 320,64 m ü. NN
Dammhöhe:	322,1 m ü. NN	322,2 bis 322,3 m ü. NN	322,3 m ü. NN
Kronenbreite	4,0 bis 8,0 m	4,0 bis 8,0 m	4,0 m
Neigung ws Böschung:	1 : 2,5	1 : 2,5	1 : 2,5
Neigung ls Böschung:	1 : 4 bis 1 : 5	1 : 4 bis 1 : 5	Variabel, bis 1 : 9
Lage:	Linker Stauhaltungs- damm in ehem. Flussbett der Donau (ehem. Außenkurve Donau, ehem. Schifffahrts- rinne, Prallhang)	Linker Stauhaltungs- damm in ehem. Vorlandbereich der Donau (ehem. Innenkurve Donau, Gleithang)	Linker Stauhaltungs- damm stromauf der ehemaligen Donauschleife im Vorland, keine direkte Verbindung zum Absetzbecken

	EBW S1	EBW S2	EBW S3
Bauwerksteile:	Zulaufkanal, Bauwerk mit beweglichen Verschlüssen, Tosbecken Anschlussgerinne zum Ab- setzbecken/Altarm	Zulaufkanal, Bauwerk mit beweglichen Verschlüssen, Tosbecken Anschlussgerinne zum Ab- setzbecken/Altarm, Verlegung Grabenzug (200 m)	Zulaufkanal, Bauwerk mit beweglichen Verschlüssen, ausgedehnte Tosmulde, Verlegung Grabenzug (500 m)
Vorteile:	geringer Flächenverbrauch, gute Anbindung an das Absetzbecken, keine Eingriffe in den Wie- senlebensraum, den Gra- benzug und die Seigen, keine optische Beeinträchti- gung für Wiesenbrüter	günstige Anströmung, einfache Steuerung, gute Anbindung an das Absetzbecken	größte hydraulische Leis- tung, einfache Steuerung, günstige Anströmung (aber weniger gut als bei S2 infol- ge Leitwerke in der Donau) keine Ruhezonen für Fische in Donau betroffen
Nachteile:	Rechnerisch geringste hyd- raulische Leistung (gerings- tes Wasserspiegelgefälle zwischen Donau und Hoch- wasserrückhaltung), ungünstige Anströmung, komplexe Steuerung, Eingriff in Auwald, Uferbe- reich Absetzbecken und vorgelagerte Rinnen mit Wasserpflanzenvegetation, Ruhezonen für Fische in Donau betroffen	großer Flächenverbrauch für Zulauf- und Ablaufgerinne sowie Wiederherstellung des Grabenzuges, Eingriff in Auwald, Uferbe- reich Absetzbecken und Wiesen sowie optische Be- einträchtigung durch rand- liche Lage im Vorland (mo- derate Teilentwertung Wie- senbrüter), Ruhezonen für Fische in Donau betroffen	größter Flächenbedarf für Zulaufgerinne, Tosmulde und Wiederherstellung des Grabenzuges, Lage in Wiesenlebensraum und vorh. Seige, optische Beeinträchtigung durch Lage im Vorland (Teil- entwertung Wiesenbrüter großflächig), Erosionen auf Wiesenflächen und im Gra- benzug wahrscheinlich
Vertiefte Gegenüber- stellung in Anhang A	Ausschluss, da komplizierte Steuerung und geringe Leis- tungsfähigkeit die Zielerrei- chung gefährden, nicht in Anhang A enthalten	nähere Gegenüberstellung in Anhang A	nähere Gegenüberstellung in Anhang A

3.2.3 Variantenvergleich und Erarbeitung einer Vorzugsvariante zum Standort

Der Variantenvergleich mit Hilfe der Bewertungsmatrix in Anhang A kommt zu dem Ergebnis, dass die Variante EBW S2 sowohl in der Gesamtbewertung als auch bei der Bewertung der Teilkriterien „Technisch & Wasserwirtschaftlich“, „Naturschutz“ und „Sonstiges“ im Einzelnen betrachtet vor der Variante EBW S3 liegt.

Die Variante EBW S2 verursacht einerseits eine geringere Flächeninanspruchnahme und damit weniger Eingriffe in den Naturhaushalt und erfordert aufgrund der Lage am Absetzbecken nur moderate Kosten. Damit ist der Variante EBW S2 in der Bewertungsmatrix in Anhang A sowohl aus naturschutzfachlicher, als auch wasserwirtschaftlicher Sicht der Vorzug zu geben.

Die einzigen Nachteile der Variante EBW S2 sind die Betroffenheit teils prioritärer Auwaldstrukturen am Absetzbecken, die Verlegung des Grabenzuges sowie eine geringfügig niedrigere hydraulische Leistungsfähigkeit. Die geringere Beeinträchtigung weiterer Schutzgüter in der Öberauer Schleife im Vergleich zur Variante EBW S3 überwiegen jedoch diese Nachteile.

Die Variante EBW S3 verursacht durch die Lage im Grabenzug und den Seigen sowie im Bereich der Saulburger Wiesen eine weitaus höhere naturschutzfachliche Betroffenheit als die Variante EBW S2. Für diese Variante ist eine Genehmigungsfähigkeit nur unter sehr gewichtigen Gründen erreichbar. Da durch Variante EBW S2 eine Alternative mit geringerer Betroffenheit vorliegt, sind bei Variante EBW S3 höhere Genehmigungswiderstände zu erwarten.

=> Vorzugsvariante: Variante EBW S2 mit Einlaufbauwerk bei Donau-km 2332,950

3.3 Variantenbetrachtung zum Funktionsprinzip und zur Bauweise

3.3.1 Varianten zum Funktionsprinzip

Grundsätzlich bestehen folgende Prinzipien für die Einleitung in die Hochwasserrückhaltung:

- Freispiegelabfluss,
- Druckabfluss,
- Überleitung mittels Heber,
- Pumpenanlage.

Die Pumpenanlage scheidet aus wirtschaftlichen und ökologischen Gründen aus. Das Wasserspiegelgefälle zwischen der Hochwasser führenden Donau und der Hochwasserrückhaltung ist für die Flutung ausreichend. Außerdem ist nicht vorgesehen, die Hochwasserrückhaltung höher als die Donau im Bereich der Stauhaltung Straubing einzustauen.

Der Heberüberfall als selbständige Anlage oder als Anlagenteil wird nicht weiter betrachtet, weil das stoßweise Anspringen des Hebers eine plötzliche Abflusswelle (Schwall) in Unterwasser erzeugt, die sich ungünstig auf die Abflussbedingungen im Absetzbecken bzw. in der Hochwasserrückhaltung auswirken können. Zudem ist eine Steuerung mittels Heberanlage recht kompliziert zu realisieren.

Somit sind nur die Funktionsprinzipien Freispiegel- und Druckabfluss bzw. eine Kombination beider für eine Einleitung in die Hochwasserrückhaltung geeignet.

3.3.2 Varianten zur Bauweise

Losgelöst von den Standorten sind für die o. g. hydraulischen Funktionsprinzipien folgende Bauweisen möglich:

- offene Bauweise (Freispiegelabfluss) mit Brücke (vergleichbar einer Wehranlage),
- teiloffene Bauweise (Druckabfluss) mit Staubalken und Brücke,
- geschlossene Bauweise (Druckabfluss), in Stauhaltungsdamm integriert (vergleichbar einem Durchlassbauwerk).

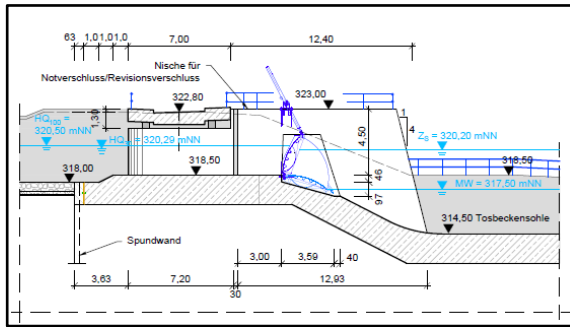


Abbildung 3: offene Bauweise mit Brücke

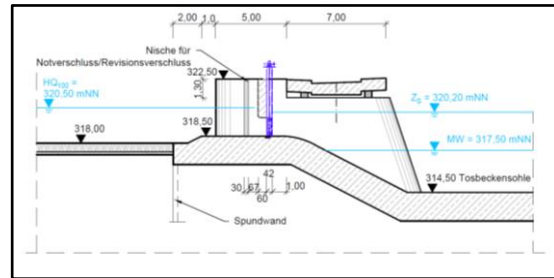
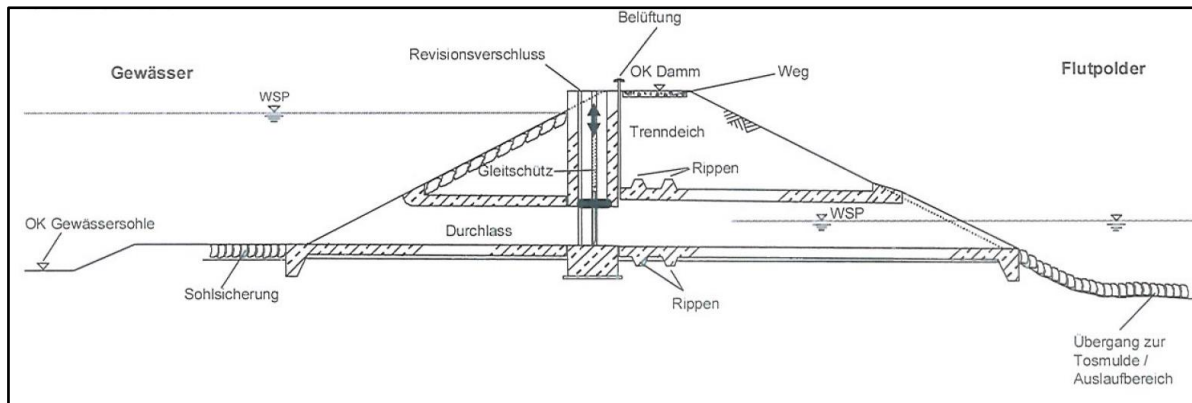
Abbildung 4: teiloffene Bauweise mit Staubalken
und Brücke

Abbildung 5: geschlossene Bauweise (Durchlassbauwerk)

3.3.3 Bauwerk mit Freispiegelabfluss (offene Bauweise)

Bei diesem Funktionsprinzip wird das Einlaufbauwerk mit unter- und/oder überströmten Verschlüssen ausgerüstet. Spätestens mit kompletter Freigabe der Verschlussebene fließt das Wasser aus der Donau mit freiem Wasserspiegel in die Hochwasserrückhaltung. Voraussetzung für den Freispiegelabfluss ist, dass die Bauwerksabmessungen durch die örtlichen Verhältnisse nicht begrenzt werden.

Konstruktion:

Das Einlaufbauwerk besteht aus einem Staubauwerk mit mehreren Wehrfeldern, die mit beweglichen Verschlüssen ausgerüstet sind. An das Staubauwerk schließt sich eine unterwasserseitige Energieumwandlungsanlage (Tosbecken, Tosmulde) an.

Vorteile:

- einfache, solide Konstruktion, gegliederte Bauweise, funktionell und übersichtlich,
- Abflussvorgänge sind jederzeit gut zu beobachten und zu kontrollieren,
- die Anlage ist hydraulisch überlastbar,
- einfaches Erkennen von Gefährdungslagen wie z.B. Undichtigkeit, Verklausungen, Versagen beim Schließen der Wehrverschlüsse, einfachere Gefahrenbeseitigung und Gefahrenabwehr,
- einfache Kontrolle der Dichtigkeit der Verschlüsse,

- einfache Abflussregelung durch Freigabe von Wehrfeldern und Regelung des Öffnungsquerschnitts möglich,
- durch gute Kontrollmöglichkeiten und einfache Gefahrenbeseitigung ist eine Verschlussebene ausreichend.

Nachteile:

- Flächeninanspruchnahme/Breite relativ groß,
- bei Hochwasserabfluss mit Treibgut besteht für den Freispiegelabfluss potentiell eine höhere Verklausungsgefahr, da sich Treibgut in den Wehrfeldern bzw. an den Wehrverschlüssen versetzen kann (durch ausreichend breite Wehrfelder kann die Verklausungsgefahr jedoch reduziert werden),
- hoher Betonanteil, durch dammbreite Betonsohle, Pfeiler, Flügelmauern und Energieumwandlungsanlage (Tosbecken),
- geringe Einbindung in Landschaftsbild, da durch die offene Bauweise das Einlaufbauwerk eher als technische Anlage wahrgenommen wird.

3.3.4 Bauwerk mit Druckabfluss (teiloffene Bauweise)

Bei diesem Funktionsprinzip werden die Öffnungen des Einlaufbauwerks mit unterströmten Verschlüssen im Druckabfluss betrieben. Dadurch wird eine größere Druckhöhe als beim Freispiegelabfluss erzeugt, was die Leistungsfähigkeit erhöht und die Bauwerksabmessungen verringert. Infolge des Druckabflusses steigen die Fließgeschwindigkeiten im Unterwasser an, was höhere Aufwendungen hinsichtlich der Energieumwandlung erfordert.

Konstruktion:

Bei der teiloffenen Bauweise besteht das Staubauwerk aus mehreren Wehrfeldern mit Brücke und senkrechten Stauwänden, welche die Öffnungsquerschnitte begrenzen. An das Staubauwerk schließt sich, wie bei der offenen Bauweise, eine unterwasserseitige Energieumwandlungsanlage (Tosbecken). Durch die höheren Fließgeschwindigkeiten bei Druckabfluss sind im Tosbecken ggf. Einbauten, oder Tauchwände erforderlich.

Vorteile:

- mehr Druckhöhe, damit theoretisch kompakte Konstruktion mit geringeren Bauwerksabmessungen möglich,
- einfache, solide Konstruktion, gegliederte Bauweise, funktionell und übersichtlich,
- Abflussvorgänge sind jederzeit gut zu beobachten und zu kontrollieren,
- die Anlage ist hydraulisch überlastbar,
- einfaches Erkennen von Gefährdungslagen wie z.B. Undichtigkeit, Verklausungen, Versagen beim Schließen der Wehrverschlüsse, einfachere Gefahrenbeseitigung und Gefahrenabwehr,
- einfache Kontrolle der Dichtigkeit der Verschlüsse,
- durch gute Kontrollmöglichkeiten und einfache Gefahrenbeseitigung ist eine Verschlussebene ausreichend,

- bei Hochwasserabfluss mit wenig Treibgut besteht für den Druckabfluss potentiell eine geringere Verklausungsgefahr, da die Durchlassöffnungen unter Wasser liegen und das Treibgut an der Stauwand hängen bleibt.

Nachteile:

- bei rückgestautem Abfluss ist mit erheblicher Leistungsreduzierung zu rechnen,
- beträgt die Öffnungshöhe mehr als 75 % des Oberwasserstandes in der Donau ist mit Pulsationen und Unstetigkeiten im Abflussvorgang zu rechnen (wechselnder Aufstau und Durchschießen des Wassers führt zu Schwingungen, die den Bestand des Bauwerks gefährden),
- nicht für alle Lastfälle (HQ30, HQ100, HQ200) funktionsfähig, da beispielsweise für HQ30 die feste Öffnungshöhe mehr als 75 % des Oberwasserstand in der Donau erreicht,
- hoher Betonanteil, durch dammbreite Betonsohle, Pfeiler, Flügelmauern und Energieumwandlungsanlage (Tosbecken),
- im Zulauf ist ggf. eine Dalbenreihe erforderlich, um zu große Treibgutmengen abzuhalten (zu große Mengen könnten auch an der Stauwand zur Verklausung der unter Wasser liegenden Durchlassöffnungen führen),
- erhöhte Aufwendungen für Energieumwandlung (aufgrund des Druckabflusses sind ggf. im Tosbecken Einbauten oder Tauchwände erforderlich),
- geringe Einbindung in Landschaftsbild, da durch die offene Bauweise das Einlaufbauwerk eher als technische Anlage wahrgenommen wird.

3.3.5 Bauwerk mit Druckabfluss (geschlossene Bauweise)

Bei diesem Funktionsprinzip wird das Einlaufbauwerk mit mehreren Durchlässen im Druckabfluss betrieben. Hier wird, wie bei der teiloffenen Bauweise eine größere Druckhöhe als beim Freispiegelabfluss erzeugt, was die Leistungsfähigkeit erhöht und die Bauwerksabmessungen verringert. Durch die geschlossene Bauweise entstehen im Unterwasser hohe Fließgeschwindigkeiten, was bei der Energieumwandlung zu berücksichtigen ist.

Konstruktion:

Bei der geschlossenen Bauweise liegen die Verschlüsse unmittelbar am Donauufer in den vom Stauhaltungsamm überbauten Durchlässen. Um eine ausreichende Leistungsfähigkeit zu erzielen, muss das Durchlassbauwerk ggf. tiefer liegen als bei den beiden anderen Bauwerken. Zudem ist zur Energieumwandlung ggf. eine Toskammer oder eine Tauchwand erforderlich.

Vorteile:

- mehr Druckhöhe, damit theoretisch kompakte Konstruktion mit geringeren Bauwerksabmessungen möglich,
- die Anlage ist hydraulisch überlastbar,
- bei Hochwasserabfluss mit wenig Treibgut besteht für den Druckabfluss potentiell eine geringere Verklausungsgefahr, da die Durchlassöffnungen unter Wasser liegen und das Treibgut an der Stauwand hängen bleibt,

- geringer Betonanteil infolge Durchlassbauweise,
- gute Einbindung in Landschaftsbild, da durch die geschlossene Bauweise das Einlaufbauwerk nicht als technische Anlage wahrgenommen wird.

Nachteile:

- um für alle Lastfälle (HQ30, HQ100, HQ200) funktionsfähig zu sein, müssen die Durchlässe ggf. tiefer liegen, was eine tiefe Baugrube erfordert,
- aus Sicherheitsgründen ist ggf. eine zweite, automatisierte Verschlussebene erforderlich,
- im Zulauf ist ggf. ein Grobrechen (Dalbenreihe o. Treibgutabweiser) erforderlich, um zu große Treibgutmengen abzuhalten (zu große Mengen könnten zur Verklausung der unter Wasser liegenden Durchlassöffnungen führen),
- technisch und technologisch anspruchsvolle, aufwändige Bauweise, da Integration in den Stauhaltungsstamm (inkl. Dichtungsanschluss und bauzeitl. Fangedämme in der Stauhaltung),
- unvollständiges Schließen der Verschlüsse sowie Dichtigkeit der Verschlüsse visuell nicht prüfbar, da diese beidseitig unter Wasser liegen (Stauhaltung und Absetzbecken),
- Abflussvorgang und Energieumwandlung kann dadurch nicht oder nur eingeschränkt beobachtet werden,
- die Anlagenteile lassen sich nur aufwändig inspizieren (ggf. Trockenlegung für Inspektion mit Setzen beidseitiger Revisionsverschlüsse, ggf. Tauchereinsatz),
- erhöhte Aufwendungen für Energieumwandlung (aufgrund der tiefen Lage sind ggf. statt einem Tosbecken eine Toskammer oder Tauchwände erforderlich, Auswirkungen auf das Absetzbecken sind aufgrund der tiefen Lage nicht auszuschließen).

3.3.6 Vorschlag einer Vorzugsvariante zum Funktionsprinzip und zur Bauweise

Aufgrund des guten Abflussvorgangs, der einfachen Bauweise, der guten Kontrollmöglichkeiten, einfachen Gefahrenbeseitigung und den geringeren Aufwendungen für die Energieumwandlung (Auswirkung auf Absetzbecken) wird der offenen Bauweise der Vorzug vor den beiden anderen Varianten gegeben.

Eine Bauweise mit Druckabfluss wird aufgrund der geringen Wasserspiegelunterschiede zwischen Donau und Hochwasserrückhaltung (Absetzbecken) nicht empfohlen. Mit diesem Funktionsprinzip ist zwar zu Beginn der Flutung eine erhöhte Leistungsfähigkeit verbunden, jedoch ist diese bei rückgestautem Abfluss deutlich geringer. Hier besteht die Gefahr, dass die Anzahl und Größe der Öffnungen aufgrund der reduzierten Leistungsfähigkeit zum Ende der Flutung für eine Vollfüllung der Rückhaltung nicht mehr ausreichen.

Die geschlossene Bauweise ist aufgrund der aufwändigen Bauweise mit Integration in den Stauhaltungsstamm, der tieferen Lage mit den Auswirkungen auf die Energieumwandlung und das Absetzbecken sowie den eingeschränkten Möglichkeiten der Kontrolle und Gefahrenbeseitigung für den Einsatz als Einlaufbauwerk nicht zu empfehlen.

Auch die teiloffene Bauweise bietet nur wenig mehr Vorteile als die geschlossene Bauweise. Zudem ist mit dieser Variante die Funktionsfähigkeit bei kleineren Lastfällen, wie HQ30 nicht sichergestellt.

=> Empfohlene Vorzugsvariante: offene Bauweise mit Freispiegelabfluss

3.4 Variantenbetrachtung zur Steuerung des geplanten Einlaufbauwerks

3.4.1 Vorbetrachtungen

Das Einlaufbauwerk soll die gesteuerte Befüllung der Hochwasserrückhaltung ermöglichen. Unter „gesteuert“ wird dabei das nicht selbsttätige Beginnen der Befüllung verstanden.

Im Gegensatz zu ungesteuerten Betriebsweisen wird der Beginn der Füllung individuell für jedes Hochwasserereignis festgelegt. Eine möglichst effektive Kappung des Scheitels der Hochwasserwelle wird angestrebt. Im Folgenden werden drei unterschiedliche Varianten zur Steuerung dargestellt und miteinander verglichen:

Variante St1: Vollständige Steuerung über die gesamte Zeit zur optimalen Scheitelkappung

Variante St2: Steuerung des Zeitpunktes zur Öffnung und Schließung – „Auf-Zu-Modus“

Variante St3: Gestaffelter „Auf-Zu-Modus“

Im Folgenden liegen entsprechende Diagramme zu jeder Variante bei, welche die jeweilige Scheitelreduzierung und Steuerung verdeutlichen. Als Grundlage für die Vergleiche dient die Bauwerksvariante in offener Bauweise mit Freispiegelabfluss, s. Kapitel 3.3.

Da in der Natur höchst unterschiedliche Regenereignisse zu ebenso unterschiedlichen Hochwasserereignissen führen, ist auch die geplante Hochwasserrückhaltung je nach Hochwasserwelle unterschiedlich zu steuern. Um die Bandbreite abschätzen zu können, wurden die Bemessungsereignisse HQ100 und HQ200 auf Basis der Hochwasser 1988, 2002 und 2011 untersucht. Nachfolgend werden nur die Diagramme für HQ100 auf Basis des Bemessungsereignisses 2011 dargestellt. In Anlage 3 sind auch die anderen Darstellungen für die Vergleichsereignisse 1988 und 2002 sowie für HQ200 dokumentiert.

Es wurde ein Bauwerk am Standort EBW S2 angesetzt, mit welchem max. 11 Öffnungen mit je 6 m Breite zum Einsatz kommen, s. Kapitel 3.5. Die Überlaufschwelle liegt auf einer Höhe von 318,50 m ü. NN.

3.4.2 Variante St1 – Vollständige Steuerung

Die vollständige Steuerung hat die optimale Scheitelkappung mit Steuerung des Einlaufbauwerkes über die gesamte Füllzeit zum Ziel. Das heißt, es soll unabhängig von der Wellenform mit dem Einlaufbauwerk stets so viel Wasser in die Hochwasserrückhaltung abgeschlagen werden, dass der resultierende Pegel der Donau im Unterwasser konstant auf einen möglichst niedrigen Wert reduziert wird.

Bei Ausnutzung des Rückhaltevolumens von 13,84 Mio. m³ ist damit auf Basis des Hochwassers 2011 eine Scheitelreduzierung bei HQ100 um 197,30 m³/s möglich.

Dieses Ergebnis stellt den Idealfall dar, der unter realen Bedingungen nicht zu 100 % erreichbar ist. Ursache dafür sind die Unsicherheiten bei der Vorhersage der jeweiligen Hochwasserwelle. Möglicherweise kommt es auch zu Über- oder Untersteuerungen, sodass der Rückhalteraum entweder nicht effektiv genutzt wird oder bereits vor Ablauf der Wellenspitze voll ist.

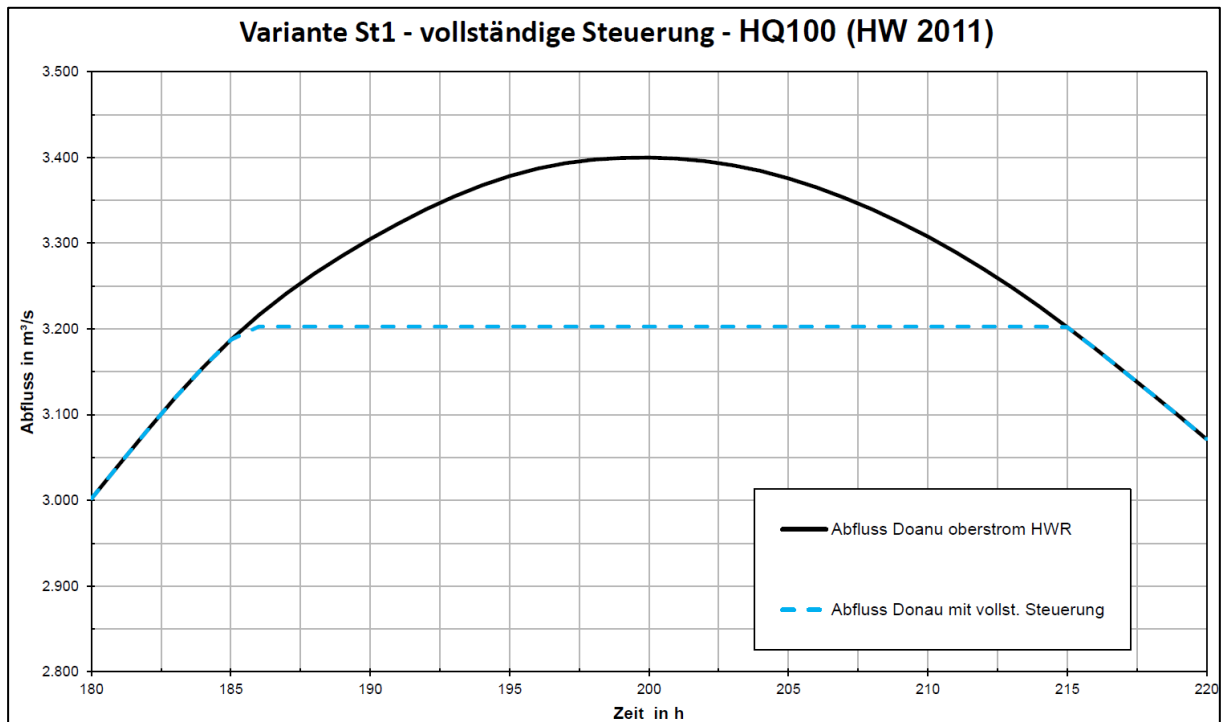


Abbildung 6: Darstellung der Abflussreduzierung bei Steuerungsvariante St1

3.4.3 Variante St2 – „Auf-Zu-Modus“

Als besonders einfache Steuerungsmöglichkeit ist der „Auf-Zu-Modus“ zu sehen, bei dem bei Erreichen eines bestimmten Wasserstandes das Einlaufbauwerk mit allen Öffnungsquerschnitten vollständig geöffnet und bei Erreichen des maximalen Wasserstandes in der Hochwasserrückhaltung das Einlaufbauwerk wieder geschlossen wird. Im Gegensatz zur vollständigen Steuerung wird beim „Auf-Zu-Modus“ einzig der Öffnungszeitpunkt variiert.

Für das HQ100 auf Basis des Hochwassers 2011 ist dieser Zeitpunkt die Stunde 190 nach Ereignisbeginn. Damit kann der Scheitel der Hochwasserwelle um 92,28 m³/s reduziert werden. Ein zu zeitiges Öffnen oder ein Verpassen des idealen Zeitpunktes bewirkt eine deutliche Wirkungsminderung. Es ist also auch hier eine genaue Kenntnis der Hochwasserwelle notwendig.

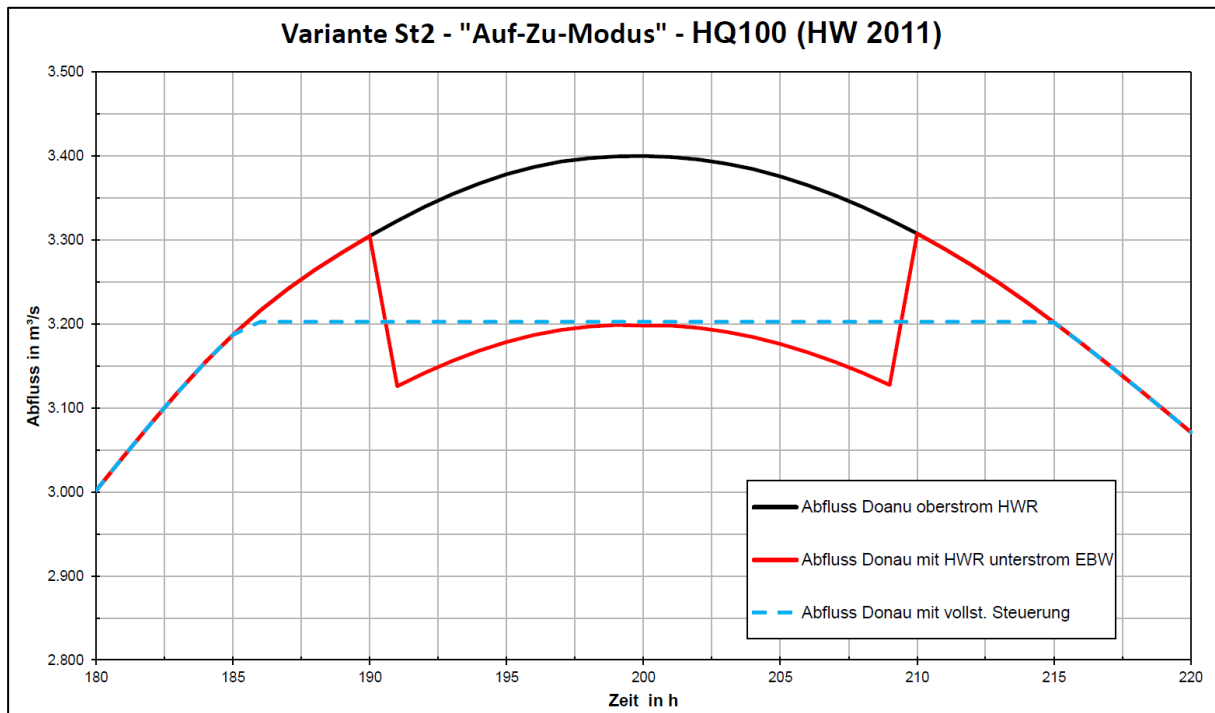


Abbildung 7: Darstellung der Abflussreduzierung bei Steuerungsvariante St2

3.4.4 Variante St3 – Gestaffelter „Auf-Zu-Modus“

Die Vorteile der beiden vorgenannten Varianten (einfache Steuerung und effiziente Rückhaltewirkung) vereint der gestaffelte „Auf-Zu-Modus“. Der „Auf-Zu-Modus“ (Variante St2) ist deshalb nachteilig, weil zu Anfang der Füllung die gesamte Kapazität des Einlaufbauwerkes genutzt wird, obwohl diese noch nicht notwendig ist. Da mehrere Verschlüsse vorhanden sind, erfolgt beim gestaffelten „Auf-Zu-Modus“ (Variante St3) hingegen eine schrittweise Freigabe der Öffnungen.

Je nach Hochwasserwelle bedeutet dies, dass ab einem festzulegenden Abflusswert schrittweise jeweils ein Verschluss vollständig geöffnet wird, bis alle erforderlichen Verschlüsse offen sind. Die Zeitpunkte für das Öffnen der einzelnen Verschlüsse werden dabei so gewählt, dass alle entstehenden Abflussspitzen in etwa die gleiche Höhe haben. So kann auf Basis des Hochwassers 2011 der Scheitel eines HQ100 um 181,88 m³/s reduziert werden.

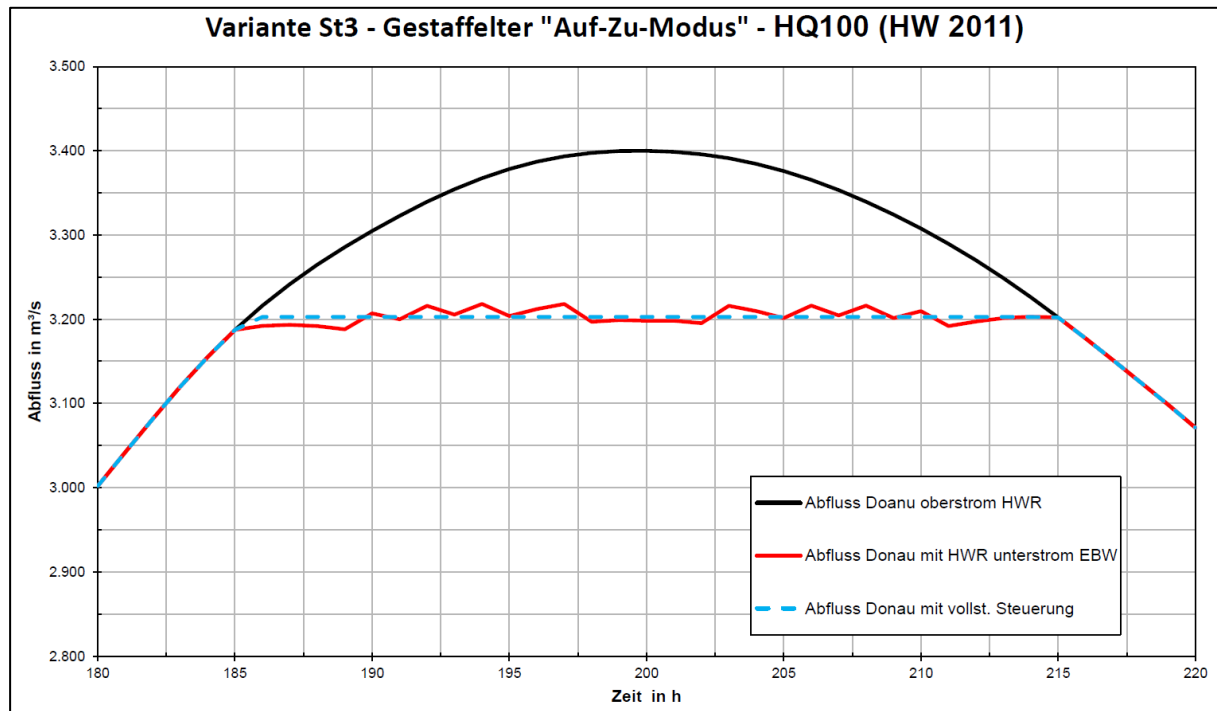


Abbildung 8: Darstellung der Abflussreduzierung bei Steuerungsvariante St3

3.4.5 Vorschlag einer Vorzugsvariante zur Steuerung des Einlaufbauwerkes

Die Variante St1 stellt einen Idealzustand dar, der in der Praxis nur schwer erreichbar ist. Dafür ist eine sehr genaue Kenntnis der gesamten Hochwasserwelle notwendig. Ebenso ist zur Steuerung ein Pegel in direkter Nähe des Einlaufbauwerkes erforderlich. Ein Beckenpegel ist hilfreich, aber zur Steuerung nicht zwingend erforderlich. Weiterhin muss der Öffnungsgrad der einzelnen Verschlüsse permanent gemessen und anhand der Hochwasserwelle angepasst werden.

Der vorgeschlagene „Auf-Zu-Modus“ gemäß Variante St2 stellt eine einfache Möglichkeit der Bedienung dar. Es wird lediglich ein Öffnungszeitpunkt anhand der Vorhersage der Hochwasserwelle festgelegt. Allerdings kann mit dieser Variante nicht auf die Form der Welle eingegangen werden, was dazu führt, dass zu Anfang der Füllung die gesamte Kapazität des Einlaufbauwerkes genutzt wird, obwohl diese noch nicht notwendig ist. Dadurch füllt sich die Hochwasserrückhaltung zu rasch, so dass am Ende der Füllung das Volumen bereits erschöpft ist. Die Folge ist eine deutlich geringere Scheitelreduzierung.

Ein gestaffeltes Öffnen der Verschlüsse gemäß Variante St3 reduziert den Nachteil der ineffizienten Nutzung der Hochwasserrückhaltung beim „Auf-Zu-Modus“ nach Variante St2.

Dennoch ist das Zeitfenster zum Öffnen auch bei Variante St3 sehr klein (ca. 4 bis 6 Stunden bei Hochwasser 2011). Wird zu zeitig oder zu spät geöffnet, ist die Wirkung der Hochwasserrückhaltung auch beim gestaffelten „Auf-Zu-Modus“ nennenswert eingeschränkt und liegt im Bereich der Variante St2. Es ist also auch bei Variante St3 notwendig, die Form und Höhe der Hochwasserwelle möglichst genau vorherzusagen.

Die folgende Tabelle fasst die Ergebnisse aller Berechnungen aus Anlage 3 zusammen:

3.5 Variantenbetrachtung zur Anzahl, Breite und Höhe der Wehrfelder am geplanten Einlaufbauwerk

3.5.1 Vorbetrachtungen

Im Raumordnungsverfahren wurden in einer Vordimensionierung für das Einlaufbauwerk 10 Wehrfelder mit einer Breite von je 5 m vorgeschlagen. Als Höhe der Wehrschwelle wurde 318,50 m ü. NN gewählt.

In Anlehnung an diese Vorgabe soll zunächst die erforderliche Anzahl der Wehrfelder für die Hochwasserereignisse HQ30, HQ100 und HQ200 auf Basis der Hochwasser 1988, 2002, 2011 ermittelt werden. Anhand des Hochwasserereignisses 2011, das als primäres Bemessungsereignis für das Einlaufbauwerk dient, wird anschließend die tatsächliche Feldanzahl bestimmt und ggf. Maßnahmen für eine optimale Scheitelreduzierung für die Vergleichsereignisse auf Basis 1988 und 2002 vorgeschlagen.

Durch Variation der Breite der Wehrfelder sollen anhand der Bemessungsereignisse auf Basis 2011 die Vor- und Nachteile hinsichtlich Steuerung und effektiver Scheitelkappung aufgezeigt werden.

Abschließend erfolgt mit den Bemessungsereignissen auf Basis 2011 die Untersuchung zur Höhenlage der Wehrschwelle und deren Einfluss auf den Abflussvorgang und die Anzahl der Wehrfelder.

Als Grundlage für die Darstellungen und hydraulischen Vergleiche dient die Standortvariante EBW S2 sowie eine offene Bauweise mit Freispiegelabfluss, s. Kapitel 3.2 und 3.3. Weiterhin wurde von einer Steuerung nach Variante St1 und St3 ausgegangen, s. Kapitel 3.4.

3.5.2 Überschlägige hydraulische Berechnungen

Leistungsermittlung am Einlaufbauwerk

Für die hydraulischen Berechnungen wurde von Freispiegelabfluss ausgegangen, so dass die Verschlusseinrichtungen vollständig aus den Wehrfeldern herausgehoben werden. Damit findet ein Abfluss statt, der dem Fließvorgang über einem Wehr / Überfall entspricht. Der Fließvorgang kann damit nach der Formel von *Poleni* berechnet werden:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

Zusätzlich sind für den Einfluss der Pfeiler, des Rückstaus und der schrägen Anströmung variable Abminderungsfaktoren zu berücksichtigen. Die Formel ergibt sich dann zu:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot \mu \cdot \sigma_{pf} \cdot \sigma_{uv} \cdot \sigma_s \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

Der Überfallbeiwert μ ist im Grunde auch variabel, wurde aber aufgrund der geringen Schwankungsbreite für die Vordimensionierung als konstant angenommen. Im vorliegenden Fall wird gemäß THM1 [23] von einem breitreitigen Wehr mit einem Überfallbeiwert von 0,577 ausgegangen.

Um die Wirkung der Pfeiler einzurechnen, wurde gemäß THM1 [23] der Pfeilerbeiwert wie folgt ermittelt:

$$\sigma_{pf} = 1 - \frac{\sum b_{pf}}{b} - 2 \cdot n \cdot \xi \cdot \frac{h}{b}$$

dabei ist:	Σb_{pf}	Summe der Breite aller Pfeiler	variabel
	b	Gesamtbreite der Wehrfelder, inkl. Pfeiler	variabel
	n	Anzahl der Pfeiler + Widerlager (je n = 0,5)	variabel
	ξ	Einschnürungsbeiwert	0,07 (kreisförmig ausgerundet)
	h	Überfallhöhe	variabel

Bei steigendem Wasserspiegel in der Hochwasserrückhaltung macht sich der Unterwasserstand bemerkbar. Dieser Einfluss wird nach THM1 [23] wiederum mit einem Faktor für den unvollkommenen Überfall berechnet. Der Abminderungsfaktor σ_{uv} ist dabei eine Funktion des Verhältnisses der Unterwasserhöhe zur Oberwasserhöhe h_u/h und ist abhängig von der Form des Wehres (hier breitreitiges Wehr). Der Wert wird aus THM1 [23], Bild 9.19 ermittelt.

Die schräge Anströmung lässt sich analytisch im konkreten Fall nur sehr ungenau bestimmen. Sie wird daher pauschal mit einem Abminderungsfaktor von $\sigma_s = 0,9$ einbezogen.

Retentionsberechnung in Abhängigkeit der Hochwasserwelle

Anhand der Ganglinien (Zeit-Abfluss-Beziehung) wurde unter Verwendung einer Wasserstands-Abfluss-Beziehung in der Donau (am Standort des Einlaufbauwerks), der Formel von *Poleni* und der Stauinhaltslinie in der Hochwasserrückhaltung (Wasserstand-Volumen-Beziehung) die Rückhaltewirkung überschlägig ermittelt.

Die Darstellung der Retention (= Rückhaltewirkung) erfolgt in Diagrammen, mit Angabe der Wasserstände und Abflüsse in Abhängigkeit der zeitlichen Reihenfolge.

3.5.3 Anzahl der Wehrfelder

In Abhängigkeit der Wellenform wurde für die Hochwasserereignisse 1988, 2002 und 2011 die erforderliche Anzahl der Wehrfelder ermittelt. Hierfür wurde von einer Oberkante der Wehrschwelle von 318,50 m ü. NN und von einem Rückhaltevolumen von 13,84 Mio. m³ ausgegangen. Als Breite der Wehrfelder wurde 6 m angenommen, s. Kapitel 3.5.4. Eine Übersicht gibt die nachstehende Tabelle, die Darstellungen enthält Anlage 4.

Tabelle 4: Anzahl der erforderlichen Wehrfelder in Abhängigkeit der Hochwasserwelle

Welle	HQ	max. Wasserspiegel			Abfluss Donau			Anzahl Felder
		Donau	HWR	Diff.	ohne HWR	mit HWR	Reduktion	
		[m ü. NN]	[m ü. NN]	[m]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	[m ³ /s]	
1988	30	320,31	320,20	0,11	2.800,00	2.705,32	94,68	5
	100	320,52	320,20	0,32	3.400,00	3.299,06	100,94	4
	200	320,94	320,20	0,74	3.700,00	3.598,90	101,10	4
2002	30	320,31	320,20	0,11	2.800,00	2.564,69	235,31	11
	100	320,52	320,20	0,32	3.400,00	3.147,29	252,71	11
	200	320,94	320,20	0,74	3.700,00	3.439,69	260,31	9
2011	30	320,31	320,20	0,11	2.800,00	2.628,86	171,14	8
	100	320,52	320,20	0,32	3.400,00	3.218,12	181,88	8
	200	320,94	320,20	0,74	3.700,00	3.515,37	184,63	6

Wie Tabelle 4 zeigt, ist für ein kurzes Hochwasserereignis wie 2002 die erforderliche Feldanzahl am größten, während für ein langgestrecktes Ereignis wie 1988 die wenigsten Felder benötigt werden.

Maßgebend für die max. Anzahl der Öffnungen ist zudem nicht das Ereignis mit dem höchsten Abflusswert, sondern die Wasserspiegeldifferenz zwischen Donau (Stauhaltung Straubing) und Hochwasserrückhaltung. Diese ist bei HQ30 und HQ100 am geringsten, so dass hier mehr Felder benötigt werden als bei HQ200, wo infolge der größeren Wasserspiegeldifferenz weniger Felder notwendig sind.

Bei langgestreckten Hochwasserereignissen wie bei HQ30 auf Basis 1988 wird aufgrund der geringen Wasserspiegeldifferenz sogar ein Feld mehr als bei HQ100 oder HQ200 benötigt.

Bemessungsereignis für das Einlaufbauwerk sind die Hochwasserwellen auf Basis 2011, s. Kapitel 2.7. Da der Einsatz der Hochwasserrückhaltung bei HQ30 und regionaler Steuerung nur mittelfristig bis zum vollständigen Ausbau der Donaudeiche unterstrom von Straubing vorgesehen ist, gilt das Ereignis HQ100 als maßgebend für die erforderliche Feldanzahl. Demnach sind 8 Wehrfelder für das Einlaufbauwerk erforderlich.

Mit 8 Wehrfeldern können auch langgestreckte Hochwasserwellen wie auf Basis 1988 reduziert werden, für Ereignisse wie 2002 mit kurzem Scheitel reichen 8 Felder jedoch nicht aus. Hier muss das zusätzliche Feld zur Einhaltung der (n-1)-Bedingung sowie ggf. das Auslaufbauwerk zur nahezu optimalen Scheitelreduzierung herangezogen werden, s. Kapitel 5.3.

3.5.4 Breite der Wehrfelder

Im Raumordnungsverfahren wurde die lichte Breite der Wehrfelder mit 5 m angenommen. Nachfolgend soll für eine lichte Breite von 6 m und 12 m die jeweilige Anzahl der Wehrfelder und die Abflussreduzierung ermittelt werden.

Eine Breite von 6 m wurde gewählt, um die Anzahl der Öffnungen gegenüber der Feldanzahl im Raumordnungsverfahren zu verringern, aber die Breite nicht zu sehr zu vergrößern. Die Breite von 12 m wurde als doppelte Wehrfeldbreite gewählt.

Die Ermittlung der erforderlichen Wehrfelder und die Abflussreduzierung sind in Anlage 4 (für 6 m breite Felder) und Anlage 5 (für 12 m breite Felder) dargestellt und werden in der nachfolgenden Tabelle 5 zusammengefasst. Für den Vergleich wurden die Hochwasserereignisse auf Basis der Bemessungswelle 2011 verwendet.

Tabelle 5: Anzahl der erforderlichen Wehrfelder in Abhängigkeit der Wehrfeldbreite

Breite	Welle	HQ	Abfluss Donau			Anzahl Felder
			ohne HWR	mit HWR	Reduktion	
			[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	
6 m	2011	30	2.800,00	2.628,86	171,14	8
		100	3.400,00	3.218,12	181,88	8
		200	3.700,00	3.515,37	184,63	6
12 m	2011	30	2.800,00	2.640,03	159,97	4
		100	3.400,00	3.239,46	160,54	4
		200	3.700,00	3.547,42	152,58	3

Aus Tabelle 5 ist zu entnehmen, dass 4 Wehrfelder mit einer Breite von 12 m den Abflussscheitel nicht so stark reduzieren können, wie 8 Wehrfelder mit einer Breite von 6 m. Dies liegt daran, dass beim gestaffelten „Auf-Zu-Modus“ (Variante St3) die Zeitpunkte für das Öffnen der einzelnen Verschlüsse so gewählt werden, dass alle entstehenden Abflussspitzen in etwa die gleiche Höhe haben.

Um zu Beginn ein zu schnelles Füllen der Hochwasserrückhaltung zu vermeiden, dürfen bei breiten Feldern diese nicht zu zeitig geöffnet werden, da ansonsten am Ende des Füllvorganges das Rückhaltvolumen nicht mehr für eine Scheitelreduzierung zur Verfügung steht. Vor allem bei seltenen Hochwasserereignissen, wie HQ200 macht sich dieser Nachteil bemerkbar, da hier aufgrund des größeren Zeitraums und der größeren Wasserspiegeldifferenz zwischen Donau und Hochwasserrückhaltung eine geringere Leistungsfähigkeit und damit auch weniger Felder zum Einsatz kommen. Dies führt bei HQ200 zu einer deutlich geringeren Scheitelkappung als bei HQ30 und HQ100. Mit 12 m breiten Feldern liegt die Abflussreduzierung bei HQ30 um ca. 11,17 m³, bei HQ100 um ca. 21,34 m³ und bei HQ200 um ca. 32,05 m³ niedriger als mit 6 m breiten Feldern.

Die aus Tabelle 5 abgeleiteten Schlussfolgerungen gelten jedoch nur für die Steuerung im gestaffelten „Auf-Zu-Modus“ (Variante St3). Bei einer vollständigen Steuerung (Variante St1) ist aufgrund der Regulierung der Verschlussstellungen eine nahezu „exakte“ Abflusssteuerung möglich. Bei dieser Steuerungsart besitzt die lichte Breite der Wehrfelder keinen Einfluss auf die Scheitelkappung. Geringe Wehrfelddreiten sind somit vorteilhaft, wenn in Zukunft verschiedene Steuerungsverfahren (Variante St1 und St3) verwendet werden. Große Breiten erzielen hingegen nur bei einer vollständigen Steuerung die gewünschte Scheitelreduzierung.

Aus den o.g. Abmessungen ergeben sich folgende Vor- und Nachteile:

Tabelle 6: Vor- und Nachteile bei unterschiedlichen Wehrfelddreiten

	Wehrfelder, lichte Breite 6 m	Wehrfelder, lichte Breite 12 m
Vorteile	<ul style="list-style-type: none">- gute Regel- und Steuerbarkeit sowohl bei gestaffeltem „Auf-Zu-Modus“ als auch bei vollständiger Steuerung- nahezu optimale Scheitelkappung, da viele Wehrfelder- geringere Einschränkung bei Revisionen oder feldweisen Bauwerksinspektionen durch geringe Breite- schmale Revisionsverschlüsse- geringe Aufwendungen für Einhaltung der (n-1)-Bedingung (zusätzliches schmales Wehrfeld)- schmale Pfeiler (Breite 2 m), da kleinere Maschinentchnik	<ul style="list-style-type: none">- gute Regel- und Steuerbarkeit bei vollständiger Steuerung- wenige Wehrfelder- dadurch geringer Anteil an Maschinentchnik sowie- geringere Strömungsverluste durch Pfeilerstau- geringere Verklausungsgefahr
Nachteile	<ul style="list-style-type: none">- viele Wehrfelder und Pfeiler- dadurch großer Anteil an Maschinentchnik sowie- höhere Strömungsverluste durch Pfeilerstau- höhere Verklausungsgefahr	<ul style="list-style-type: none">- eingeschränkte Regel- und Steuerbarkeit bei gestaffeltem „Auf-Zu-Modus“ (Variante St3)- geringere Scheitelkappung bei Variante St3, da wenige Wehrfelder- starke Einschränkung bei Revisionen oder feldweisen Bauwerksinspektionen durch große Breite- breite Revisionsverschlüsse- hohe Aufwendungen für Einhaltung der (n-1)-Bedingung (zusätzliches breites Wehrfeld)

	Wehrfelder, lichte Breite 6 m	Wehrfelder, lichte Breite 12 m
		<ul style="list-style-type: none">- breite Pfeiler (Breite 3 m), da größere Maschinentchnik (hebt die Verringerung des Pfeilerstaus teilweise wieder auf)- im Versagensfall (ein Feld kann nach Flutung nicht geschlossen werden) ist durch die größere Leistungsfähigkeit eine höhere Inanspruchnahme des Freibordes zu erwarten

3.5.5 Höhe der Überlaufschwelle

Die Höhe der Überlaufschwelle am Einlaufbauwerk hat maßgeblichen Einfluss auf die Leistung und Anzahl der Wehrfelder. Durch die Stauhaltung und die obere Oberauer Schleife wird die Wahl der Überfallhöhe jedoch stark eingeschränkt. Folgende Randbedingungen sind ggf. zu berücksichtigen:

- Wasserstand von 317,50 m ü. NN im Absetzbecken in der oberen Oberauer Schleife
- max. Wasserstand der ökologischen Frühjahrsflutung von 318,00 m ü. NN in der oberen Oberauer Schleife
- Höhenlage der Ruhezonen für Fische von 319,00 m ü. NN donauseitig der Stauhaltungsdämme, s. Bestandsunterlagen in Anlage 7
- Höhenlage der 1,0 m dicken Uferbefestigung von 318,00 m ü. NN donauseitig der Stauhaltungsdämme und Parallelwerke, s. Bestandsunterlagen in Anlage 7

Um die visuelle Kontrolle der Verschlusseinrichtungen sowie deren Dichtigkeit seitens der Hochwasserrückhaltung prüfen zu können, sollte die Überlaufschwelle mindestens auf einer Höhe von 318,00 m ü. NN liegen. Damit lägen die Verschlüsse auch bei der ökologischen Frühjahrsflutung nicht oder nur sehr wenig unter Wasser. Verlandungen oder das Absetzen von Treibgut im Bereich der Verschlüsse sind bei dieser Höhe nahezu ausgeschlossen. Zum Wasserstand im Absetzbecken wäre zudem ein Freibord von 0,5 m vorhanden. Der Abstand zwischen dem Stauziel der Hochwasserrückhaltung und der Oberkante der Überfallschwelle beträgt in diesem Fall 2,20 m.

Um ein zu breites Bauwerk zu vermeiden und eine ausreichende Überfallhöhe sicherzustellen, sollte die Überlaufschwelle nicht höher liegen als 319,00 m ü. NN. Diese Höhe entspricht der Höhenlage der Ruhezonen für Fische donauseitig der Stauhaltungsdämme. Der Abstand zwischen Stauziel und Überfallschwelle beträgt in diesem Fall nur noch 1,20 m.

Nachfolgend werden unter Ansatz einer Wehrfeldbreite von 6 m folgende drei Varianten zur Höhe der Überlaufschwelle untersucht:

- Überlaufschwelle auf 318,00 m ü. NN = max. WSP der ökolog. Frühjahrsflutung in der oberen Oberauer Schleife
- Überlaufschwelle auf 318,50 m ü. NN = 0,5 m über dem max. WSP der ökolog. Frühjahrsflutung in der oberen Oberauer Schleife
- Überlaufschwelle auf 319,00 m ü. NN = Höhenlage der Ruhezonen für Fische donauseitig der Stauhaltungsdämme

Für den Vergleich wurden die Hochwasserereignisse auf Basis der Bemessungswelle 2011 verwendet. Die erforderliche Anzahl der Wehrfelder dokumentiert die nachfolgende Tabelle, die Darstellungen sind in Anlage 6 enthalten.

Tabelle 7: Anzahl der erforderlichen Wehrfelder in Abhängigkeit der Höhe der Überfallsschwelle

Höhe	2011	max. Überfallhöhe	Abfluss Donau			Anzahl Felder	Horizontale Kappung	Diff. Reduktion
	HQ		ohne HWR	mit HWR	Reduktion			
[m ü. NN]	[-]	[m]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[-]	[m³/s]	[m³/s]
318,00	30	2,31	2.800,00	2.634,01	165,99	6	182,50	16,51
	100	2,52	3.400,00	3.224,81	175,19	6	197,30	22,11
	200	2,94	3.700,00	3.522,44	177,56	5	203,70	26,14
318,50	30	1,81	2.800,00	2.628,86	171,14	8	182,50	11,36
	100	2,02	3.400,00	3.218,12	181,88	8	197,30	15,42
	200	2,44	3.700,00	3.515,37	184,63	6	203,70	19,07
319,00	30	1,31	2.800,00	2.626,89	173,11	13	182,50	9,39
	100	1,52	3.400,00	3.209,89	190,11	12	197,30	7,19
	200	1,94	3.700,00	3.511,79	188,21	9	203,70	15,49

Wie Tabelle 7 zeigt, kann bei einer Höhe der Überlaufschwelle von 318,00 m ü. NN die Anzahl der Wehrfelder auf 6 reduziert werden. Ursächlich dafür ist die größere Überfallhöhe, gemessen von der Überlaufschwelle bis zum Oberwasserstand in der Donau. Für eine Überlaufschwelle in Höhe von 319,00 m ü. NN ist die Überfallhöhe jedoch sehr gering, wodurch bis zu 13 Wehrfelder erforderlich werden.

Tabelle 7 verdeutlicht aber auch, dass bei einer Überlaufschwelle in Höhe von 318,00 m ü. NN die Scheitelreduzierung etwas geringer ausfällt als bei den beiden anderen Varianten. Ursächlich dafür ist die geringere Feldanzahl, die eine etwas weniger gute Steuerung ermöglicht. Aufgrund der höheren Anzahl an Feldern ist die Scheitelreduzierung bei einer Höhe der Überlaufschwelle von 319,00 m ü. NN am höchsten. Die Unterschiede hinsichtlich der Scheitelreduzierung zwischen einer Höhe von 318,50 und 319,00 m ü. NN sind jedoch geringer als zwischen 318,00 und 318,50 m ü. NN.

3.5.6 Vorschlag einer Vorzugsvariante zur Anzahl, Breite und Höhe der Wehrfelder

Als Vorzugsvariante für die Anzahl, Breite und Höhe der Wehrfelder werden die in nachstehender Tabelle erläuterten Varianten empfohlen.

Tabelle 8: empfohlene Vorzugsvarianten zur Anzahl, Breite und Höhe der Wehrfelder

Vorzugsvariante	Begründung
Anzahl Wehrfelder: 8	<p>Primäre Bemessungsereignisse für das Einlaufbauwerk sind die Hochwasserwellen auf Basis 2011. Demnach sind 8 Wehrfelder für das Einlaufbauwerk erforderlich.</p> <p>Mit 8 Wehrfeldern können auch langgestreckte Hochwasserwellen wie auf Basis 1988 reduziert werden, für Ereignisse wie 2002 mit kurzem Scheitel reichen 8 Felder jedoch nicht aus. Hier muss das zusätzliche Feld zur Einhaltung der (n-1)-Bedingung sowie ggf. das Auslaufbauwerk zur nahezu optimalen Scheitelreduzierung herangezogen werden, s. Kapitel 5.3.</p>

Vorzugsvariante	Begründung
Breite Wehrfelder: 6 m	Die Reduzierung des Abflussscheitels ist bei einer Breite von 6 m größer als bei einer Breite von 12 m. Geringe Wehrfeldbreiten sind zudem vorteilhaft, wenn in Zukunft verschiedene Steuerungsverfahren (Variante St1 und St3) verwendet werden.
Höhe Wehrschwelle: 318,50 m ü. NN	Eine Höhe der Wehrschwelle von 319,00 m ü. NN erfordert bis zu 13 Felder, erzeugt aber nur eine geringfügig höhere Scheitelreduktion als eine Höhe von 318,50 m ü. NN. Eine Höhe der Wehrschwelle von 318,00 m ü. NN erfordert hingegen nur 6 Felder, erzeugt aber eine niedrigere Scheitelreduktion als eine Höhe von 318,50 m ü. NN. Da durch mehr Felder eine bessere Steuerbarkeit sichergestellt ist und damit auch bei kurzen Ereignissen (wie Hochwasser 2002) eine hohe, wenn auch nicht maximale Scheitelreduzierung erzielbar ist, wird der Überfallhöhe von 318,50 m ü. NN mit 8 Feldern der Vorzug vor einer Überfallhöhe von 318,00 m ü. NN mit 6 Feldern gegeben.

=> Empfohlene Vorzugsvariante: 8 Wehrfelder mit einer Breite von 6 m und einer Höhe der Überfallschwelle von 318,50 m ü. NN

3.6 Variantenbetrachtung zu den Verschlusseinrichtungen am geplanten Einlaufbauwerk

3.6.1 Vorbetrachtungen

Das Einlaufbauwerk entspricht in offener Bauweise (Freispiegelabfluss) mit Brücke einer Wehranlage mit Verschlusseinrichtungen. Zu den Verschlüssen heißt es in [25]:

„Als Verschlüsse (Schütze) werden die beweglichen Bauteile bezeichnet, deren Lage so verändert werden kann, dass sie Abflußquerschnitte versperren, teilweise oder ganz freigeben. Mit ihrer Hilfe wird der Wasserstand im Oberwasser gehalten oder der Abfluß geregelt. ... In Staustellung trennt der Verschuß das Oberwasser vom Unterwasser.

... Als Grundforderung ... an alle Schütze gilt, daß sie in ihrer Abschlußlage gut dichten. Zudem muß der Verschuß in jeder Lage den auf ihn einwirkenden Wasserdruck aufnehmen und ohne Schwingungen in seiner Position verharren können. In der Regel wird verlangt:

- a) Einhaltung des vorgeschriebenen Stauess bei jeder Wasserführung;*
- b) Betriebssicherheit durch einfache und zuverlässige Bedienung;*
- c) geringe Unterhaltungskosten;*
- d) unauffälliges Einfügen in die Landschaft.“*

Nachfolgend werden nur Verschlusstypen betrachtet, die eine Regulierung des Durchflusses und das Wiederverschließen des Einlaufbauwerks ermöglichen. Damit wird eine Flutung der Hochwasserrückhaltung z.B. über eine Sprengöffnung als Variante ausgeschlossen.

Das Einlaufbauwerk wird mit einer festen Überlaufschwelle hergestellt, über der die beweglichen Verschlüsse den Donauwasserstand halten. Durch Anheben oder Absenken der Verschlüsse kann gezielt Wasser in die Hochwasserrückhaltung abgegeben werden. Es ist zwingend notwendig, dass die Verschlüsse nach Erreichen des Stauziels von 320,20 m ü. NN wieder geschlossen werden können. Da-

mit soll verhindert werden, dass die Hochwasser führende Donau die Hochwasserrückhaltung über das Stauziel hinaus beansprucht.

3.6.2 Varianten zu den Verschlusseinrichtungen

Nach DVWK-M 249, Anlage 1 [21] sind folgende Verschlusstypen an einer Wehranlage vergleichbar dem Einlaufbauwerk möglich:

Standardverschlüsse:

- Gleitschütz,
- Rollschütz mit oder ohne Aufsatzklappe,
- Haken-Doppelschütz,
- Klappe,
- Segment mit oder ohne Aufsatzklappe.

Sonderausführungen:

- Sektor/Trommel,
- Walze,
- Zylinderschütz,
- Schlauchwehr.

Die Möglichkeit, die Hochwasserrückhaltung über ein oder mehrere Schlauchwehre zu füllen, wird aus folgenden Gründen ausgeschlossen.

1. Schlauchwehre dienen in erster Linie der Wasserstandsregelung in staugeregelten Gewässern. Ein ständiger Einsatz als Stauwehr mit Freibord bis zum Überlauf ist untypisch.
2. Das Schlauchwehr ist nur bedingt vandalismussicher. Deshalb ist ggf. eine zweite Verschlussebene erforderlich, so dass Notverschlüsse jederzeit den Öffnungsquerschnitt verschließen können.
3. Da ein Schlauchwehr in der Regel nicht ständig überströmt wird, ist ein Teil der Schlauchmembran ständig und unmittelbar der Witterung (z. B. UV-Strahlung) ausgesetzt. Das kann die Dauerhaftigkeit des Schlauchmaterials mindern.

Außerdem werden folgende o.g. Typen nicht weiter betrachtet: Haken-Doppelschütz, Walzenwehr, Sektor/Trommelschütz, Zylinderschütz. Hakendoppelschütze sowie Aufsatzklappen sind nur bei großen Verschlusshöhen sinnvoll. Die Sonderausführungen erfordern komplizierte Bauweisen und sind teilweise nicht für den Einsatz bei hohen Unterwasserständen geeignet.

Es werden nachfolgend nur drei Varianten gegenübergestellt:

Variante EBW V1: Rollschütz/Gleitschütz (ohne Aufsatzklappe)

Variante EBW V2: Klappe

Variante EBW V3: Drucksegment (Segmentverschluss ohne Aufsatzklappe)

Auf Varianten mit Aufsatzklappe wurde verzichtet, da das geplante Einlaufbauwerk nur eine Verschlusshöhe von ca. 3 m erfordert und nur zeitweilig in Betrieb geht. Die Variante Zugsegment entfällt ebenfalls, da hier in geschlossener Stellung die Stützarme und teilweise die Trägerkonstruktion der Stauwand unter Wasser liegen (Stauhaltung).

3.6.3 Variante EBW V1 – Rollschütz/Gleitschütz

Rollschütze sind an beiden Seiten geführte, rechteckige, ebene Tafeln bzw. Planschütze, die zum Öffnen und Schließen eines Wasserlaufes gehoben und gesenkt werden. Der Abflussvorgang erfolgt als unterströmtes Schütz. Das Heben und Senken des Schützes erfolgt über Rollen, die seitlich angebracht sind und auf Führungsschienen laufen.

Der Lastabtrag des Wasserdrucks erfolgt, ausgehend von der Stauwand, über die Längsträger in die seitlichen Rollen. Die Laufrollen sind zylindrisch oder ballig und laufen auf hochfesten Laufschienen. Rollschütze dichten in Richtung Oberwasser. Der Abstand der Rollen zueinander ist hierbei dem unterschiedlichen Wasserdruck angepasst, damit jede Rolle eine möglichst gleiche Last auf die Laufschiene überträgt.

Rollschütze haben aufgrund der Rollen geringe Bewegungswiderstände. Durch Gegengewichte können Rollschütze selbsttätig schließend ausgeführt werden.

Bei Gleitschützen handelt es sich um die einfachste Verschlussform. Der Wasserdruck wird bei dieser Verschlussart über seitliche Gleitbahnen auf die Pfeiler und Wehrwangen übertragen. Die Gleitbahn in der Pfeilernische ist gleichzeitig Dichtungsebene. In der Regel werden Gleitschütze nur bei kleinen Abmessungen (schmale Feldbreite bei geringer Höhe) eingesetzt. In den letzten Jahren wurden jedoch auch bei größeren Querschnitten, vorwiegend an den Wasserstraßen, vermehrt Gleitschütze an Stelle von Rollschützen eingebaut, da diese deutlich weniger Verschleißteile (da keine Rollen) aufweisen.

Als Dichtung werden seitlich Notenprofildichtungen auf die oberwasserseitige Stauwand schraubend geklemmt. Als Sohldichtung dient ein Flachprofil. Eine Kopfdichtung ist beim Roll- oder Gleitschütz und einem Einlaufbauwerk in offener Bauweise nicht notwendig.

Da die Öffnungsbreite am Einlaufbauwerk größer als die Verschlusshöhe ist, müssen die Roll- und Gleitschütze über zweiseitige Antriebe bewegt werden. Als Antriebe eignen sich Triebstockleitern mit Triebritzelantrieb und Getrieben an Elektromotoren sowie Elektroschneckenantriebe mit nicht steigenden Trapezgewindespindeln. Von Vorteil sind Antriebe, die einen zentralen Motor mit zwei Antrieben besitzen.

Vorteile:

- einfacher Antrieb über Triebstockleitern oder Gewindespindeln,
- statisch bestimmte Auflagerkonstruktion
- geringe Verklausungsgefahr
- durch Rollen oder geschmierte Gleitschienen wird Reibung zwischen Schütztafel und Lagerung herabgesetzt
- geringer Platzbedarf (senkrechte Bewegung)
- geringe Hub- und Senkkraft (Rollschütz)
- geringe Verschleißteile (Gleitschütz)

- Einhausung der Antriebe nicht erforderlich (da Lage über Wasserstand)
- selbsttätiges Schließen möglich (mit Kugelgewinde, etwas aufwändigere Antriebstechnik)

Nachteile:

- ungenauere Regelung des Durchflusses als bei überströmten Verschlüssen
- Nischenausbildung für Laufschiene erforderlich
- aufwändige Dichtung, weniger gute Dichtung als bei Klappe oder Segmentverschluss
- Schwingungsgefahr bei geringem Öffnungsgrad
- ggf. Hindernisse in der Sohlfuge oder der Nische beim Verschließen der Wehröffnung
- Beeinträchtigung des Landschaftsbildes durch über die Dammkrone hinausragende Antriebs-
teile (Antriebsbrücke mit Führungsbahn und seitlichen Führungsrahmen)

3.6.4 Variante EBW V2 - Klappe

Klappen sind überströmbare Wehrverschlüsse, die über eine Drehachse auf dem Wehrrücken montiert sind. Die Klappen lassen sich um die Drehachse nach unten umklappen. Klappen können hydraulisch günstig gestaltet werden, um in Offenstellung mit dem vorhandenen Wehrrücken einen optimalen Überfallrücken zu bilden. Klappen kommen vorwiegend bei großen Feldbreiten und geringen Höhen (geringer Wasserdruck) zum Einsatz.

Konstruktionen wie z.B. Fischbauchklappen zeichnen sich bei geringem Stahlvolumen durch eine hohe Torsionssteifigkeit aus. Diese Klappen werden in der Regel als Hohlkörper hergestellt, wodurch der Auftrieb im Wasser die erforderlichen Stellkräfte zum Schließen stark verringert.

Bewegt werden kann die Klappe in der Regel ein- oder beidseitig mit Hilfe von hydraulischen oder elektromechanischen Antrieben. Hydraulikzylinder werden mit Öldruck gehalten und bewegt. Elektroantriebe werden mit gekapselten Spindeln oder Kugelgewindetrieben angetrieben.

Auch mittig auf dem Wehrrücken montierte Antriebe sind möglich. Über einen Wellenantrieb ist auch ein direkter Antrieb der Klappen ohne Verbindungselemente möglich. Dieser Antrieb sollte nur gewählt werden wenn wenige Klappen erforderlich werden, da in den Seitenwänden und Pfeilern entsprechend große Kammern für Lager und Getriebe erforderlich werden. Vorteil dieser Antriebsweise ist, dass keine Verbindungselemente den Abfluss stören (geringe Verklausungsgefahr).

Aufgrund der Form (Krümmung) sind Klappen je nach Klappenstellung und Strömung des Überlaufs stark schwingungsanfällig. Unterdrücke auf der Wehrunterseite führen zu Pulsation und regen die Klappe zum Schwingen an. Um dies zu verhindern, werden oftmals Strahlaufreißer auf der Überfallkante und eine zusätzliche Belüftung der Klappenunterseite erforderlich. Es empfiehlt sich, in die Pfeiler Rohre einzubauen, die aufgrund des Unterdruckes an der Klappenunterseite Luft oberhalb des höchsten Wasserstandes ansaugen und den Luftbereich unter dem Überfallstrahl belüften.

Klappen besitzen eine schleifende oder durchhängende Sohldichtung zwischen dem Wehrrücken und dem Stahlbauteil. Seitlich erfordern Klappen Winkeldichtungen, die an exakt, in Zweitbeton vergossenen Schleifblechen reiben. Der oberwasserseitige Wasserdruck drückt die Dichtungen gegen die Schleifbleche.

Vorteile:

- einfache und genaue Regelung, da nur Überströmen des Verschlusses
- glatte Seitendichtungsflächen möglich, dadurch gute Abdichtung
- einseitiger Antrieb möglich
- vollständiges Schließen nach Flutung, keine Hindernisse in der Sohlfuge
- bei Bewegung geringe Reibungswiderstände in Drehlagern
- aufgrund der statischen Eigenschaften geeignet für Öffnungen mit vergleichsweise großer lichter Weite bei kleiner und mittlerer Höhe
- keine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, da keine über die Dammkrone hinausragende Antriebsteile
- schmalere Pfeiler als bei Variante V1 (da keine Nischen erforderlich)

Nachteile:

- für vollständige Freigabe des Abflussquerschnitts Nische im Wehrrücken erforderlich, ungünstige Unterhaltung
- bei Überströmen oder ständigem Einstau von Unterwasser Verklausung der Nische unter der Klappe möglich, da dies bei Hochwasser nicht beseitigt werden kann
- bei seitlichen Antriebsgestänge im Abflussquerschnitt besteht Verklausungsgefahr, zudem Einhausung der Antriebe erforderlich (geringe Verklausungsgefahr nur bei Wellenantrieb)
- (statisch überbestimmte) Auflagekonstruktion aufwändig, Auftreten von Zwangskräften möglich
- Schwingungsgefahr beim Einstau von Unterwasser, zusätzliche Belüftung sowie Strahlaufreißer erforderlich
- ggf. verlängerte Pfeiler erforderlich (größere Bauwerksabmessungen durch Drehbewegung und Lage der Betriebswegebrücke)

3.6.5 Variante EBW V3 - Drucksegment

Segmentverschlüsse bestehen aus kreiszylindrischen oder ebenen Stauwänden mit zwei rahmenartig wirkenden Stützarmen. Diese sind drehbar an den Pfeilern und Wehrwangen auf Zapfen (Drehlager) gelagert. Die Drehlager sitzen wiederum auf Konsolen, wodurch auf Nischen verzichtet werden kann.

Die Drehlager müssen den ganzen Wasserdruck aufnehmen und auf die Pfeiler und Wangen übertragen. Damit wird die gesamte Last in einem Punkt konzentriert und an dieser Stelle der Beton hoch beansprucht.

Beim Drucksegment befinden sich Stützarme und Lager auf der Unterwasserseite, mit Drehpunkt über dem Stauziel. Damit liegen die Stützarme im geschlossenen Zustand nicht wie beim Zugsegment unter Wasser.

Der Antrieb erfolgt in der Regel einseitig, entweder über Ritzel mit Zahnkranz (Elektroantrieb) oder über einen ölhydraulischen Zylinder (Hydraulikantrieb).

Die Staufläche wird in der Regel als Fischbauchquerschnitt ausgeführt. Dadurch ist ein geschlossener, robuster, torsionssteifer Verschlusskörper möglich. Durch die Form der Stauwand wird erreicht,

dass das Drehmoment aus dem oberwasserseitigen Wasserdruck auf die Drehachse des Tores nahezu null wird. Dadurch sind nur geringe Antriebskräfte erforderlich. Infolge dessen sind Segmentverschlüsse bei großen Höhen und geringen Feldbreiten zu favorisieren.

Segmentverschlüsse können unter- wie überströmbar ausgeführt werden. Im vorliegenden Fall mit Einsatz in einem Einlaufbauwerk ist eine unterströmende Funktion ausreichend. Damit liegen die Stützarme nicht im Überfallbereich und auf Sonderkonstruktionen (Einengung Überfallbreite, damit das Wasser nicht auf die Arme fällt) kann verzichtet werden.

Die Seitendichtung als Winkelprofil hat infolge ihrer leichten Schrägstellung des kurzen Schenkels eine schwache Vorspannung. Sie dichtet somit schon bei nur geringem Wasserdruck. Als Sohldichtung dient ein Flachprofil, vergleichbar dem eines Rollschützes.

Vorteile:

- einfache und robuste Konstruktion
- statisch bestimmte Auflagerkonstruktion
- keine Antriebsteile im Abflussquerschnitt, keine Nischen erforderlich
- dadurch geringe Verklausungsgefahr und schmalere Pfeiler möglich
- damit sehr gut geeignet für Wasser- und Eisabführung
- da beim Drehen Reibung ausgeschaltet ist, entstehen nur geringe Antriebskräfte
- einfache Seiten- und Kopfdichtung, gute Abdichtung
- keine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, da keine über die Dammkrone hinausragende Antriebsteile (nur im geöffneten Zustand ragen die Verschlusselemente über die Dammkrone hinaus)
- schmalere Pfeiler als bei Variante V1 (da keine Nischen erforderlich)

Nachteile:

- ungenauere Regelung des Durchflusses als bei überströmten Verschlüssen
- ggf. Hindernisse in der Sohlfuge beim Verschließen der Wehröffnung
- Einhausung der Antriebe empfohlen
- hohe Beanspruchung an Drehlagern, da konzentrierte Einleitung der Kräfte
- ggf. verlängerte Pfeiler erforderlich (größere Bauwerksabmessungen durch Drehbewegung und Lage der Betriebswegebrücke)

3.6.6 Variantenvergleich und Vorschlag einer Vorzugsvariante zu den Verschlusseinrichtungen

Der Variantenvergleich mit Hilfe der Bewertungsmatrix in Anhang B kommt zu dem Ergebnis, dass die Variante EBW V1 (Rollschütz/Gleitschütz) in der Gesamtbewertung vor den anderen beiden Varianten liegt.

Die Variante EBW V1 verursacht bei nur geringem Platzbedarf eine gute Durchflussregelung mit guten Kontrollmöglichkeiten. Diese Variante erfordert zudem aufgrund der senkrechten Bauweise nur moderate Kosten. Die Betriebssicherheit ist gut, Verklausungsgefahr besteht nur im Bereich der Nischen

und ggf. an der Sohle. Nachteilig ist einzig die Einbindung in das Landschaftsbild, welche durch die über die Dammkrone hinausragenden Antriebsteile etwas eingeschränkt wird.

Damit ist der Variante EBW V1 mit Roll- oder Gleitschütz sowohl aus wasserwirtschaftlicher als auch monetärer Sicht der Vorzug zu geben. Aufgrund der geringen Verschleißteile (keine Rollen) und der geringe Verschlusshöhe werden Gleitschütze favorisiert.

Die Variante EBW V2 (Klappe) ist kostengünstiger, ermöglicht eine sehr gute Durchflussregelung und passt sich am Besten in die Landschaft ein. Jedoch ist eine Klappe stark schwingungsanfällig und erfordert längere Pfeiler und damit einen größeren Platzbedarf. Ein großer Nachteil ist zudem die Lage der Nische in Höhe des Wasserstandes des Absetzbeckens. Dadurch kann die Nische durch Treibgut versetzt werden und ein vollständiges Öffnen mit Arretierung der Klappe wird behindert. Wird die Klappe im offenen Zustand nicht am Wehrrücken arretiert, entsteht kein günstiger Überfallrücken, was die Leistungsfähigkeit des Einstromprozesses verringert und die Klappe zu Schwingungen anregt. Die Variante V2 kann daher nicht als Verschlusselement am Einlaufbauwerk der Öberauer Schleife empfohlen werden.

Variante EBW V3 (Drucksegment) stellt hingegen eine gute Alternative zu Variante EBW V1 (Roll- oder Gleitschütz) dar. Mit dieser Variante sind eine sehr geringe Verklauungsgefahr, ein geringer Unterhaltungsaufwand und eine gute Einbindung in das Landschaftsbild verbunden. Nachteilig sind die in Anhang B genannten hohen Kosten und der große Platzbedarf (Pfeilerlängen, Längenausdehnung des Gesamtbauwerks), weshalb ihr nicht der Vorzug gegeben wird.

=> Empfohlene Vorzugsvariante: Variante EBW V1 mit Gleitschütz

3.7 Variantenbetrachtung zu den Antriebstypen für die Verschlusseinrichtungen

3.7.1 Vorbetrachtungen

Für das Einlaufbauwerk wird eine offene Bauweise mit einer Verschlussvariante bestehend aus Roll- oder Gleitschützen favorisiert. Da im vorliegenden Fall die Öffnungsbreite des Einlaufbauwerks deutlich größer ist als die Verschlusshöhe, hier die Weherschützen nahezu doppelt so breit wie hoch sind, müssen diese Verschlüsse über zweiseitige Antriebe bewegt werden, um Selbsthemmung in den Nischen zu verhindern. Von Vorteil sind Antriebe, die einen zentralen Motor mit zwei ausgehenden Antrieben haben. Mit mechanisch unabhängigen Antrieben an einem Schütz, die elektrisch ein Gleichfahrtsignal erhalten, liegen vermehrt Erfahrungen vor. Der Handbetrieb an diesen mechanisch getrennten Antrieben an einem Schütz ist nur sehr schwer mit mindestens zwei Bedienpersonen möglich.

Dieser zentrische Motor samt Antriebe muss im Störfall auch während eines Hochwassers, also im Betriebszustand der Hochwasserrückhaltung, erreichbar und einfach bedienbar sein.

Der allgemeine Anspruch an den zu wählenden Antriebstyp wird sein, dass er störungsfrei, sicher, hochverfügbar, langlebig, kostengünstig, nahezu wartungsfrei und emissionslos arbeitet. Zudem sollte er geschützt gegen Eis und Treibeis, Geschiebe sowie Treibgut angeordnet werden.

Nachfolgend werden die Antriebstypen betrachtet, die diese Eigenschaften für die Verschlusseinrichtung des Einlaufbauwerks erfüllen können.

3.7.2 Varianten zu den Antriebstypen

Generell können elektrische und hydraulische Antriebe unterschieden werden. Als Antriebstypen für die Roll- bzw. Gleitschütze als favorisierte Verschlusseinrichtung für das geplante Einlaufbauwerk kommen folgende Varianten in Betracht:

- elektromechanischer Antrieb über Kette (Elektrokettenantrieb)
- elektromechanischer Antrieb über Spindel (Elektrospindelantrieb)
- elektromechanischer Antrieb über Triebstock (Triebritzelantrieb)
- elektromechanischer Hubzylinder (Elektrohubzylinder)
- hydraulischer Hubzylinder (Hydraulikzylinder)
- hydraulischer Direktantrieb (Hydraulikmotor)

Der elektromechanische Antrieb über eine geführte Kette und der hydraulische Direktantrieb mittels eines Hydraulikmotors werden aufgrund des großen Platzbedarfs und den daraus resultierenden erforderlichen Eingriffs in den Massivbau, der dadurch erhöhten Herstellungskosten sowie des problematischen Notbetriebes im Störfall für die weitere Variantenuntersuchung ausgeschlossen.

Daher werden nachfolgend nur vier der üblichen Antriebsvarianten näher beschrieben, gegenübergestellt und anhand der Vor- bzw. Nachteile qualitativ und anwendungsbezogen bewertet:

- Variante EBW A1: Triebritzelantrieb
- Variante EBW A2: Elektrospindelantrieb
- Variante EBW A3: Elektrohubzylinder
- Variante EBW A4: Hydraulikzylinder

3.7.3 Variante EBW A1 – Triebstock-/Triebritzelantrieb

Triebstock-/Triebritzelantriebe bestehen neben einem Elektromotor mit Handantrieb und Wellen aus Triebritzeln (Zahnrad) und Triebstockleitern. Die Triebstockleiter bestehen aus zwei Flacheisen mit eingeschweißten Triebstockbolzen. Die Triebstöcke bzw. die Triebstockleiter werden gelenkig an den Schützoberkanten montiert. Die Triebstockleiter bestehen aus Schwarzstählen und sind passiv gegen Korrosion geschützt (verzinkt und/oder beschichtet). Sie sind i.A. nach oben offen. Im Sinne der Unfallverhütung werden Triebstockleiter vermehrt eingehaust und somit gegen Quetschverletzungen gesichert. Die generell empfohlenen Einhausungen müssen für Schmier- und Revisionszwecke einfach demontierbar sein.

Triebstockantriebe wirken architektonisch auf die Wehranlage, weil sie nur „steigend“ ausgeführt werden können (im Gegensatz zu z.B. Spindelantrieben, die als „nicht-steigend“ hergestellt werden können). Die Triebstockleiter stehen also bei Schützhub immer aus den Antriebsjochebenen heraus. Bei Hochwasserbetrieb und komplett geöffneten Einlaufbauwerk stehen bei der favorisierten Verschlussvariante je Wehrfeld mindestens zwei und insgesamt mindestens 18 Triebstockleiter über den Antriebsebenen. Jedes Triebstockleiterpaar je Schütz kann mit einer Steuerung ausgerüstet werden. Bei ausgesetzter Hemmung lassen sich die Wehrschützen auch bei nichtvorhandener Stromversorgung über die Schwerkraft verschließen.

Triebstockantriebe weisen allgemein einen mäßigen Investitionspreis auf.

3.7.4 Variante EBW A2 - Elektrospindelantrieb

Elektrospindelantriebe bestehen aus zwei knicksteifen, am Schütz befestigten Trapezgewindespindeln nach DIN 103 [27], die in Abhängigkeit der Steigung eine Selbsthemmung ermöglichen können. Sie

eignen sich besonders für Verschlusseinrichtungen, bestehend aus Roll- oder Gleitschützen. Die Spindeln werden aus nichtrostendem Stahl ausgeführt. Der Hub erfolgt über Trapezgewindemuttern aus Rotguss-Bronze. Die Werkstoffkombination ist sehr widerstandsfähig und wird in DIN 19704 [16] empfohlen. Elektrospindelantriebe können als „steigende“ oder „nicht-steigende“ Ausführung erstellt werden. Angetrieben werden die Spindeln über Kegelradgetriebe, die an der horizontalen Antriebswelle mit dem Motor verbunden sind.

Je nach Regelweise kommen Stell- oder Regelantriebe zum Einsatz. An den Antrieben können Steuerungen mit elektronischer Weg- und Drehmomentabschaltung ausgeführt werden. Die steuerungsinernen Drehmomenteinstellbereiche können dabei getrennt für das Heben und Senken eingestellt werden. Um bei einseitigem Verklemmen eine Überlastung der freien Spindel zu vermeiden, können zusätzliche Drehmoment-Überlastkupplungen an den Abtriebswellen zu den Kegelradgetrieben installiert werden.

3.7.5 Variante EBW A3 - Elektrohubzylinder

Elektrohubzylinder oder Elektrozyylinder stellen eine Sonderbauweise von Elektrospindelantrieben dar. Sie besitzen eine gekapselte Spindel in einem Zylinder und fahren einen massiven Kolben aus. Es ist möglich, eine kolbenstangenintegrierte Wegemessung einzurichten oder den Weg über die Umdrehungsdrehzahl am Antrieb mit der Steigung der Spindel zu ermitteln.

Als Spindeln können Trapezgewindespindeln oder Kugelgewindetriebe mit kleinerer Reibung und der Möglichkeit zur Selbsttätigkeit gewählt werden. Kugelgewindetriebe haben eine sehr starke Steigung und sind deshalb nicht selbsthemmend. Äußerer Druck kann damit zum selbsttätigen Absenken der Wehrschützen führen. Elektrozyylinder können nicht mechanisch gekoppelt werden und sind hauptsächlich für einen einseitigen Antrieb geeignet wie z.B. an torsionssteifen Klappenverschlüssen.

Für einen gleichzeitigen Antrieb wurden elektrisch programmierte Gleichlaufsteuerungen entwickelt, um Elektrozyylinder auch an breiten Schützen einsetzen zu können. Der Einsatz führt dazu, dass kein Handbetrieb in dieser Ausführungsart möglich ist, da an beiden Zylindern gleichmäßig gestellt werden muss. Jeder einzelne Elektrozyylinder kann mit einer eigenen Steuerung ausgerüstet werden.

3.7.6 Variante EBW A4 - Hydraulikzylinder

Ein Hydraulikantrieb ist kein mechanischer, sondern ein hydraulischer Antrieb. Im Hydraulikaggregat wird die mechanische Energie der Hydraulikpumpen in einen druckabhängigen Volumenstrom des Hydraulikmediums umgewandelt. Nach DIN 19704 [16] dürfen bis zu 250 bar Arbeitsdruck aufgebaut werden. Die Hub- und Senkgeschwindigkeiten von Hydraulikantrieben sind unterschiedlich, weil die Druckfläche des Differentialzylinders verschieden ist.

Hydraulikantriebe können als Selbstschlussantrieb dienen. Dabei werden magnetisch gehaltene Ventile durch ein Signal gelöst und der Ölfluss aus dem Kolben freigelassen, sodass beispielsweise ein Schütz durch sein Eigengewicht selbstständig schließen kann. Gegen ein unvorhergesehenes Aufschlagen kann im letzten Stellbereich eine hydraulische Dämpfung verbaut werden.

Hydraulikantriebe gelten als robust und wenig stör anfällig. Sie müssen gegen Ölleckagen besonders abgedichtet werden. Die Hydraulikantriebe sind an einem Schwenk- oder Kardangelenk verbunden. Die Bewegungen erfordern Hydraulikschläuche am Hydraulikzylinder, vergleichbar wie an einem Bagger. Hydraulikschläuche haben den Nachteil, dass sie alle sechs Jahre gewechselt werden müssen, was zu relativ hohen Reinvestitionskosten führt. Die Hydraulikzylinder haben ein kolbenstangenintegriertes Wegemesssystem mit programmierbaren Endlagen. Die Überlastabschaltung erfolgt durch Drucküberwachung am Hydraulikaggregat.

Jeder Hydraulikantrieb benötigt zwei Rohrleitungen für Hin- und Rückfluss des Öles und eine Steuerleitung für das Wegemesssystem. Hydraulikantriebe sind durch das Hydrauliköl geschützt gegen Einfrieren. Auf den Hydraulikaggregaten können je zwei Hydraulikpumpen installiert werden, die abwechselnd angesteuert werden können. Die Hydraulikaggregate können zusätzlich mit einer Reservepumpe und einer Handpumpe ausgestattet werden. Im Handbedienfall sind die Fließwege über Einrast-Ventile händisch zu stellen.

Die Hydraulikleitungen werden als Edelstahlleitungen mit Schneidring- oder Schweißbördelverbindungen erstellt. Die Hydraulikleitungen sollten an beiden Anschlüssen an den Aggregaten und den Zylindern mit Kugelhähnen verschließbar ausgeführt werden. Parallel zu den Hydraulikleitungen sind die Kabel der Messwertgeber zu verlegen.

3.7.7 Variantenvergleich und Vorschlag einer Vorzugsvariante zu den Antriebstypen

Die maßgebenden Vor- und Nachteile der vorhergehend beschriebenen Antriebsvarianten werden in der nachfolgenden Tabelle 9 zusammengestellt, um die Entscheidungsfindung einer Vorzugslösung zu verdeutlichen und damit zu vereinfachen.

Tabelle 9: Vor- und Nachteile der näher betrachteten Antriebsvarianten

Antriebstyp	Vorteile	Nachteile
Variante EBW A1 (Triebstock- /Triebritzelantrieb)	<ul style="list-style-type: none">- Antriebseinheit aus Motor, Getriebe und Bremsen- Wegfall der Kabelschleppketten- Absenken der Wehrschützen auch ohne Stromzufuhr möglich- geringer Eingriff in den Massivbau- niedrige Herstellungskosten- geringer Kostenaufwand bezogen auf die Steuerungs- und Automatisierungsanlagen- einfache Steuerung und Überwachung- evtl. notwendige Handbetätigungen können direkt an der einen Antriebseinheit per Handkurbel oder Ankopplung eines Hilfsantriebs vorgenommen werden- langjährige und gute Erfahrungen im Stahlwasserbau	<ul style="list-style-type: none">- erhöhter Wartungsaufwand durch regelmäßiges Fetten der Antriebe und Triebstöcke- keine kompakte Bauweise- nur als „steigende“ Ausführung möglich, daher architektonisch wirksam bzw. negative Optik (Landschaftsbild)- Schutzabdeckung erforderlich
Variante EBW A2 (Elektro- spindelantrieb)	<ul style="list-style-type: none">- „nicht-steigende“ Ausführung möglich- als zweiseitiger Antrieb ausführbar	<ul style="list-style-type: none">- geringere Zug-/Druckkraft gegenüber Hydraulikzylinder

Antriebstyp	Vorteile	Nachteile
	<ul style="list-style-type: none"> - kompakte, robuste und gering stör- anfällige Bauweise bzw. -form - geringer Eingriff in den Massivbau - moderate Herstellungskosten - geringer Kostenaufwand bezogen auf die Steuerungs- und Automati- sierungsanlagen - einfache Steuerung und Überwa- chung - mechanisch selbsthemmend - Absenken der Wehrschützen auch ohne Netzstromzufuhr möglich - bei Stromausfall über Netzersatzag- gregat oder im Handbetrieb fahrbar - geringer Wartungsaufwand - gute Erfahrungen im Stahlwasser- bau 	<ul style="list-style-type: none"> - eine längere Einsatzdauer kann eine Kühlung erforderlich machen
Variante EBW A3 (Elektro- hubzylinder)	<ul style="list-style-type: none"> - kompakte, robuste und gering stör- anfällige Bauweise bzw. -form - geringer Eingriff in den Massivbau - moderate Herstellungskosten - geringer Kostenaufwand bezogen auf die Steuerungs- und Automati- sierungsanlagen - einfache Steuerung und Überwa- chung - geringer Wartungsaufwand - gute Erfahrungen im Stahlwasser- bau 	<ul style="list-style-type: none"> - geringere Zug-/Druckkraft gegen- über Hydraulikzylinder - eine längere Einsatzdauer kann eine Kühlung erforderlich machen - nur bedingt für einen Parallelbetrieb einsetzbar - bedingt selbsthemmend - nur stark eingeschränkter Handbe- trieb bei zweiseitiger Ausführung möglich
Variante EBW A4 (Hydraulikzylinder)	<ul style="list-style-type: none"> - Verschlüsse sind durch Eigenge- wicht selbstständig verschließbar - evtl. notwendige Handbetätigung kann vom Aggregat aus erfolgen - keine Bremsfunktion der motori- schen Antriebsaggregate erforder- lich - geringer Kostenaufwand bezogen auf die Steuerungs- und Automati- sierungsanlagen 	<ul style="list-style-type: none"> - erhöhter Platzbedarf für Hydraulik- aggregat und Ölbehälter - hoher Aufwand für Ölauffangvorrich- tung in der Größe des Behältervo- lumens - großformatige und flexible Rohrlei- tungen notwendig, die über ein Ka- belschleppsystem geführt werden müssen

Antriebstyp	Vorteile	Nachteile
	<ul style="list-style-type: none">- einfache Steuerung und Überwachung- gute Erfahrungen im Stahlwasserbau	<ul style="list-style-type: none">- Verlegen von Hydraulikleitungen über größere Entfernungen notwendig- potentielle Umweltgefährdung/ erhöhte Emissionsgefahr durch austretendes Öl- erhöhte Reinvestitionskosten durch den Austausch der Hydraulikschläuche- erhöhter Wartungsaufwand- hohe Herstellungskosten- erhöhter Kostenaufwand bezogen auf die Steuerungs- und Automatisierungsanlagen

Durch das Abwägen der Vor- und Nachteile, die aus der Tabelle 9 hervor gehen, und unter Beachtung der vorausgesetzten Ansprüche an die zu wählende Antriebsart, wird die Variante EBW A2, also ein Elekterspindeltrieb in zweiseitiger Ausführung und zentralem Elektromotor empfohlen.

Als Antriebsvariante mit „nicht steigenden“ Trapezgewindespindeln sind sie auch aus optischen Gründen besonders für Roll- und Gleitschütze geeignet, deren Verschlusshöhe geringer ist, als die Verschlussbreite. Aus praktischen Anwendungsfällen wird empfohlen, die Trapezgewindemuttern mit einer Permanentschmierung auszuführen.

Da die zahlreichen Triebstöcke bei gehobenen Schützen bei der Anzahl optisch deutlich sichtbar hoch über das Einlaufbauwerk hinausragen würden, ist dem Elekterspindeltrieb als bessere Alternative der Vorzug zu geben, denn neben dem optischen Vorteil sind die entscheidenden Vorzüge der Vorzugsvariante EBW A2:

- kaum Nebenanlagen erforderlich
- geringe Störanfälligkeit
- einfache Erreichbarkeit und Bedienung im Störfall
- gute Einsatzerfahrungen im Stahlwasserbau
- geringer Aufwand für die Automatisierungstechnik.

Diese Art der Elektroantriebe wird als Stahlwasserbauantrieb im Steuerbetrieb mit geringer Schalthäufigkeit gewählt und hat eine erforderliche Leistungsaufnahme bei Nennleistung bis ca. 10 kW je Antrieb. Es werden 3-Phasen-Drehstromanschlüsse mit 50 Hz der Planung zugrunde gelegt. Die Stromaufnahmen bei maximalem Drehmoment und die Anfahr-Stromaufnahmen betragen bis zu 18 A bzw. 110 A. In der Entwurfsplanung ist der Antrieb genauer zu bemessen und die Starkstrom-E-Technik passend dazu auszulegen.

Die E-Antriebe erhalten Handräder für den Vor-Ort-Betrieb. Die Handräder sind derart groß zu wählen, dass die Handradkräfte nach DIN 19704 [16] nicht überschritten werden (ca. 800 mm). Dazu werden die Handräder über einen verschleißbaren Rastenhebel eingekuppelt und ein Signal für die Deaktivierung

rung der Fernwirktechnik gegeben. An den Handrädern sind Adapter für den Anschluss mobiler Schieberdrehgeräte vorgesehen.

Die Antriebe erhalten nach heutigem Standard einen PROFIBUS-Anschluss. Die MSR-Technik der Antriebe kann somit im Ring verkabelt werden. Es sind dann nicht mehrere parallele Datenkabel notwendig. Die AUMA Riester GmbH & Co. KG aus Mühlheim, als Entwickler von Antriebslösungen Marktführer für die Wasserwirtschaft, entwickelt diese Antriebe und die Feldbus-Schnittstellen derzeit weiter. Wahrscheinlich sind bis zur Realisierung des Bauvorhabens PROFINET-Schnittstellen möglich, so dass kleinere Kabel mit RS-45-Steckern verbaut werden können.

Die an einem zentral gelegenen Motor gekoppelten elektromechanischen Antriebe werden an die jeweiligen Innenseiten der Wehrfelder ausgerichtet, geschützt gegen Eis, Treibeis, Geschiebe sowie Treibgut und außerhalb des Fließquerschnitts auf den Pfeilern des Einlaufbauwerks angeordnet und fest installiert. Damit liegen die Zylinder und die zugehörigen elektrischen Anlagen in einem vor Hochwasser geschützten und gut zugänglichen Bereich.

=> Empfohlene Vorzugsvariante: Variante EBW A2 - zweiseitiger Elektrospeindelantrieb mit zentralem E-Motor

3.8 Variantenbetrachtung zur Energieumwandlungsanlage am geplanten Einlaufbauwerk

3.8.1 Vorbetrachtungen

Die Energieumwandlungsanlage am Einlaufbauwerk hat die Aufgabe, die kinetische Energie des in die Hochwasserrückhaltung strömenden Wassers örtlich konzentriert in Wärme, Schall und potentielle Energie umzuwandeln. Damit sollen im Unterwasser des Einlaufbauwerks Abflussverhältnisse erreicht werden, die bei Flutung der Hochwasserrückhaltung einen möglichst schadlosen Abfluss bewirken. Gleichzeitig wird die Standsicherheit des Bauwerks gewährleistet.

Die Variantenbetrachtung zur Energieumwandlungsanlage dient in erster Linie der Eignungsuntersuchung grundsätzlicher Anlagentypen und nicht der Optimierung der Energieumwandlungsanlage an sich.

3.8.2 Varianten zur Energieumwandlung

Um das in die Hochwasserrückhaltung strömende Wasser am Einlaufbauwerk örtlich konzentriert zu beruhigen, steht eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Verfügung. Allein Tosbecken lassen sich z.B. nach der Breite, der Querschnittsform, der Sohlenlage und der Art der Einbauten klassifizieren. Deshalb werden für die Energieumwandlungsanlage hier nur Grundlösungen und dabei folgende Typenlösungen näher betrachtet:

- ebenes Tosbecken,
- räumliches Tosbecken,
- Tosmulde.

Toskammern, Tauchwände oder Diffusoren werden als Energieumwandlungsanlagen nicht betrachtet, da das Einlaufbauwerk nicht ständig in Betrieb ist. Diese Typen sind eher für Betriebseinrichtungen an Talsperren geeignet und erfordern tiefe Baugruben und eine aufwändige Bauweise mit hohen Herstellungskosten. Einschränkungen ergeben sich bei Überwachung und Kontrolle der Energieumwandlung

während des Flutvorgangs. Zudem erfordert die Unterhaltung und Revision dieser Anlagen einen hohen Aufwand.

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Anlage eines geländegleichen Raubetts im Anschluss an den Wehrrücken. Diese Variante wird aus folgenden Gründen ebenfalls nicht berücksichtigt:

- Höhenlage des Raubetts liegt mit 318,0 ... 318,50 m ü. NN etwa auf Höhe der Überfallkante des Wehrrückens mit 318,50 m ü. NN,
- dadurch besteht bei Flutungsbeginn kein Wasserpolster durch das Absetzbecken (Wasserstand ca. bei 317,50 m ü. NN),
- infolge dessen sind hohe Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen zu erwarten, wodurch sehr große Steine (LMB 60/300 bis HMB 300/1000, ggf. mit Verklammerung) und eine sehr lange Energieumwandlungsstrecke erforderlich werden,
- Erosionen im Anschluss an die Energieumwandlungsstrecke und im Absetzbecken (Sedimente) können zu Flutungsbeginn nicht ausgeschlossen werden,
- die befestigte Energieumwandlungsstrecke liegt im Normalfall (ohne Hochwasser) im Trockenen (keine Einstau vom Absetzbecken), was das Landschaftsbild beeinflusst.

3.8.3 Ebenes Tosbecken

Ebene Tosbecken müssen konstruktiv und hydraulisch so bemessen werden, dass ein Wechselsprung im Bereich der befestigten Energieumwandlungsstrecke für alle Abflüsse entsteht und stabil bleibt. Im Bereich des Wechselsprungs entsteht durch Rückstau vom Unterwasser eine Deckwalze, in der eine Rückströmung stattfindet. Dieser Rückstrom muss vom Grundstrom wieder umgelenkt und neu beschleunigt werden, wodurch die beabsichtigte Energieumwandlung erfolgt.

Das Tosbecken schließt unmittelbar an den Überfallrücken eines jeden Wehrfeldes an und erhält mit 6,0 m Breite die gleiche lichte Weite, wie die Felder. Um eine gleichmäßige Beanspruchung des Tosbeckens über die gesamte Breite sicherzustellen und räumliche Strömungen zu vermeiden, sind Trennwände zwischen den einzelnen Tosbecken der Wehrfelder erforderlich. Diese schließen an die erforderlichen Trennpfeiler an. Für die neun Wehrfelder sind somit ebenfalls neun Tosbecken der gleichen Breite vorgesehen.

Das ebene Tosbecken ohne Einbauten wird auch als konventionelles Tosbecken bezeichnet. Es zeichnet sich durch eine ebene Sohle aus, ist im Allgemeinen eingetieft und wird durch eine Rechteckschwelle als Endschwelle abgeschlossen. Die Eintiefung und die Endschwelle wirken dabei dem Abwandern des Wechselsprungs aus dem Tosbecken entgegen.

Nachteil einer Endschwelle ist die stärkere Kolkgefahr unterstrom des Tosbeckens sowie ein erhöhter Rückstauereffekt. Um diese Nachteile zu minimieren, kann die Rechteckendschwelle mit einer Anrampung und einer aufgesetzten Zahnreihe erweitert werden. Infolge der Anrampung verringern sich die Prallwirkung und damit der Rückstauereffekt. Die Zahnreihe führt zusätzlich zu einer Vergleichmäßigung des Geschwindigkeitsprofils und damit zur Reduzierung der Kolkbildung.

Unterstrom des Tosbeckens ist dennoch eine flexible Sohl- und Böschungssicherung unerlässlich.

Vorteile:

- einfache Bauweise,
- hohe Funktionssicherheit (ohne Erosionen),

- Energieumwandlung bei Flutvorgang kontrollierbar,
- feldweise Revision der Tosbecken bei Anordnung von Trennwänden möglich.

Nachteile:

- große Tosbeckenlänge, hohe Wassertiefen am Tosbeckenende,
- Trennwände zur Abtrennung der einzelnen Tosbecken je Wehrfeld erforderlich,
- großes Betonbauwerk (große Länge, zusätzliche Trennwände),
- geringere Einbindung ins Landschaftsbild, da Wahrnehmung als technische Anlage mit Trennwänden in der Wasserfläche.

3.8.4 Räumliches Tosbecken

Das räumliche Tosbecken unterscheidet sich vom ebenen Tosbecken durch den Verzicht auf die Trennwände. Das Tosbecken schließt somit unmittelbar an die Wehrfelder und die Pfeiler an und erstreckt sich auf der gesamten Bauwerksbreite von 72 m. Das bedeutet, der Schussstrahl aus den jeweils 6,0 m breiten Wehrfeldern tritt in ein Tosbecken wesentlich größerer Breite ein. Infolge dessen entstehen Randwalzen, welche die Energieumwandlung intensivieren. Dadurch kann die Tosbeckenlänge und Tosbeckentiefe verringert werden.

Die gestaffelte Betriebsweise des Einlaufbauwerks führt zu einer ungleichmäßigen Beanspruchung des Tosbeckens und zu komplizierten räumlichen Strömungen. Für diesen Tosbeckentyp existieren daher keine oder nur eingeschränkte Berechnungsgrundlagen. Die tatsächliche Wirksamkeit ist daher durch einen hydraulischen Modellversuch nachzuweisen.

Vorteile:

- einfache Bauweise,
- hohe Funktionssicherheit (ohne Erosionen),
- keine Trennwände zur Abtrennung der einzelnen Tosbecken je Wehrfeld erforderlich,
- Reduzierung der Tosbeckenlänge möglich,
- Reduzierung des Betonbauwerks möglich (geringe Länge, keine Trennwände),
- gute Einbindung ins Landschaftsbild, da keine Trennwände (nur Wasserfläche).

Nachteile:

- feldweise Revision nicht möglich, da keine Trennwände,
- Energieumwandlung bei Flutvorgang nur wenig kontrollierbar, da räumliche Strömungen.

3.8.5 Tosmulde

Bei einer Tosmulde wird in Anlehnung an räumliche Tosbecken ein vertiefter Bereich als Kolk vorgeformt. Die gesamte Energieumwandlungsanlage wird jedoch nicht in Beton hergestellt sondern durch Sohl- und Böschungssicherungen befestigt.

Vorteile:

- vorgeformter Kolk mit naturnaher beweglicher Sohlbefestigung,
- als Trocken- oder Nassbecken planbar,
- sehr gute Einbindung in Landschaftsbild.

Nachteile:

- Zulassen von Umlagerungen/Erosionen,
- ggf. nur langsames Steigern des Durchflusses möglich (um Erosionen zu begrenzen),
- Energieumwandlung bei Flutvorgang nur wenig kontrollierbar, da räumliche Strömungen.

3.8.6 Standortbezogener Vorschlag einer Vorzugsvariante zur Energieumwandlungsanlage

Für die Standorte EBW S2 und S3 sind grundsätzlich alle drei Lösungen (ebenes oder räumliches Tosbecken sowie Tosmulde) denkbar.

Für den Standort EBW S3 kommt aufgrund der Lage im ehemaligen Donauvorland nur eine unbefestigte Tosmulde in Frage. Die Tosmulde kann als Feuchtbiotop mit vorgeformtem Kolk gestaltet werden. Der Wasserstand in der Tosmulde sollte mit dem Grundwasserstand korrespondieren.

Die Überlaufkante zum anstehenden Gelände wird so hoch angeordnet, dass erst nach deutlichem Wasseranstieg ein Ablauf einsetzt. Der Flutungsbeginn muss ggf. mit deutlich reduzierter Leistung erfolgen, damit sich in der Tosmulde ein Wasserpolder ausbildet. Ansonsten ist mit deutlichen Erosionserscheinungen auf den Wiesenflächen zu rechnen.

Bei Standort EBW S2 ist die Geschwindigkeit des einströmenden Wassers maßgebend für die Strömungsverteilung im Absetzbecken. Durch den unmittelbaren Anschluss des Tosbeckens an die Mündung des Grabenzugs in das Absetzbecken sind höhere Einströmgeschwindigkeiten zu erwarten. Die schräge Lage und Richtung der Einleitung in das Absetzbecken begünstigt die Anregung und Intensität einer Sekundärströmung.

Im Grabenzug, in der Mitte und am nördlichen Ufer des Absetzbeckens wurden zudem sehr hohe Sedimentablagerungen festgestellt, die bei der Einleitung oder entstehenden Sekundärströmung aktiviert werden könnten, s. Anlage 12. Um den Energieeintrag in das Absetzbecken zu reduzieren, ist für eine offene Bauweise daher ein räumliches Tosbecken anzuordnen.

Ein ebenes Tosbecken mit Trennwänden wird aufgrund der seltenen Betriebsfälle der Hochwasserrückhaltung als nicht erforderlich angesehen. Die verbesserte Kontrolle der Energieumwandlung sowie eine feldweise Revision der Tosbecken rechtfertigen nicht den deutlich höheren baulichen Aufwand für die ebenen Tosbecken.

=> Empfohlene Vorzugsvariante für Vorzugsstandort EBW S2:

vertieftes räumliches Tosbecken mit Endschwelle

4 Weitere Betrachtungen

4.1 (n - 1)-Bedingung

Die (n - 1)-Bedingung bezeichnet ein Beurteilungskriterium für die Ausfallwahrscheinlichkeit anhand von zusätzlich vorhandener Redundanz. Sind für eine Aufgabe n Anlagen zuständig oder verfügbar, so kann bei Einhaltung der (n - 1)-Bedingung beim Ausfall einer Anlage der Betrieb oder die Funktionstüchtigkeit durch die anderen n - 1 Anlagen sicher gewährleistet werden. Anwendung findet die Regel z.B. bei der Planung und im Betrieb von Stromnetzen oder bei Stauanlagen im Gewässer.

Das geplante Einlaufbauwerk dient dem Füllen der Hochwasserrückhaltung durch gesteuerte Scheitelkappung eines Hochwasserereignisses der Donau. Es ist im weiteren Sinn eine Betriebseinrichtung gemäß DIN 19700, auch wenn es nicht explizit als solche aufgeführt wird. Grundsätzlich kann das Einlaufbauwerk einer Wehranlage gemäß DIN 19700-13 [14] zugeordnet werden, s. Kapitel 2.2.

Wehre mit beweglichen Verschlüssen sind gemäß DIN 19700-13 so zu bemessen, dass der Bemessungszufluss über das Wehr auch bei Ausfall eines Wehrfeldes ohne Überschreitung des für diesen Fall festgelegten Wasserspiegels schadlos für die Stauanlage abgeführt werden kann.

Der Ausfall einer Öffnung am Einlaufbauwerk führt hingegen zu keiner Gefährdung des Einlaufbauwerks, der Hochwasserrückhaltung oder der Unterlieger und der Oberwasserstand in der Stauhaltung Straubing wird nicht wesentlich erhöht. Durch die Sicherstellung einer Notstromversorgung kann das Öffnen und Schließen der Verschlusseinrichtungen am Einlaufbauwerk zudem gewährleistet werden, sodass der Ausfall eines Feldes unwahrscheinlich ist.

Es kann einzig beim Fall der Revision und gleichzeitigem Einsatz der Hochwasserrückhaltung ein Wehrfeld nicht genutzt werden. Dies führt zu einer etwas weniger wirksamen Scheitelkappung, jedoch nicht zu einer Gefährdung der Hochwasserrückhaltung sowie der Unterlieger. Damit könnte grundsätzlich auch auf die Einhaltung der (n - 1)-Bedingung am Einlaufbauwerk verzichtet werden.

Um jederzeit eine optimale Scheitelreduzierung zu ermöglichen und dem unwahrscheinlichen Fall der Revision bei gleichzeitigem Einsatz der Hochwasserrückhaltung Rechnung zu tragen, wird dennoch die Einhaltung der (n - 1)-Bedingung empfohlen. Es sind damit statt der hydraulisch notwendigen 8 Wehrfelder insgesamt 9 Wehrfelder (8 + 1) am Einlaufbauwerk vorzusehen.

Weiterhin bietet das (n - 1)-Feld eine zusätzliche Handlungsoption für eine überregionale Steuerung, s. Kapitel 5.4. Damit wird auch der Forderung des Bayerischen Landesamts für Umwelt (LfU) vom 26.02.2016 Rechnung getragen.

4.2 Revisions- und Notverschlüsse, doppelte Verschlussebene

4.2.1 Revisions- und Notverschlüsse

Revisionsverschlüsse sind erforderlich, um Bauteile und bauliche Anlagen im Trockenen inspizieren, warten, reparieren und ggf. austauschen zu können. Gemäß dem Sicherheitskonzept [9] werden Revisionsverschlüsse donauseitig der Wehrfelder des Einlaufbauwerks und am Tosbeckenende erforderlich.

Revisionsverschlüsse sollen möglichst einfach in der Handhabung sein und eine gute Dichtwirkung aufweisen. Die Revisionsverschlüsse müssen nicht zwingend vor Ort vorgehalten werden, wenn sie nicht auch als Notverschluss eingesetzt werden sollen.

Am Einlaufbauwerk können folgende Systeme zum Einsatz kommen:

- Nadelwehr,
- Dammbalken,
- Dammtafeln.

Beim Nadelwehr werden die Nadeln schräg eingestellt, die Nadeln stützen sich an Auflagebalken ab. Der Vorteil des Nadelwehres liegt in der einfachen Handhabung, bei entsprechenden Abmessungen lassen sich die Nadeln per Hand setzen. Die Dichtwirkung ist eingeschränkt, so dass für Revisions- und Unterhaltungsarbeiten im Trockenen zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen (z.B. Folieneinsatz) und eine Wasserhaltung vorgesehen werden müssen.

Beim Einsatz von Dammbalken und Dammtafeln werden Hebezeuge und spezielle Anschlagmittel erforderlich. Die Dichtigkeit dieser Systeme ist deutlich höher. Von Vorteil ist auch, dass sich die Elemente als Notverschluss einsetzen lassen. Dabei sind die Dammtafeln besser geeignet als die Dammbalken, da sie beim Setzen durch ihre Abmessungen weniger zum Verkanten neigen.

Notverschlüsse sind erforderlich, wenn ein Wehrverschluss versagt (Aufrechterhaltung der Stauhaltung) oder die Öffnung nach Füllung der Hochwasserrückhaltung nicht mehr geschlossen werden kann. Die Notverschlüsse müssen dabei kurzfristig gesetzt werden können.

Folgende Systeme können zum Einsatz kommen:

- Notverschlüsse permanent vor Ort (zweite Verschlussebene, ständig in Offenstellung),
- Mobiles System (kleinere Module, Abmessungen ggf. nicht für manuellen Einsatz geeignet).

Die permanent vor Ort vorgehaltene zweite Verschlussebene erfordert für das Setzen keine Hebeeinrichtungen. Damit sind sie ständig und ohne Zeitverzug einsatzbereit. Für jede Öffnung des Einlaufbauwerks müssten jedoch zwei baugleiche Verschlusselemente vorgesehen werden. Die permanenten Notverschlüsse könnten dann auch als Revisionsverschluss eingesetzt werden.

Als Verschlussorgan für den mobilen Einsatz kommen plane Bauformen (Schütztafeln und Dammbalken) in Frage. Der Vorteil beim mobilen System besteht darin, dass nur eine begrenzte Anzahl an Notverschlüssen vorgehalten werden muss. Außerdem können die Verschlüsse als Revisionsverschluss benutzt werden. Von Nachteil ist, dass für das Setzen der Verschlüsse zusätzliche Hebeeinrichtungen (z.B. Mobilkran, Kranbahn o. ä.) erforderlich sind und die Notverschlüsse deshalb nicht sofort gesetzt werden können.

4.2.2 Doppelte Verschlusseinrichtungen

Im Rahmen des Sicherheitskonzeptes [9] wurde geprüft, ob aus Gründen der Betriebssicherheit (Trennung von Donau, Aufrechterhaltung Stauhaltung, Versagensfälle) und zur Durchführung rascher Funktionsprüfungen eine doppelte bzw. redundante Ausführung der Verschlüsse erforderlich ist.

Aus dem Kap. 6.3.1 des Sicherheitskonzeptes kann entnommen werden, dass aus der Normung keine Forderung nach einer doppelten Ausführung der Verschlussebene für das Einlaufbauwerk abgeleitet werden kann. Vorzusehen sind jedoch Revisionsverschlüsse, die unter Berücksichtigung der $(n - 1)$ -Bedingung im Wartungs- bzw. Reparaturfall gesetzt werden können. Diese sind jedoch nicht für den Einsatzfall vorgesehen und werden üblicherweise auch nur für ein oder ggf. zwei Wehrfelder vorgehalten.

Darüber hinaus wurde im Sicherheitskonzept [9] herausgearbeitet, dass auch aus Gründen der Anlagensicherheit eine doppelte Verschlussebene nicht abgeleitet werden kann.

Da das Einlaufbauwerk jedoch ständig seitens der Donau eingestaut wird, ist bei den regelmäßig durchzuführenden Funktionsprüfungen zu berücksichtigen, dass der volle Wasserdruck der Stauhaltung ansteht und Donauwasser in die Hochwasserrückhaltung einströmt, wenn keine zweite Verschlussebene gesetzt wird. Darüber hinaus kommt es zum Absinken des Wasserspiegels in der Stauhaltung, was in die Betriebsvorschrift der Stauhaltung Straubing eingreift. Bei Umsetzung monatlicher Funktionsprüfungen gemäß den Betriebsvorschriften zu staatlichen Wasserspeichern in Bayern würde dieser Fall 12 Mal im Jahr eintreten, was als nicht umsetzbar eingeschätzt wird.

Im vorliegenden Fall wird deshalb aufgrund der besonderen Lage des Einlaufbauwerkes eine 2. Verschlussebene erforderlich, um die Funktionsprüfungen durchführen zu können (Aufrechterhaltung Stauhaltung, keine unkontrollierte Flutung).

Im Ergebnis des Sicherheitskonzeptes wurde abschließend empfohlen, insgesamt folgende mögliche Varianten zur Sicherstellung der Funktionsprüfungen zu untersuchen:

- Variante 1: zwei voneinander unabhängige automatisierte Verschlussebenen
- Variante 2: eine automatisierte Verschlussebene und Nutzung eines Revisionsverschlusses als Notverschluss
- Variante 3: eine automatisierte Verschlussebene und durchgängige Nutzung der Revisionsverschlüsse als zweite Verschlussebene

Auf der Grundlage der Ergebnisse des Sicherheitskonzeptes hatte das WWA Deggendorf im Juli 2017 das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) um Stellungnahme zu den Wehrverschlüssen am Einlaufbauwerk der Hochwasserrückhaltung Öberauer Schleife gebeten. Im Ergebnis der Stellungnahme vom 02.08.2017, s. Anlage 9, hat das LfU die doppelte Ausführung der Verschlusseinrichtungen am Einlaufbauwerk gemäß Variante 3 empfohlen. Demzufolge soll eine automatisierte Verschlussebene mit den Hauptverschlüssen installiert und zusätzlich die Revisionsverschlüsse als zweite Verschlussebene durchgängig gesetzt werden.

Die Stellungnahme wurde zum Anlass genommen, aufgrund der Komplexität der möglichen Varianten diese im Rahmen einer separaten Variantenuntersuchung als Entscheidungsvorlage näher zu untersuchen und zu bewerten.

Ziel der Variantenuntersuchung war es unter Berücksichtigung der erforderlichen Aufwendungen vor allem einzuschätzen, mit welcher Variante die Betriebsbereitschaft schnell, sicher und mit dem geringsten Aufwand hergestellt werden kann.

Im Ergebnis der Entscheidungsvorlage zur Ausführung doppelter Verschlusseinrichtungen [10] wurde die Umsetzung der Variante 2.2 – Anordnung einer automatisierten Verschlussebene und Nutzung eines Revisionsverschlusses als Notverschluss, Umsetzung des Notverschlusses mittels Kranbahn – empfohlen. Die Kranbahn ist in Anlage 2 dargestellt.

4.2.3 Empfehlung

Für die oberwasserseitigen Revisionsverschlüsse (Donau) werden Dammtafeln aus Stahl empfohlen. Diese werden über die Kranbahn in den Nischen gesetzt. Es sind mindestens zwei Dammtafeln für den Betrieb mit der Kranbahn vorzusehen. Kann ein Öffnungsquerschnitt des Einlaufbauwerks nach Erreichen des Stauziels in der Hochwasserrückhaltung nicht geschlossen werden, kann der Revisi-

onsverschluss als Notverschluss verwendet werden. Dies ist ggf. jedoch nur bei nahezu gleichem Wasserstand in Donau und Rückhaltung möglich, da eine starke Fließbewegung im Öffnungsquerschnitt zum Verkanten des Verschlusses führt.

Aufgrund des seltenen Einsatzfalles der Hochwasserrückhaltung alle ca. 25 ... 30 Jahre ist eine unterwasserseitige Revision des Tosbeckens (Absetzbecken) voraussichtlich alle ca. 50 ... 60 Jahre erforderlich. Für die Durchführung der Revision bestehen grundsätzlich zwei Möglichkeiten, der Einbau von Big-Bags oder von feldweisen Stahltafeln.

Bei Anwendung der Big-Bags sind nach dem Tosbecken über die gesamte Breite sandgefüllte Schüttgutsäcke (Höhe ca. 2,0 m) einzuheben.

Alternativ wäre durch Einbau von festen Betonstützen mit Nischen im Bereich der Tosbeckenendschwelle und den Einsatz feldbreiter Stahltafeln (Breite ca. 6 m, Höhe ca. 2,0 m) ebenfalls eine Revision des Tosbeckens möglich. Durch Verlängerung zweier Pfeiler bis zum Tosbeckenende könnten zusätzlich drei begrenzte Revisionsbereiche geschaffen und die Anzahl der Stahltafeln reduziert werden.

Beide Varianten erfordern den Einsatz eines Mobilkranes sowie ausreichende Aufstell- und Lagerflächen am Tosbeckenende. Ist das Tosbecken vom Ablaufgerinne und Absetzbecken getrennt, kann dieses ausgepumpt und überprüft werden.

Aufgrund der seltenen Revision des Tosbeckens wird der Variante mit Einbau der Big-Bags der Vorzug gegeben. Die Aufwendungen für die Herstellung der Betonstützen und Verlängerung der Pfeiler sowie der Lagerung und Instandhaltung der Revisionsverschlüsse (Stahltafeln) stehen in keinem Verhältnis zum seltenen Revisionsfall.

4.3 Baugrube, Wasserhaltung und Dichtungsanschluss

Der linke Stauhaltungsdamm ist mit einer VIBROSOL-Schmalwand gedichtet. Die OK der Dichtung liegt rd. 1,0 m unter Dammkrone der Stauhaltung, s. Anlage 7. Im Bereich des Vorzugsstandortes EBW S2 liegt die Dichtung damit auf Höhe von ca. 321,1 m ü. NN. Die Schmalwand ist i. M. 15 m tief und bindet etwa 1,0 m in den anstehenden Tertiär ein.

Die bestehende Schmalwand-Dichtung kann kaum Querkkräfte übertragen. Deshalb ist ihre Funktionssicherheit bei Verformungen des Stützkörpers gefährdet. Verformungen bzw. Setzungen des Damms können durch Baumaschinen (Schwingungsübertragungen über den Baugrund), übermäßigen Baustellenverkehr und außermittige Lasteintragungen auf der Dammkrone entstehen.

Unabhängig davon, wo genau sich der Baukörper für das Einlaufbauwerk befindet, besteht die Aufgabe darin, die erforderlichen Dichtungen am Einlaufbauwerk an die Dichtung des Stauhaltungsdamms umströmungs- und unterströmungssicher anzuschließen. Dabei sollte die bestehende Dichtung in den Stauhaltungsdämmen während und nach dem Bau ihre Funktion erfüllen.

Für die Baugrube und den Dichtungsanschluss gibt es grundsätzlich folgende zwei Möglichkeiten:

- Baugrube im bestehenden Stauhaltungsdamm unmittelbar an der Donau
- Baugrube im Hinterland des bestehenden Stauhaltungsdamms mit Zulaufgerinne zur Donau

Wird das Einlaufbauwerk unmittelbar in den bestehenden Stauhaltungsdamm positioniert, muss die Dichtwand im Stauhaltungsdamm bereits während des Baus geöffnet werden. Dann sind während der Errichtung des Bauwerks im Stauhaltungsdamm umfangreiche Maßnahmen zur Wasserhaltung und zur Abdichtung des Untergrundes erforderlich (Vermeidung der Um- und Unterläufigkeit, Standsicherheit des Baugrubenverbau, Auftriebssicherheit während der Bauzeit, usw.). Für die Errichtung des

Bauwerks ist eine geschlossene Baugrube erforderlich, die wasserseitig durch einen Kastenfangdamm zur Stauhaltung der Donau abgegrenzt werden muss.

Wird das Einlaufbauwerk mit einem Zulaufgerinne versehen und in einiger Entfernung zum Stauhaltungsdamm errichtet, können das Bauwerk und die Anschlussdämme im Schutz des vorhandenen Damms hergestellt werden. Die Aufwendungen für Wasserhaltung und Baugrube sind deutlich geringer als bei einer Baugrube im bestehenden Stauhaltungsdamm. Eine Baugrubenbegrenzung zum Absetzbecken ist jedoch erforderlich. Die Maßnahmen zur Wasserhaltung begrenzen sich jedoch auf den Zustrom aus dem Absetzbecken und müssen nicht für die Stauhaltung der Donau ausgelegt werden.

Der Anschluss der Dichtungen in den Anschlussdämmen kann im Schutz des Stauhaltungsdamms erfolgen. Der bestehende Stauhaltungsdamm und deren Dichtung werden dann erst bei Herstellung des Zulaufgerinnes rückgebaut, wenn die Anschlussdämme und das Einlaufbauwerk bereits funktionsfähig sind.

Aufgrund der geringeren Aufwendungen zur Herstellung der Baugrube und der Maßnahmen zur Wasserhaltung ist der Baugrube im Hinterland der Vorzug vor einer Baugrube im Stauhaltungsdamm zu geben.

Für das Einlaufbauwerk mit Zulaufgerinne und Baugrube im Hinterland können die Anschlussdämme an den Stauhaltungsdamm grundsätzlich wie folgt gedichtet werden:

- Schmalwand (z. B. VIBROSOL-Schmalwand), analog der Stauhaltungsdämme
- Dichtungsteppich im Zulaufgerinne

Der Vertikaldichtung (Schmalwand) in den Anschlussdämmen ist dabei der Vorzug vor einer Flächendichtung (Dichtungsteppich) zu geben. Mit der Vertikaldichtung ist mit einer einfachen Bauweise und Bautechnologie ein sicherer Anschluss an das Einlaufbauwerk, den Untergrund und die bestehende Dichtungsebene in den Stauhaltungsdämmen möglich.

Die Baugrubenumschließung ist in Anlage 2 dargestellt. Zur Begrenzung der Baugrube sind im Ober- und Unterwasser des Bauwerks Spundwände mit einer Höhe von 318,50 m ü. NN vorgesehen. Am Beginn des Überfallrückens verbleibt die oberwasserseitige Spundwand nach Herstellung des Bauwerks dauerhaft im Boden und fungiert als Dichtung zwischen Stauhaltung und Hochwasserrückhaltung. Die unterwasserseitige Spundwand begrenzt die Baugrube zum Ablaufgerinne und Absetzbecken und dient später als Sicherung des Kolksschutzendes. Beide Spundwände, die zunächst als Baugrubenbegrenzung dienen, werden nach Fertigstellung des Einlaufbauwerks auf ihre Endhöhe abgebrannt. Zur Herstellung des Ablaufgerinnes ist an der Böschungsschulter zum Absetzbecken ggf. zusätzlich eine Absperrung durch Big-Bags erforderlich.

4.4 Gestaltung des Zulaufbereichs

Je nach Positionierung des Einlaufbauwerks wird die Anordnung eines mehr oder weniger langen Zulaufgerinnes erforderlich. Die Breite des Zulaufs ist abhängig von der Anzahl und Breite der Wehrfelder und der Wehrpfeiler.

Vorzugsweise sollten der Zulauf zum Einlaufbauwerk und die Anbindung an das Absetzbecken ohne Richtungsänderung auf einer Achse liegen. Dadurch kann eine gleichmäßige Anströmung an alle Wehrfelder sowie ein gleichmäßiges Abströmen in die Hochwasserrückhaltung sichergestellt werden. Bei Einsatz der Hochwasserrückhaltung spielen Querströmungen in der Donau keine Rolle. Die Schifffahrt ist zu diesem Zeitpunkt eingestellt.

Weiterhin wird ein trapezförmiges Gerinne mit gleichbleibender Sohlbreite empfohlen. Die Sohle soll zudem etwas tiefer als die Wehrschwelle im Einlaufbauwerk liegen, um Verlandungen beseitigen zu können (durch Nassbaggerung, Arbeitsschiff/Prahm). Für die Höhenlage des Zulaufgerinnes von der Donau zum Einlaufbauwerk wurde die Höhe der 1,0 m dicken donauseitigen Böschungsbefestigung (Steinwurf) von 318,00 m ü. NN gewählt. Damit befindet sich das Zulaufgerinne 0,5 m niedriger als die Überlaufschwelle im Einlaufbauwerk (318,50 m ü. NN).

Die Lage, Höhe und Breite des Zulaufgerinnes haben Einfluss auf den Unterhaltungsaufwand und die Verlandung des Zulaufgerinnes (Treibgut, Sedimentation). Aufgrund der Höhenlage von ca. 5 m über Sohle der Donau tritt keine Ablagerung von Geschiebe im Zulaufgerinne auf. Von der Ablagerung von Schwebstoffen ist jedoch auszugehen.

Ausrundungen im Übergang der Anschlussdeiche an den bestehenden Stauhaltungsdamm können für einen optimalen Zustrom zum Einlaufbauwerk von Vorteil sein. Gegebenenfalls sind auch der Ausleitungswinkel und die Lage der Bauwerksachse zum Absetzbecken zu optimieren um die Anströmung zu verbessern.

Abschließende Aussagen zum Ausleitungswinkel und zur Gestaltung des Zulaufbereiches können zum derzeitigen Planungsstand nicht getroffen werden. Solche Optimierungen sind im Rahmen eines physikalischen Modellversuches durchzuführen, s. Kapitel 7. Ziel sollte ein Kompromiss zwischen einer guten hydraulischen Anströmung und den baulichen Aufwendungen sein.

4.5 Grobrechen bzw. Anfahr-/Einfahrtsschutz für das Einlaufbauwerk

Ein Grobrechnen ist aufgrund der großen Wehrfeldbreiten von 6 m nicht zwingend erforderlich. Die Wehrfelder sind bei vollständig gezogenen Verschlüssen geeignet auch sperriges Treibgut abzuführen.

Jedoch zeigen die Erfahrungen aus den letzten Hochwasserereignissen, dass durchaus größere Bauteile und Gegenstände (Container, Tanks, Schiffe, usw.) losgerissen werden können. Weiterhin besteht aufgrund des Schiffsverkehrs auf der Donau die Möglichkeit des Einfahrens für die Kleinschiffahrt in das Zulaufgerinne zum Einlaufbauwerk. Die Gefahr des Einfahrens von großen Güterschiffen ist hingegen eher gering, da diese aufgrund ihres Tiefganges bereits frühzeitig auf Grund laufen würden bzw. aufgrund ihrer Länge ein Einfahren quer zur Hauptströmung der Donau schwer möglich ist.

Um das Einfahren von kleineren Schiffen sowie das Verdriften von sperrigem Treibgut in das Zulaufgerinne zu verhindern bestehen folgende Möglichkeiten:

- Dalbenreihe
- Treibgutabweiser (Pontons, Schwimmbalken, Schwimmkörper)

Um Treibgut abzuhalten und das Einfahren von kleineren Schiffen zu verhindern, wird empfohlen eine Kette aus Schwimmbalken (Treibgutabweiser) am Beginn des Zulaufgerinnes zum Einlaufbauwerk zu installieren. Die Gestaltung des Einfahrtsschutzes/Grobrechens sowie die Beschilderung sind mit der WSV abzustimmen.

4.6 Weitere Anlagenteile

Weitere Anlagenteile wie Pegel, Zuwegungen und die elektrische Anbindung wurden bereits im Sicherheitskonzept [9] benannt und werden hier kurz beschrieben:

Pegel

Messtechnische Anlagen zur Erfassung der Wasserstände (automatisch registrierende Messsonden) sind im Zulaufbereich im Bereich der Stauhaltung (Zulaufpegel) und in der Hochwasserrückhaltung (Beckenpegel obere Schleife) erforderlich. Diese Pegel sind entscheidend für die Durchflussbestimmung am Einlaufbauwerk. Daher ist hier ggf. eine Redundanz der Messeinrichtungen erforderlich.

Zusätzlich werden Lattenpegel an den donauseitigen Flügelwänden und Pfeilern sowie am polderseitigen Tosbecken empfohlen.

Stromversorgung

Am Einlaufbauwerk ist sowohl der Anschluss an das öffentliche Stromnetz erforderlich, als auch eine Ersatzstromversorgung in Form eines zusätzlichen mobilen Notstromaggregats oder einer vor Ort installierte Netzersatzanlage. Aufgrund der gering benötigten Leistung wird einem mobilen Aggregat der Vorzug gegeben.

Da in der Nähe des Einlaufbauwerks kein Niederspannungsnetz anliegt, ist der Neubau einer Trafostation zum Anschluss an das vorhandene 20 kV Erdkabel im Stauhaltungsdamm erforderlich.

Steuerhaus

Die steuerbaren Betriebseinrichtungen am Einlaufbauwerk sind mit Mess-, Steuerungs- und Regeltechnik (MSR-Technik) sowie mit Anzeigen vor Ort auszustatten. Hierzu ist ein Steuerhaus zur Aufnahme der MSR-Technik sowie zur Anzeige der Betriebsdaten (Wasserstände, Verschlussstellungen) des Bauwerks vorzusehen.

Wegeanbindung

Die Zuwegung des Einlaufbauwerks erfolgt zukünftig über den Unterhaltungsweg der WSV auf dem Stauhaltungsdamm. Die kürzeste Verbindung besteht von der Westtangente (SRs 48) zum Bauwerk. Aber auch das Anfahren aus Richtung Norden über die Ortslagen Pittrich und Kößnach ist möglich. Beide Zufahrtsstrecken sind auch bei Einsatz der Hochwasserrückhaltung befahrbar.

Die Zuwegungen an der Heberanlage der WSV zu den landseitigen Wegen in der Hochwasserrückhaltung bleiben erhalten oder werden wiederhergestellt.

4.7 Auswirkungen auf das Absetzbecken

Das Absetzbecken im Anschluss an das Einlaufbauwerk bietet Vorteile beim Einstromprozess und hinsichtlich der Energieumwandlung (keine Erosionen und kein Abwandern des Wechselsprunges, da Einleitung in Wasserfläche).

Jedoch ist die Geschwindigkeit des einströmenden Wassers maßgebend für die Strömungsverteilung im Absetzbecken. Durch den Flutungsvorgang könnten Nährstoffe aus dem bestehenden Sediment im Absetzbecken gelöst und aufgewirbelt werden. Zudem enthält das Sediment Gaseinschlüsse, die beim Flutvorgang freigesetzt werden könnten.

Die Materialzusammensetzung des Sedimentes im Absetzbecken ist hingegen nicht bekannt. In den Baugrunduntersuchungen [11] wurden zwar Sedimentproben entnommen, diese aber nur umweltanalytisch untersucht. Die entnommenen Proben wurden als flüssige bis breiige Sand-Schluff-Gemische angesprochen.

Zielstellung ist es daher, durch das in die Hochwasserrückhaltung einströmende Wasser möglichst geringe Auswirkungen auf das Absetzbecken zu verursachen. Maßgebende Einflussgröße ist dabei die Fließgeschwindigkeit, mit der das Wasser in das Absetzbecken eingeleitet wird.

Ein möglichst geringer Energieeintrag in das Absetzbecken ist nur bei geringer Einleitgeschwindigkeit gegeben. Die größten Geschwindigkeiten treten dabei zu Beginn der Flutung auf, wenn nur ein Feld am Einlaufbauwerk geöffnet und der Wasserstand in der Hochwasserrückhaltung niedrig ist. Zudem ist die Geschwindigkeit abhängig von der Größe des Hochwasserereignisses in der Donau.

Aufgrund des hohen Oberwasserstandes ist das Ereignis HQ200 maßgebend. Bei diesem Lastfall besteht zu Flutungsbeginn der höchste Wasserspiegelunterschied zwischen Donau und Hochwasserrückhaltung, s. Tabelle 11.

Um die Fließgeschwindigkeiten im Ablaufgerinne nach dem Tosbecken bis zum Absetzbecken abschätzen zu können, wurde für das Bemessungshochwasser HQ200 auf Basis des Hochwassers 2011 der Flutungsvorgang im Oberflächenwassermodell nachgebildet, s. Anlage 11.

Die Darstellungen in Anlage 11 zeigen zu Flutungsbeginn (ein geöffnetes Wehrfeld) Fließgeschwindigkeiten im Ablaufgerinne von ca. 2 m/s und am Übergang zum Absetzbecken von 1,0 bis 1,5 m/s. In Anlage 10.3 wurden überschlägig Fließgeschwindigkeiten (v_u) unmittelbar nach dem Tosbecken von maximal 2,0 bis 2,6 m/s ermittelt, s. auch Tabelle 11. Dies passt gut mit den Ergebnissen aus dem Oberflächenwassermodell überein.

Im eigentlichen Absetzbecken sind aufgrund der großen Wasserfläche viel niedrigere Fließgeschwindigkeiten zu verzeichnen. Hier sind im vordersten Drittel des Absetzbeckens noch Geschwindigkeiten von 0,25 bis 0,50 m/s zu erwarten. Im restlichen Absetzbecken treten hingegen nur noch Fließgeschwindigkeiten von unter 0,1 m/s auf.

Bei mehreren geöffneten Wehrfeldern und ansteigendem Wasserstand in der Hochwasserrückhaltung sinkt die Fließgeschwindigkeit im Ablaufgerinne von Tosbecken zum Absetzbecken. Dann sind nach dem Tosbecken noch Fließgeschwindigkeiten von 1,5 m/s und am Übergang zum Absetzbecken 1,0 m/s zu erwarten. Die Wirkung der Flutung durch das Einlaufbauwerk bleibt auch bei mehreren Wehrfeldern auf das vordere Drittel des Absetzbeckens beschränkt, es verringert sich jedoch die Intensität.

Nach dem Ablaufgerinne mit einer Höhe von ca. 315,30 m ü. NN schließt die flache Böschung des Absetzbeckens an, deren Sohlhöhe im vorderen Drittel bis auf ca. 313,00 m ü. NN abnimmt. Hier wurden anhand einer Sohlpeilung Sedimentstärken von 0,1 bis 0,2 m erkundet, s. Anlage 12.

Erst in der Mitte des Absetzbeckens sind Sedimente in einer Stärke von 0,8 bis 1,2 m vorhanden. Diese liegen in einer Höhe von 310,5 bis 313 m ü. NN. Die höchsten Sedimentstärken liegen am nördlichen Rand des Absetzbeckens im Anschluss an den nach Nordwesten verlaufenden Grabenzug. Hier sind Stärken bis 1,6 m in einer Höhenlage von 313 bis 315 m ü. NN erkundet worden.

Die Lage des Ablaufgerinnes im Übergang zum Absetzbecken liegt damit in einem günstigen Bereich mit geringen Sedimentstärken und abnehmender Sohlhöhe.

Durch das räumliche Tosbecken im Anschluss an das Einlaufbauwerk wird die Energieumwandlung erhöht und die Fließgeschwindigkeiten während des Flutungsvorganges deutlich reduziert. Im anschließenden 30 bis 50 m langen Ablaufgerinne bis zum Absetzbecken setzt eine Vergleichmäßigung und Beruhigung der Strömung ein.

Die höchsten Fließgeschwindigkeiten im Ablaufgerinne treten dabei nicht an der Sohle auf, sondern nahe der Wasseroberfläche. Da die mächtigen Sedimentschichten in der Mitte des Absetzbeckens und mehrere Meter unter der Sohlhöhe des Ablaufgerinnes liegen, ist die Gefahr der Aktivierung der Sedimente eher gering einzuschätzen. Die große Breite der Wasserfläche des Absetzbeckens führt

zudem dazu, dass sich die Fließgeschwindigkeiten sehr rasch verringern und die Strömungsintensität stark abnimmt.

Um die Fließgeschwindigkeit im Ablaufgerinne und im Übergang zum Absetzbecken weiter zu reduzieren, können folgende zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden:

- Aufweitung des Ablaufgerinnes im Übergang zum Absetzbecken (Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten durch Vergrößerung des Fließquerschnittes),
- Befestigung der Sohle mit Wasserbausteinen im Übergang vom Ablaufgerinne zum Absetzbecken (Verringerung von Erosion sowie der Aktivierung von Sedimenten),
- Verteilung des Abflusses am Einlaufbauwerk bei Flutungsbeginn über mehrere Wehrfelder, wobei die Fließquerschnitte nicht vollständig freigegeben, sondern nur teilweise geöffnet werden (Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten durch Verteilung des Abflusses auf eine größere Abflussbreite im Ablaufgerinne statt konzentrierte Einleitung über ein vollständig geöffnetes Wehrfeld).

4.8 Auswirkungen auf die Fließstrecke

Der Flutungsvorgang hat auch Auswirkungen auf die an das Absetzbecken anschließende Fließstrecke. Die Fließstrecke wurde zur Sauerstoffanreicherung des über die Heberanlage am Stauhaltungsdamm zuströmenden Frischwassers in das Absetzbecken errichtet.

Dazu wurde der alte Gewässerlauf der Donau verfüllt und ein Abflussgerinne als Fließstrecke hergestellt, s. Anlage 13. Am Beginn der Fließstrecke wurde eine Einlauframpe und am Ende eine raue Rampe (Neigung jeweils 1%) vorgesehen. Das eigentliche Abflussgerinne wurde mit einer Neigung von 0,1% errichtet.

Die höchste Belastung der Fließstrecke erfolgt zu Beginn der Flutung der Hochwasserrückhaltung. Dann steigt der Wasserstand im Absetzbecken an und erzeugt einen erhöhten Abfluss über das Gerinne der Fließstrecke. Dies führt in Teilbereichen zu erhöhten Beanspruchungen.

Auch hier ist aufgrund des hohen Oberwasserstandes und des größten Wasserspiegelunterschieds zwischen Donau und Hochwasserrückhaltung das Ereignis bei HQ200 auf Basis Hochwasser 2011 maßgebend. Um die Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen in der Fließstrecke abschätzen zu können, wurde der Flutungsvorgang auch für diesen Bereich anhand des Oberflächenwassermodells ausgewertet, s. Anlage 13.

Im Abflussgerinne der Fließstrecke (Gefälle ca. 0,1%) und auf den bewachsenen Vorlandbereichen kommt es zu keiner kritischen Beanspruchung. Hier sind die Fließgeschwindigkeiten mit max. 1,0 m/s und die Schubspannungen mit max. 30 ... 40 N/m² so gering, dass keine Erosion zu erwarten ist. Zum Vergleich, eine gut durchwurzelte Grasnarbe hält Fließgeschwindigkeiten von 1,5 bis 1,8 m/s und Schubspannungen von 40 ... 50 N/m² aus. Da die Vorlandbereiche der Fließstrecke mit Büschen, Gehölzen und Hochstauden bewachsen sind, ist von einer größeren Widerstandsfähigkeit als bei einer Grasnarbe auszugehen.

Die einzig kritischen Bereiche, wo höhere Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen auftreten sind im Bereich starker Gefällewechsel. Dies betrifft den Bereich der Einlauframpe (Station 0+000 bis 0+050) und den Bereich der rauen Rampe am Ende der Fließstrecke (Station 0+675 bis 0+775) mit einem Gefälle von jeweils ca. 1 %. An diesen Stellen ist eine Erosion im Fließquerschnitt zu erwarten, wobei zum einen mit Abtrag des Sohlsubstrates (20 cm Donaukies) sowie der Sohlbefestigung aus Wasserbausteinen zu rechnen ist.

Die verwendeten Steingrößen im Bereich der beiden Rampen sind nicht bekannt. Falls hier die gleichen Steingrößen, wie im Ablaufgerinne verwendet wurden, sind diese nicht ausreichend widerstandsfähig, um der Beanspruchung bei Flutungsbeginn zu widerstehen.

Im Abflussgerinne der Fließstrecke wurden gemäß Anlage 13 Wasserbausteine der ehemaligen Größenklasse 0-1 mit $d = 5 \dots 25$ cm eingebaut. Diese Steingrößen entsprechen heute etwa der Größenklasse CP 90/250 mit einem Steindurchmesser d von $9 \dots 25$ cm. Diese Größenklasse kann je nach Steindurchmesser Schubspannungen von $40 \dots 100$ N/m² und Fließgeschwindigkeiten von $1,0 \dots 2,0$ m/s widerstehen. Bei maximalen Fließgeschwindigkeiten von $1,56$ m/s im Bereich der Einlauframpe und max. Schubspannungen von $72,76$ N/m² im Bereich der rauen Rampe am Ende der Fließstrecke ist mit teilweiser Erosion der Steinschüttungen zu rechnen.

Da Erosionen an den bestehenden Rampen nicht ausgeschlossen werden können, wird empfohlen die kritischen Bereiche an der Einlauframpe und im Bereich der rauen Rampe am Ende der Fließstrecke durch größere Wasserbausteine zu ertüchtigen. Hierfür sind Steine der leichten Gewichtsklasse LMB 5/40 ($d = 20 \dots 40$ cm) ausreichend. Diese können Fließgeschwindigkeiten von $2,0 \dots 2,8$ m/s und Schubspannungen von $90 \dots 180$ N/m² widerstehen.

Um die Eingriffe in den ökologisch hochwertigen Bestand im Bereich der Fließstrecke zu vermeiden, wird weiterhin empfohlen die Ertüchtigungen im Bereich der Rampen nach dem ersten Einsatzfall durchzuführen und nicht bereits vorher. Da die Ausführung der Rampen nicht bekannt ist und somit die Standsicherheit nicht verlässlich abgeschätzt werden kann, sollte nach dem ersten Einsatzfall der Hochwasserrückhaltung die benannten Stellen auf Erosionen untersucht und etwaige Ertüchtigungen vorgenommen werden.

5 Hydraulische Bemessung des Einlaufbauwerks

5.1 Vorbetrachtungen

Der Bemessung des geplanten Einlaufbauwerks werden die folgenden, in den vorangegangenen Kapiteln ermittelten Randbedingungen zu Grunde gelegt:

- Standortvariante: EBW S2 bei Donau-km 2332,950
- Anzahl Wehrfelder: $8 + 1$ zusätzliches Feld für Einhaltung der (n-1)-Bedingung
- Breite Wehrfelder: 6 m
- Höhe der Überlaufschwelle: 318,50 m ü. NN
- offene Bauweise (Freispiegelabfluss)
- Steuerungsvariante: St3 – gestaffelter Auf-Zu-Modus

5.2 Nachweis der Scheitelreduzierung bei Hochwasser 1988 und 2011

Die Leistungsnachweise für die Hochwasserereignisse HQ30, HQ100 und HQ200 auf Basis der Hochwasser 1988 und 2011 liegen als Anlage 4 bei und sind in Kapitel 3.5.3 beschrieben.

5.3 Nachweis der Scheitelreduzierung bei Hochwasser 2002

Wie in Kapitel 3.5.3 erläutert, sind bei einem kurzen Hochwasserereignis wie 2002 die 8 Wehrfelder am Einlaufbauwerk nicht ausreichend, um eine optimale Kappung zu erzielen. Es soll daher anhand

des Lastfalles HQ100 untersucht werden, ob der zusätzliche Einsatz des (n - 1)-Feldes und des Auslaufbauwerks zum Flutvorgang und damit zur Scheitelkappung beitragen kann.

Als Auslaufbauwerk wird überschlägig von einem geschlossenen Bauwerk mit mehreren Rechteckquerschnitten (Höhe = Breite = 2,0 m) ausgegangen. Für die Entleerung der Hochwasserrückhaltung ist ein Auslaufbauwerk mit 4 Öffnungen ausreichend, s. Teilbericht 02.01 zur Vorplanung (Variantenuntersuchung Auslaufbauwerk). Um eine Spannbreite der Wirkung bei Füllung über das Auslaufbauwerk zu ermitteln, wird die Anzahl der Rechteckquerschnitte zwischen 3 und 5 Öffnungen variiert.

Die Berechnungsergebnisse sind in Anlage 8 dokumentiert und werden in der nachfolgenden Tabelle 10 zusammengefasst:

Tabelle 10: Scheitelreduzierung bei HQ100-2002 mit Einsatz des Auslaufbauwerks (ABW)

Welle	HQ	Anzahl	ABW	Abfluss Donau					
		Felder	Anzahl Öffn.	ohne HWR	vollständige Steuerung	US EBW ohne Einsatz ABW	Red. durch Einsatz EBW	US ABW mit Einsatz ABW	Red. durch Einsatz ABW
		[-]	[-]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]	[m³/s]
Hochwasser 2002 mit 11 Wehrfeldern									
2002	100	11	-	3.400,00	3128,20	3.147,29	252,71	-	-
Hochwasser 2002 mit 8+1 Wehrfeldern									
2002	100	8 + 1	3	3.400,00	3128,20	3172,89	227,11	3150,90	249,10
2002	100	8 + 1	4	3.400,00	3128,20	3172,89	227,11	3144,56	255,44
2002	100	8 + 1	5	3.400,00	3128,20	3172,89	227,11	3138,63	261,37

Während des Scheiteldurchgangs eines HQ100 auf Basis des Hochwassers 2002 ist die Hochwasserrückhaltung noch nicht vollständig gefüllt. Der Wasserstand in der Hochwasserrückhaltung liegt unter dem Wasserstand am Kößnach-Ableiter, so dass während des Scheiteldurchganges eine zusätzliche Füllung der Rückhaltung über das Auslaufbauwerk möglich ist.

Wie die Darstellungen in Anlage 8 und Tabelle 10 dokumentieren, sind mindestens 4 Öffnungen am Auslaufbauwerk erforderlich, um eine ähnlich hohe Scheitelreduzierung zu erzielen, wie mit 11 Öffnungen am Einlaufbauwerk, s. Tabelle 4 in Kapitel 3.5.3. Das geplante Auslaufbauwerk mit 4 Öffnungen ist damit geeignet, um bei kurzen Hochwasserereignissen zum Füllprozess der Hochwasserrückhaltung beizutragen.

5.4 Überregionale Steuerung

Hauptziel der geplanten Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife ist die Entlastung der unterstromigen Hochwasserschutzanlagen im Überlastfall. Grundsätzlich erfolgt daher die Bemessung des Einlaufbauwerks auf Grundlage der für eine regionale Steuerung (i.d.R. horizontale Scheitelkappung) erforderlichen maximalen Ausleitung in die Rückhaltung, s. Kapitel 2.7.

Eine überregionale Steuerung auf den nächsten unterstrom einmündenden seitlichen Zufluss (hier der Isar) stellt eine zusätzliche Option der gesteuerten Hochwasserrückhaltung dar. Ein überregionaler Einsatz der Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife ist denkbar bei einem Überlastfall im selben Donauabschnitt sowie bei einem Überlastfall im nächsten Donauabschnitt. Die Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife ist insbesondere durch die Lage des Einlaufbauwerks im Bereich des Oberwassers der Staustufe Straubing und durch die relative Nähe zur Isarmündung durchaus für eine überregionale Steuerung geeignet.

Bei der überregionalen Steuerung der Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife auf den Donauabfluss unterhalb der Isarmündung sind wie bei der regionalen Steuerung prinzipiell zwei Zustände zu betrachten:

- Ist-Zustand mit Überlastfall ab HQ30
- Zustand nach Donauausbau Straubing-Vilshofen mit Überlastfall ab HQ100.

Eine überregionale Steuerung der Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife setzt voraus, dass nur unterhalb der Isarmündung ein Überlastfall auftritt. Gleichzeitigkeitsuntersuchungen haben zudem ergeben, dass eine recht hohe Abhängigkeit beim Auftreten von Hochwasser ober- und unterhalb der Isarmündung besteht. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass bei einer überregionalen Steuerung sowohl ober- als auch unterhalb der Isarmündung ein größeres Hochwasserereignis auftritt. Bei einer überregionalen Steuerung ist somit von einem Donauabfluss oberhalb der Isarmündung in der Größenordnung von HQ30 bis HQ100 auszugehen.

Demnach kommt es aufgrund dieser zusätzlichen überörtlichen Steueranforderungen (auf Isarmündung) zu einem im statistischen Mittel geringfügig häufigeren Einsatz der Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife:

- Ist-Zustand (Schutzgrad HQ30): ca. alle 25 - 30 Jahre
- Zustand nach Donauausbau Straubing-Vilshofen (Schutzgrad HQ100): ca. alle 85 - 90 Jahre.

5.5 Freibord und Höhe der Brücken und Verschlüsse

5.5.1 Betriebswegebrücke über die Wehrfelder

Nach DIN 19661-1 [19] sollte der Freibord an Brücken in der Regel 0,5 m betragen. Der höchste Lastfall ist ein HQ1000 mit einer Wasserspiegelhöhe von ca. 321,45 m ü. NN, s. Anlage 2.

Die Unterkante der Betriebswegebrücke sollte bei einem Freibord von 0,5 m daher mindestens auf einer Höhe von 321,95 m ü. NN liegen. Die Oberkante der Brücke und auch die Höhe der Anschlussdeiche orientieren sich dann auf 322,80 m ü. NN.

Damit liegen die Brücke und die Anschlussdeiche ca. 0,7 m höher als die Stauhaltungsdämme, die im Bauwerksbereich eine Höhe von ca. 322,10 m ü. NN aufweisen.

Die Betriebswegebrücke wird mit einer Betonfahrbahn und analog den Deichverteidigungswegen mit einer Neigung von 3 % ausgestattet. Die Fahrbahnbreite wird auf der Brücke von 3,0 m auf den Deichverteidigungswegen auf 3,5 m verbreitert. Die Brücke ist wie die Deichverteidigungswege für eine Verkehrslast von 33 kN/m² auszulegen (SLW60). Zusätzlich werden beidseitig 1,75 m breite Kappen als Fußwege und zum Aufstellen der betriebseigenen Hebetechnik (Abpratzen auf den Kappen) vorgesehen. Zur Entwässerung der Brückenfahrbahn sind feldweise Punktentwässerungen vorgesehen.

5.5.2 Freibord und Höhe der Verschlüsse

Um ein frühzeitiges Fluten der Hochwasserrückhaltung durch Überströmung der Verschlüsse vorzubeugen, sollt auch zur Oberkante der Verschlusseinrichtungen ein Freibord eingehalten werden. Der höchste Bemessungswasserstand entspricht HQ200 auf Basis Hochwasser 2011 mit einer Höhe von 320,94 m ü. NN, s. Tabelle 4.

Die Oberkante der Verschlüsse sollte bei einem Freibord von mindestens 0,5 m auf einer Höhe von 321,45 m ü. NN liegen. Dies entspricht der Höhe eines HQ1000, so dass auch bei diesem Lastfall keine ungeplante Füllung der Hochwasserrückhaltung eintritt.

Damit benötigen die Verschlüsse bei einer Höhe der Überlaufschwelle von 318,50 m ü. NN eine Höhe von 2,95 m. Im gezogenen Zustand ragen die Verschlüsse dann 1,6 m über die Deichhöhe von 322,80 m ü. NN hinaus. Die Antriebe liegen konstruktionsbedingt höher auf ca. 324,80 m ü. NN.

5.6 Konstruktive Gestaltung des Einlaufbauwerks und der Überfallschwelle

Die Zuströmung und Abströmung am Einlaufbauwerk ist ausschlaggebend für die effiziente Flutung der Hochwasserrückhaltung sowie die Energieumwandlung.

Zur strömungsgemäßen Führung und Einleitung des Abflusses in die Wehrfelder und die Energieumwandlungsanlage soll der Zustrom im Grundriss ablösungsfrei entlang der Bauwerkskontur erfolgen. Dazu sind die oberstromigen Wehrwangen auszurunden und strömungsgünstig an die Böschungen des Zulaufgerinnes zu führen. Auf eine geradlinige oder eckige Linienführung wird verzichtet, da dies Ablösungen, Wirbel und eine Einschnürung der Abflussbreite verursacht.

Die Wehrwangen im Bereich des Wehrrückens und des Tosbeckens verlaufen hingegen parallel zu den Wehrfeldern und sind lotrecht zu erstellen. Sie werden bis über die Tosbeckenendschwelle geführt.

Der Übergang und Anschluss an die unterstromige Uferböschung soll ebenfalls ausgerundet werden. Um Ablösungswirbel und Kolkbildung im Anschluss an das Tosbecken zu vermeiden, wird auf eine eckige Gestaltung der unterstromigen Wehrwangen verzichtet.

Die Wehrpfeiler werden kurz ausgeführt und enden bereits am Tosbeckenanfang. Dadurch wird die Ausbildung von Randwalzen im Tosbecken unterstützt. Zudem wird damit erreicht, dass die unterstrom der Pfeiler entstehenden Wirbel noch innerhalb des Tosbeckens reduziert werden und so die Kolkbildung unterstrom des Tosbeckens minimiert wird.

Oberstrom wird der Pfeilerkopf ausgerundet und lotrecht hergestellt, um eine ablösungsfreie Anströmung sicher zu stellen. Das Pfeilerende im Unterwasser schließt hingegen rechtwinklig ab, um klare Ablösungskanten zu bieten. Dadurch sollen gerichtete Wirbel hinter den Pfeilern entstehen, welche die Ausbildung von Randwalzen begünstigen. Um infolge der Ablösewirbel einen verstärkten Angriff auf die Tosbecken- und Gerinnesohle im Anschluss zu vermeiden, werden die Pfeilerenden abgescrägt.

Die Ausrundung der Wehrschwelle erfolgt anhand einer quadratischen Parabel ($y = x^2 / 2$). Die Wehrschwellenneigung erfolgt mit 1:2.

Die Verschneidungskehle zwischen der Wehrschwelle und der Tosbeckensohle wird ebenfalls ausgerundet, hier mit einem Radius von 8 m. Die Ausrundung ist hydrodynamisch nicht zwingend, da sich der Abflussstrahl diese Ausrundung selbst bildet. In der Verschneidungskehle formt sich dann allerdings eine Gegenwalze in der das mitgeführte Geschiebe rotiert und die Kehle aushöhlt (Geschiebeschliff).

5.7 Überschlägige Tosbeckenbemessung

5.7.1 Vorbetrachtungen

Im Vorfeld einer Tosbeckenbemessung ist es erforderlich, die grundlegenden Wechselsprungeigenschaften zu kennen. Zur Beschreibung dieser dienen die Froudezahl Fr_1 des Schussstrahles sowie der Einstaugrad ε . Auf diese Kennwerte wird im Weiteren genauer eingegangen.

Die Froudezahl dient zur Ermittlung des Fließzustandes eines Gewässers und beschreibt das Verhältnis von Fließgeschwindigkeit zu Wellenausbreitungsgeschwindigkeit. Breiten sich die Wellen sowohl nach ober- als auch nach unterstrom aus, wird von einem strömenden Zustand gesprochen und wenn sich die Wellen nur nach unterstrom ausbreiten von einem schießenden Zustand. Die sich aus diesem Verhältnis ergebende Formel lautet:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}}$$

Die Froude-Kennzahl wird in folgende drei Zustände unterteilt:

$Fr < 1$ → Strömender Abfluss

$Fr = 1$ → Grenzzustand

$Fr > 1$ → Schießender Abfluss

Ein Wechselsprung tritt beim Fließwechsel vom schießenden in den strömenden Zustand ein und dessen Erscheinungsform wird maßgebend von der Höhe der Froudezahl beeinflusst. Die unterschiedlichen Erscheinungsformen werden im Folgenden beschrieben:

$Fr = 1,0 - 1,7$ → Gewellter Wechselsprung, keine Deckwalze

$Fr = 1,7 - 2,5$ → Relativ kleine Deckwalze, geringer Energieumsatz

$Fr = 2,5 - 4,5$ → Oszillierender Wechselsprung, unruhiger Abfluss

$Fr = 4,5 - 9,0$ → gut ausgebildeter, stetiger Wechselsprung, beste Energieumwandlung

$Fr > 9,0$ → Vehementer Wechselsprung, starke Turbulenzen

Es sollte eine Froudezahl im Bereich von 4,5 bis 9,0 angestrebt werden, da bei niedrigeren Werten die Energieumwandlung schwächer und bei höheren Werten der Abfluss unruhiger wird und somit die Ufer stärker gesichert werden müssen.

Der zweite Kennwert zur Beschreibung der Wechselsprungeigenschaften ist der Einstaugrad ε . Er beschreibt das Verhältnis von vorhandener Fließtiefe h_{2vorh} zu erforderlicher Fließtiefe h_{2erf} und die zugehörige Formel lautet:

$$\varepsilon = \frac{h_{2vorh}}{h_{2erf}}$$

Es werden die folgenden zwei Fälle unterschieden:

$\varepsilon < 1$ → Abwandern des Wechselsprunges nach unterstrom („Ausblasen“)

$\varepsilon > 1$ → Rückgestauter Wechselsprung

Die Bemessung eines Tosbeckens zielt darauf ab, für ein möglichst breites Abflussspektrum die Sicherheit der Anlage gegen Ausblasen des Wechselsprunges zu gewährleisten. Ein Ausblasen des Wechselsprunges sollte in jedem Fall vermieden werden, da dies ein Versagen der Anlage bedeutet und die nach unterstrom wandernde Deckwalze zu starken Erosionen führen kann.

Die Sicherheit gegen Versagen der Anlage wird durch den rückgestauten Wechselsprung gewährleistet, jedoch sinkt mit steigendem Einstaugrad auch die Energieumwandlung im Tosbecken. Ein rückgestauter Wechselsprung hat auch zur Folge, dass der Schussstrahl über eine längere Strecke an der Sohle entlang fließt, ohne dass eine starke Durchmischung eintritt. Als Folge dessen sind die sohlna-

hen Geschwindigkeiten beim rückgestauten Wechselsprung deutlich größer als beim freien Wechselsprung. Ein zunehmender Einstaugrad hat zur Folge, dass die Deckwalzenlänge zunimmt und gleichzeitig die Intensität der Turbulenzen abnimmt.

5.7.2 Überschlägige Bemessung und konstruktive Gestaltung des Tosbeckens

Die überschlägige Bemessung dient dazu, anhand von konstruktiven Richtwerten eine Grundstruktur für das in Kapitel 3.8.6 vorgeschlagene räumliche Tosbecken zu entwerfen. Auf diese Weise können die erforderliche Länge sowie Lage und Größe der Einbauten abgeschätzt werden. Im Zuge dieser Vorbemessung werden die folgenden zwei Tosbeckentypen untersucht:

- konventionelles Tosbecken ohne Einbauten
- erweitertes konventionelles Tosbecken mit Einbauten

konventionelles Tosbecken ohne Einbauten

Das konventionelle Tosbecken bezeichnet ein Tosbecken ohne Einbauten. Es zeichnet sich durch eine ebene Sohle aus, ist im Allgemeinen eingetieft und wird durch eine Endschwelle abgeschlossen.

Die Eintiefung dient dazu, die Sicherheit gegen Ausblasen des Wechselsprungs zu erhöhen. Um den Grad der erforderlichen Eintiefung zu bestimmen, kann die folgende Formel verwendet werden:

$$e = h_{2erf} \cdot (1,05 \dots 1,20) - h_{2vorh}$$

Der in der Formel enthaltene Faktor (1,05 ... 1,20) dient hierbei zur Kompensation von Ungenauigkeiten.

Eine, das Tosbecken abschließende Endschwelle ist für jede Energieumwandlungsanlage erforderlich. Ihre Grundform ist die Rechteckendschwelle, deren Pralleffekt dazu führt, dass sich die Sicherheit gegen Ausblasen des Wechselsprungs erhöht. Sie weist jedoch auch die folgenden Nachteile auf:

- Erhöhter Rückstauereffekt
- Stärkere Kolkbildung unterstrom des Tosbeckens

Das konventionelle Tosbecken deckt nur ein geringes Abflussspektrum ab und führt bei zunehmendem Einstaugrad von $\varepsilon > 1,2$ zu einer geringeren Energieumwandlung. Der Schussstrahl fließt dann, überdeckt von der rückgestauten Deckwalze an der Tosbeckensohle entlang (rückgestauter Wechselsprung). Ab einem Einstaugrad von $\varepsilon > 3$ ist kein Wechselsprung mehr zu erkennen, dann findet der Abfluss nur noch im Freistrahle statt.

In Anlage 10 erfolgte eine überschlägige Bemessung des Tosbeckens für das geplante Einlaufbauwerk. Dazu wurden die Bemessungsereignisse HQ30, HQ100 und HQ200 auf Basis des Hochwassers 2011 verwendet. Einen Überblick gibt die nachstehende Tabelle.

Tabelle 11: Zusammenfassung der untersuchten Lastfälle zur Tosbeckenbemessung

	Einheit	HQ30 (HW2011)	HQ100 (HW2011)	HQ200 (HW2011)
Oberwasserstand h_0	[m]	1,75 ... 1,81	1,95 ... 2,02	2,16 ... 2,44
Froudezahl Fr_1	[-]	5,58 ... 6,65	5,26 ... 5,45	4,79 ... 5,08
Einstaugrad ε	[-]	1,36 ... 4,77	1,31 ... 3,84	1,21 ... 3,49
erf. Eintiefung	[m]	0,31 ... 0,64	0,40 ... 0,74	0,58 ... 0,95
erf. Tosbeckenlänge	[m]	14,33	15,63	16,80
Fließgeschwindigkeit im Zulauf v_0	[m/s]	1,41 ... 1,97	1,97 ... 2,08	2,14 ... 2,26
Fließgeschwindigkeit im Ablauf v_u	[m/s]	0,53 ... 1,75	0,82 ... 2,05	0,99 ... 2,61
Steingröße des Kolk- schutzes im Vor- und Nachboden	[m]	0,12 ... 0,13	0,15 ... 0,17	0,20 ... 0,27
	[-]	CP63/180	CP90/250	LMB 5/40

Infolge des größeren Oberwasserstandes und damit der größeren Wasserspiegeldifferenz zwischen Donau und Hochwasserrückhaltung ist der Lastfall HQ200 (HW2011) maßgebend für die Gestaltung des Tosbeckens. Durch die Lage des Einlaufbauwerks am Absetzbecken besteht ein Wasserpolster im Tosbecken, so dass sich zu Flutungsbeginn bereits ein rückgestauter Wechselsprung im Tosbecken einstellt. Der Einstaugrad beträgt stets $> 1,2$, so dass keine Gefahr des Abwanderns des Wechselsprungs besteht.

Die Froudezahl des Schussstrahls in das Tosbecken liegt mit Werten von mehr als 4,5 im optimalen Bereich mit der besten Energieumwandlung.

Gerade bei der geplanten Hochwasserrückhaltung vergrößert sich mit zunehmender Füllung des Rückhalterumes der Rückstau effekt. Der Einstaugrad steigt dann weit über 1,2 an und erreicht zum Ende der Flutung Werte größer 3. Durch den zunehmenden Rückstau wird die Energieumwandlung verringert und die Turbulenz- und Zirkulationsintensität nimmt ab. Der Schussstrahl fließt dann, überdeckt von der rückgestauten Deckwalze, an der Tosbeckensohle entlang.

Am Ende des Flutungsvorganges bei Einstaugraten von $\varepsilon > 3$ tritt kein Wechselsprung mehr auf. Dann findet der Abfluss nur noch im Freistrahls statt, da die Differenz zwischen Donauwasserstand in der Stauhaltung und dem Stauziel in der Hochwasserrückhaltung am geringsten und damit der Rückstau effekt am größten ist.

Aufgrund der zunehmenden Wassertiefe in der Hochwasserrückhaltung während des Flutungsprozesses verringert sich die erforderliche Eintiefung des Tosbeckens. Um eine optimale Energieumwandlung (gut ausgebildeter, stetiger Wechselsprung) mit Froudezahlen $> 4,5$ während des gesamten Flutungsvorganges sicherzustellen, wurde eine Eintiefung von $e = 1,00\text{ m}$ für das konventionelle Tosbecken am Einlaufbauwerk gewählt.

Die erforderliche Tosbeckenlänge des konventionellen Tosbeckens beträgt 16,8 m.

Das in Anlage 10 berechnete konventionelle Tosbecken wird als Ausgangstosbecken für die weitere Optimierung verwendet.

erweitertes konventionelles Tosbecken mit Einbauten

Einbauten in Tosbecken stellen eine Erweiterung des konventionellen Tosbeckens dar. Mit ihnen kann das Abflussspektrum und die Sicherheit gegen Ausblasen erhöht, die Energieumwandlung intensiviert und die Nachteile des rückgestauten Wechselsprunges kompensiert werden. Außerdem führen sie zu einer Vergleichmäßigung des Geschwindigkeitsprofils (geringere Wellen- und Kolkbildung) und die Tosbeckenlänge und Tosbeckeneintiefung kann verringert werden.

Für die Anwendung von Einbauten am geplanten Einlaufbauwerk werden die folgenden Grundformen unterschieden:

- Strahlteiler
- Störkörper
- Zahnschwelle

Auf weitere Einbauten, wie Schwellen und Sohlstufen wird verzichtet.

Strahlteiler

Eine Form von Einbauten sind die Strahlteiler. Sie sind auf dem Wehrschwellenrücken gelegen, dreiecksförmig und sollten einen Verbauungsgrad von höchstens 50 % aufweisen. Durch Strahlteiler kann die Höhe von sich bildenden Wellen um etwa 30 % verringert werden. Sie eignen sich besonders für rückgestaute Abflüsse mit Einstaugraden von $\varepsilon > 1,2$ oder bei kleinen Froude-Zahlen $< 4,0$, also bei oszillierenden Wechselsprüngen mit unruhigen Abflüssen. Auf die Kolkbildung haben die Strahlteiler einen eher geringen Einfluss.

Die Kanten der Strahlteiler sollten mit Winkeleisen verstärkt werden, um sie vor Beschädigung durch Treibgut zu schützen. Eine mögliche Form von Strahlteilern ist in Abbildung 9 dargestellt.

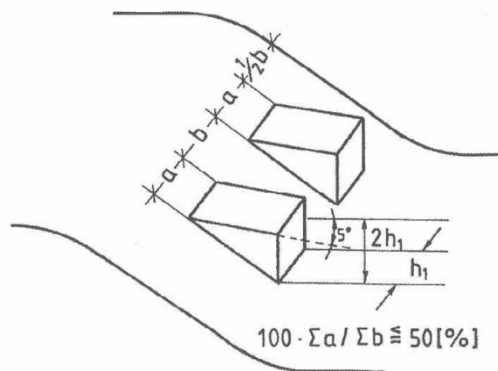


Abbildung 9: Ansicht und Bemessungsangaben von Strahlteilern, hier für $Fr = 2,5 \dots 4,5$, [Csallner, 2007]

Obwohl der rückgestaute Abflussvorgang Einstaugrade von teilweise weit über 1,2 verursacht, wird der Einbau von Strahlteilern am geplanten Einlaufbauwerk nicht empfohlen. Die Strahlteiler besitzen zwar Einfluss auf die Wellenhöhe aber nicht auf die Kolkbildung im Anschluss an das Tosbecken. Eine Notwendigkeit von Strahlteilern im Zusammenwirken mit den übrigen Einbauten ist ggf. aus dem hydraulischen Modellversuch zu ermitteln.

Störkörper

Die positiven Effekte von Störkörpern sind vielseitig. So führen sie zu einer Verringerung der Wellenhöhen und der Kolkentwicklung, sowie zu einer Vergleichmäßigung des Geschwindigkeitsprofils. Außerdem wird die Sicherheit gegen Ausblasen des Wechselsprunges erhöht und auch die erforderliche Tosbeckenlänge verkürzt. Insbesondere bei rückgestauten Wechselsprüngen mit hohen Einstauggraden sind Störkörper zur Reduzierung der sohlnahen Geschwindigkeiten und zur Normalisierung des Geschwindigkeitsprofils von Vorteil. Eine Auswahl von möglichen Störkörperformen ist in Abbildung 10 dargestellt.

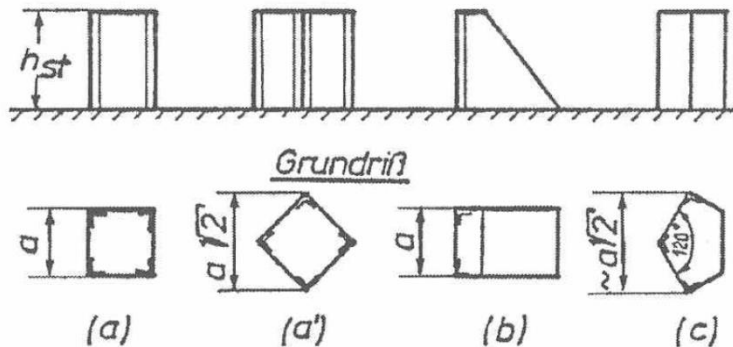


Abbildung 10: Standardformen von Störkörpern [Csallner, 2007]

Es wird empfohlen, Störkörper aus hochfestem Beton herzustellen, da sie hohen hydrodynamischen Belastungen ausgesetzt werden. Bezüglich der Bemessung von Störkörpern gibt es folgende Richtwerte:

- Höhe: $h_{st} \cong h_1 \cdot (1,0 \dots 2,0)$
- Breite \cong Länge: $a \cong (1,0 \dots 2,0) \cdot h_{st}$
- Verbauungsgrad = 30 bis 50 %, Empfehlung: 35 bis 40 %
- die Störkörper sollten im Bereich $x_{st} \cong [L_{Tb} / 3]$ liegen
- in der Regel ist die Anordnung einer Störkörperreihe ausreichend

Aufgrund des zunehmenden Einstauggrads und einer geringen Durchmischung (schwache Energieumwandlung) beim rückgestauten Wechselsprung werden zur Verringerung der sohlnahen Geschwindigkeiten Störkörper in der Tosbeckensohle empfohlen.

Die Störkörper werden folgendermaßen bemessen:

- Die Höhe der Störkörper wird mit $h_{st} = 1,0 \text{ m}$ angesetzt.
- Die Breite und Länge wird ebenfalls mit $a = 1,0 \text{ m}$ festgelegt. Die Störkörper erhalten damit eine quadratische Form.
- Der Abstand zwischen den Störkörpern wird auf 1,5 m festgelegt. Dies entspricht einem empfohlenen Verbauungsgrad von 40 %.
- Bei einer gewählten Tosbeckenlänge von 15 m werden die Störkörper bei 5 m nach Beginn des Tosbeckens angeordnet.
- Es wird nur eine Störkörperreihe angeordnet.

Endschwelle mit Zahnreihe

Wesentliche Aufgabe der Endschwelle ist es, die hohen sohnnahen Geschwindigkeiten aus dem Tosbecken zu verringern und so eine Kolkbildung im anschließenden Abflussgerinne zu verringern. Eine Form der Endschwelle ist die Erweiterung der Rechteckendschwelle mit einer Anrampung und einer aufgesetzten Zahnreihe.

Infolge der Anrampung verringern sich der Pralleffekt und damit der Rückstauereffekt. Die Zahnreihe führt hingegen zu einer weiteren Verringerung der Geschwindigkeiten und zu einer Vergleichmäßigung des Geschwindigkeitsprofils und damit zur Reduzierung der Kolkbildung. Die Richtwerte für die Bemessung dieser Schwellenform sind:

- Rampenneigung im Bereich 1:3 bis 1:4
- Höhe der vertikalen Schwellenfront im Bereich $e' = 0,25 \cdot e$ und $0,5 \text{ m} \geq e' \geq 0,2 \text{ m}$
- Zahnreihenlänge im Bereich $h_z = (0,15 \dots 0,20) \cdot h_u$
- Verbauungsgrad der Zahnreihe zwischen 40 und 50 %

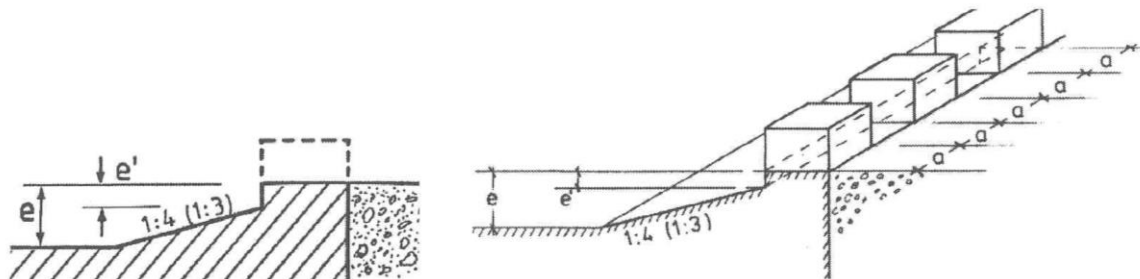


Abbildung 11: Endschwellenform mit aufgesetzter Zahnreihe [Csallner, 2007]

Um die Geschwindigkeiten zu verringern und die Kolkbildung unterstrom des Tosbeckens zu begrenzen, wird eine Endschwelle mit Zahnreihe empfohlen. Auf eine Anrampung wird hingegen verzichtet, da durch Erfahrungen aus Modellversuchen eine senkrechte Endschwelle den Pralleffekt und damit die Energieumwandlung erhöht. Die Abmessungen wurden gewählt zu:

- Zahnreihenlänge $h_z = 0,5 \text{ m}$
- Verbauungsgrad der Zahnreihe 50 % ($a = 1,0 \text{ m}$)

Zusammenfassung

Die Länge eines konventionellen Tosbeckens kann durch optimale Anordnung von Einbauten um bis zu 20 ... 30 % reduziert werden. Am Einlaufbauwerk wurde die erforderliche Länge eines konventionellen Tosbeckens nach Anlage 10 zu ca. 16,8 m ermittelt. Unter Berücksichtigung der o.g. Reduzierung wäre damit eine Länge von 11,75 ... 13,5 m möglich. Da jedoch die abschließende Anordnung und Gesamtwirkung der Einbauten erst durch einen wasserbaulichen Modellversuch bestätigt werden kann, wird auf der sicheren Seite liegend eine Länge von 15 m für das Tosbecken gewählt.

Auch die Tosbeckeneintiefung kann durch die Einbauten verringert werden. Hier muss jedoch weiterhin die Sicherheit gegen Ausblasen und eine optimale Energieumwandlung (Froudezahl $> 4,5$) gewährleistet werden. Daher wird die gewählte Tosbeckeneintiefung von 1,0 m nicht verringert, sondern vorerst beibehalten.

Die tatsächliche Tosbeckenlänge und Tosbeckeneintiefung bei Berücksichtigung der Einbauten kann abschließend nur anhand eines wasserbaulichen Modellversuches bestimmt werden.

5.8 Kolkchutz im Nachboden sowie Befestigung im Zulaufgerinne

Da unterstrom des Tosbeckens noch Strömungen vorliegen, die eine Kolkbildung begünstigen, muss die Gerinnesohle in diesem Bereich befestigt werden. Dieser befestigte Bereich wird auch Nachboden genannt.

Die Länge des erforderlichen Kolkschutzes bestimmt sich maßgebend aus der Wirksamkeit des Tosbeckens. Wurde das Tosbecken durch den Einsatz von Einbauten ausreichend optimiert, verringert sich dementsprechend die Länge des zu schützenden Sohlbereiches. Die Kolkschutzlänge sollte in etwa der des Tosbeckens entsprechen.

Für die Dimensionierung des Kolkschutzes existieren empirische Bemessungsformeln, die sich auf die sohlnahen Geschwindigkeiten beziehen. Um hierfür die mittleren Geschwindigkeiten verwenden zu können, ist es erforderlich, dass die Geschwindigkeiten am Ende des Tosbeckens ausreichend ver gleichmäßig sind.

Ein Ansatz erfolgt über die Ermittlung der erforderlichen Einzelsteingröße, beschrieben über die fiktiven Durchmesser d_{erf} einer Kugel:

$$d_{erf} = 0,04 \cdot v^x$$

Der in den Formeln verwendete Exponent x wird unter Berücksichtigung der Tosbeckenwirksamkeit und dem Widerstandsverhalten der Kolksteine bestimmt. Der Wert x ist variabel und sollte mehr als 1,85 betragen. Um auf der sicheren Seite zu liegen, wird empfohlen den Exponenten mit $x = 2,0$ festzulegen.

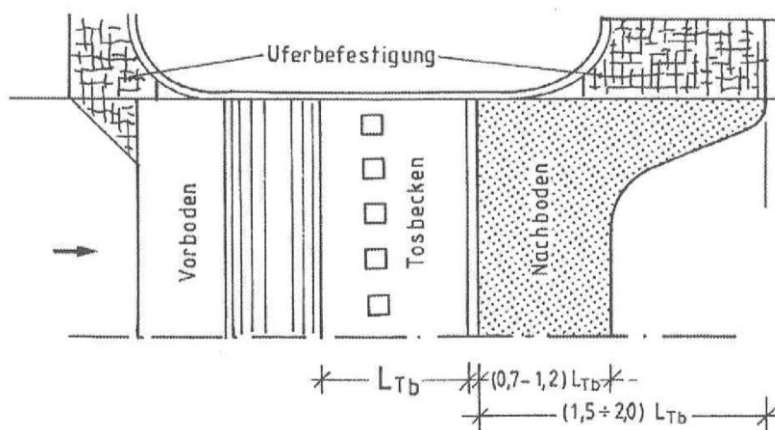


Abbildung 12: Befestigungen am Ufer und unterstrom des Tosbeckens [Csallner, 2007]

Der Aufbau des Kolkschutzes sollte mindestens zweilagig sein und beim Bau im Trockenen folgendermaßen aufgebaut sein:

- über der bestehenden Flusssohle wird eine zweilagige Filterschicht, bestehend aus einer Sandschicht (5 bis 10 cm) und einer Kiesschicht (10 bis 20 cm), angeordnet
- die Sohlenbefestigung besteht aus Wasserbausteinen ($1,5$ bis $2 \cdot d_{max}$)

Der Aufbau des Kolkschutzes ist in Abbildung 13 dargestellt

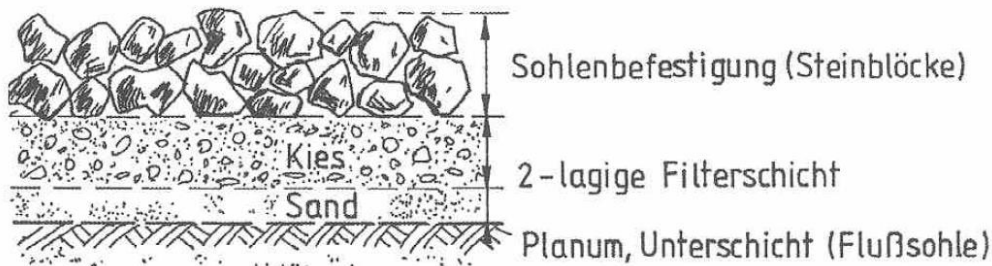


Abbildung 13: planmäßiger Aufbau des Kolkschutzes [Csallner, 2007]

Bei Einbau des Kolkschutzes unter Wasser ist statt der Sand- und Kiesschicht ein Geotextil zu bevorzugen.

Die Kolkschutzlänge sollte mindestens der Tosbeckenlänge entsprechen. An den seitlichen Böschungen wird die 1,5 bis 2-fache Länge empfohlen

Im Zuge der Vordimensionierung wird die Kolkschutzlänge in Abhängigkeit der Tosbeckenlänge auf $1,5 \times 15 \text{ m} = 22,5 \text{ m}$ festgelegt. Die Bestimmung der Einzelsteingröße erfolgt über die Ermittlung des erforderlichen Steindurchmessers d_{erf} . Für diesen ergibt sich nach Anlage 10 ein Höchstwert von $d_{\text{erf}} = 0,27 \text{ m}$, was einer erforderlichen Steinklasse von LMB 5/40 entspricht, s. auch Tabelle 11.

Das Zulaufgerinne unterstrom des Vorbodens ist ebenfalls mit Wasserbausteinen der leichten Gewichtsklasse LMB 5/40 zu befestigen, s. auch Tabelle 11.

6 Zusammenfassung

In den vorangegangenen Kapiteln wurden verschiedene Ausführungsvarianten für das Einlaufbauwerk (EBW) der geplanten Hochwasserrückhaltung (HWR) Öberauer Schleife betrachtet und gegenübergestellt. Durch die spezifischen Berechnungen bzw. die zweckdienlichen Abwägungen der jeweiligen Vor- und Nachteile der zur Wahl stehenden Varianten unter Einbeziehung der geforderten Prämissen, Festlegungen und sonstigen Anforderungen sind Vorzugsvarianten erarbeitet worden, welche die Abmessungen, Ausrüstung und Ausführung des Einlaufbauwerkes bzw. der einzelnen Anlagenteile für die weiterführende und vertiefende Entwurfsplanung vorgeben.

Da das geplante Einlaufbauwerk im Normalfall aufgrund der Lage im Stauhaltungsdamm der Donau als Bundeswasserstraße der Aufrechterhaltung der Donauwasserstände in der Stauhaltung Straubing dient, wird es im Sinne der DIN 19700-13 eingeordnet und muss dementsprechend bemessen und ausgestattet werden. Es wird zur Aufrechterhaltung der durchgängigen Befahrbarkeit des Unterhaltungsweges des linken Stauhaltungsdamms, für eine gute Erreichbarkeit des Bauwerks und der zugeordneten Anlagen sowie deren Unterhaltung und Kontrolle mit einer Brücke ausgerüstet, die für Schwerlastverkehr ausgelegt wird.

Statische und geotechnische Bemessungen sind nicht Bestandteil dieser Unterlage. Alle Betrachtungen zur Gründung und abschließenden Bauteildicke der Anlagenbestandteile basieren auf Vorabschätzungen und Erfahrungswerten. Diese werden im Rahmen der weiteren Planungsphasen konkretisiert.

Als Standort für das Einlaufbauwerk eignet sich besonders der Bereich am nordwestlichen Schenkel der Öberauer Schleife im Übergang zur Stauhaltung bei Donau-km 2332,950 (Variante EBW S2).

Dem Einlaufbauwerk wird das Funktionsprinzip des Freispiegelabflusses zugrunde gelegt. Daher wird es in offener Bauweise errichtet und betrieben. Der Füllvorgang zur Flutung der Hochwasserrückhaltung wird über das neunfeldrige Verschlussbauwerk über die Steuerungsvarianten der vollständigen Steuerung (Variante St1) und des gestaffelten „Auf-Zu-Modus“ gesteuert (Variante St3), s. Kapitel 3.4.5.

Für eine optimale Befüllung der Hochwasserrückhaltung durch das zielgerichtete Kappen des Scheitels der Hochwasserwelle eines Donauhochwassers ab einem HQ30 (auf Basis des Hochwassers 2011) werden lediglich acht Wehrfelder benötigt, jedoch ergibt sich durch die (n-1)-Bedingung eine Gesamtanzahl von insgesamt neun Wehrfeldern. Die lichte Weite der Felder wurde mit je 6,0 m ermittelt. Die Überlaufschwelle des Wehrbauwerks liegt auf einer Höhe von 318,50 m ü. NN.

Für die Verschlusseinrichtungen der Hauptverschlussebene werden Gleitschütze favorisiert (Variante EBW V1), die jeweils über automatisierte zweiseitige Elektrospindelantriebe durch einen zentralen und gesteuerten E-Motor bewegt werden (Variante EBW A2). Das Bewegen der Wehrverschlüsse wird dadurch auch bei Stromausfällen einfach über Netzersatzaggregate und auch manuell im Handbetrieb möglich sein.

Aus Gründen der Betriebssicherheit (Trennung von Donau, Aufrechterhaltung Stauhaltung) und zur Durchführung rascher Funktionsprüfungen der Hauptverschlussebene ist eine doppelte Ausführung der Verschlusseinrichtungen zu empfehlen. Dafür wird die Ausführung einer zweiten Verschlussebene favorisiert, die eine temporäre Nutzung von mindestens einem Revisionsverschluss vorsieht, der bei Störungen oder Ausfällen auch als Notverschluss eingesetzt werden kann. Außerdem wird für das Einlaufbauwerk der Hochwasserrückhaltung Öberauer Schleife eine festinstallierte Kranbahn mit elektrisch betriebenen Laufkatzen samt Seilhubwerken als Hebetechnik empfohlen, mit der die zweite Verschlussebene zu jeder Zeit und mit relativ wenig Aufwand bewegt werden kann (Variante 2.2). Als Verschlussystem für die Revisions-/Notverschlüsse sollen Dammtafeln aus Stahl dienen, die vor Ort in dafür vorgesehene Lagern abgelegt werden, um einen raschen Einsatz sicherzustellen.

Als Energieumwandlungsanlage ist ein räumliches Tosbecken auf Seiten der oberen Schleife vorgesehen. Um der geringeren Energieumwandlung bei rückgestautem Wechselsprung während des Flutvorganges entgegen zu wirken, sind im Tosbecken Einbauten (Störkörper und Zahnschwelle) erforderlich. Diese gewährleisten für den gesamten Prozess der Flutung eine ausreichende Energieumwandlung und eine Reduzierung der Fließgeschwindigkeiten im Übergang zum Absetzbecken. Durch das räumliche Tosbecken mit Einbauten kann die Länge des Tosbeckens auf 15 m begrenzt werden. Die Eintiefung beträgt 1,0 m.

Der Anschluss der Dichtungen des Einlaufbauwerks an die Dichtungen in den Anschlussdämmen kann im Schutz des linken Stauhaltungsdamms erfolgen. Der bestehende Stauhaltungsdamms und deren Dichtung (VIBROSOL-Schmalwand) werden dann erst bei Herstellung des Zulaufgerinnes rückgebaut, wenn die Anschlussdämme und das Einlaufbauwerk bereits funktionstüchtig sind. Hierbei ist der Vertikaldichtung (Schmalwand) in den Anschlussdämmen dabei der Vorzug vor einer Flächen-dichtung (Dichtungsteppich) zu geben. Mit der Vertikaldichtung ist mit einer einfachen Bauweise und Bautechnologie ein sicherer Anschluss an das Einlaufbauwerk, den Untergrund und die bestehende Dichtungsebene in den Stauhaltungsdämmen möglich.

Der Zulaufbereich zum Einlaufbauwerk und die Anbindung an das Absetzbecken sollen vorzugsweise ohne Richtungsänderung auf einer Achse liegen. Dadurch kann eine gleichmäßige Anströmung an alle Wehrfelder sowie ein gleichmäßiges Abströmen in die Hochwasserrückhaltung sichergestellt werden. Weiterhin wird im Zulauf ein trapezförmiges Gerinne mit gleichbleibender Sohlbreite empfohlen. Für die Höhenlage des Zulaufgerinnes von der Donau zum Einlaufbauwerk wurde die Höhe der 1,0 m dicken donauseitigen Böschungsbefestigung (Steinwurf) von 318,00 m ü. NN gewählt.

Ein aus Schwimmbalken bestehender Treibgutabweiser im Zulaufbereich wird trotz der großen Wehrfeldbreiten empfohlen. Aufgrund der Gewässergröße und des regen Schiffsverkehrs ist damit auch ein Einfahrtsschutz für das Einlaufbauwerk sichergestellt.

Die Vorzugsvarianten und Entwurfsparameter des geplanten Einlaufbauwerks sind in der nachfolgenden Tabelle zusammenfassend dargestellt.

Tabelle 12: Zusammenstellung der Vorzugsvarianten und Entwurfsparameter

Anlagenbestandteile	Vorzugsvarianten / Entwurfsparameter
Standort	Variante EBW S2 bei Donau-km 2332,950
Funktionsprinzip und Bauweise	offene Bauweise mit Freispiegelabfluss
Steuerung	Variante St1 (vollständige Steuerung) und Variante St3 (gestaffelter „Auf-Zu-Modus“)
Anzahl der Wehrfelder	8 Felder + (n - 1)-Feld = 9 Felder
Breite der Wehrfelder	6,0 m
Höhe der Überlaufkante	318,50 m ü. NN
Art der Verschlusseinrichtung und Antriebe	Gleitschütz mit zweiseitigem Elektroschwenktrieb, zentralem Motor und nichtsteigenden Gewindespindeln
Energieumwandlungsanlage	vertieftes räumliches Tosbecken mit gezahnter Endschwelle und Störkörpern; Länge 15,0 m; Eintiefung 1,0 m, Kolkschutzlänge 22,5 m

Anlagenbestandteile	Vorzugsvarianten / Entwurfsparameter
Betriebswegebrücke	Fahrbahnbreite 3,5 m; Neigung 3 %; beidseitige Kappen je 1,75 m Breite (zum Aufstellen der betriebseigenen Hebetechnik); Brückenbelag: Beton; feldweise Punktentwässerung; Verkehrslast 33 kN/m ² (SLW60)
Kranbahn	auf den Pfeilern aufgelagerte Stahlkonstruktion mit Kranträger für Laufkatzen und Seilhubwerk; Lastgröße (Stahltafel): ca. 6 t
Revisionsverschlüsse	wasserseitig (Donau): Kranbahn mit mind. zwei Dammtafeln aus Stahl landseitig (HWR): Big-Bags unterstrom des Tosbeckens
Baugrube	Baugrube im Hinterland des bestehenden Stauhaltungsdamms (Herstellung des Einlaufbauwerks im Schutz des Stauhaltungsdamms)
Grobrechen / Einfahrtsschutz	Treibgutabweiser (Kette aus Schwimmbalken) im Zulaufbereich in Achse des Stauhaltungsdamms
Messeinrichtungen	Zulaufpegel in Stauhaltung (Donau) und Beckenpegel in Hochwasserrückhaltung; zusätzlich Lattenpegel vor und nach dem Bauwerk
Stromversorgung	Anschluss an öffentliches Stromnetz (inkl. Trafostation) sowie mobiles Notstromaggregat als Ersatzstromversorgung
Bedien- und Überwachungsanlage	Steuerhaus mit Anzeige der Betriebsdaten (Wasserstände, Verschlussstellungen)
Zuwegung	von Osten über die Westtangente (SRs 48), von Norden/Nordwesten über die Ortslagen Kößnach und Pittrich sowie aus beiden Richtungen über den Unterhaltungsweg auf dem Stauhaltungsdamms
Absturzsicherungen	Füllstabgeländer (da öffentlich zugänglich)

Als Bauzeit für die Errichtung des Einlaufbauwerks werden zum gegenwärtigen Stand ca. 24 Monate abgeschätzt. Dieser Zeitraum beinhaltet zusätzlich zu den Beton-, Stahlbau- und Erdarbeiten die Betoneignungsprüfungen, Holzungen, die Fertigung der Stahlwasserbauteile, Winterpausen sowie die technische Ausrüstung des Bauwerks.

7 Weitere Empfehlungen

Aufgrund des Standortes und der wasserwirtschaftlichen und hydraulischen Gegebenheiten, insbesondere die Stauinhaltslinie der Hochwasserrückhaltung, ist die Lage des Bauwerks sowie die Energieumwandlungsanlage am Einlaufbauwerk „individuell“ zu erfassen und zu gestalten. Jedes Bauwerk besitzt Eigenheiten, die zu berücksichtigen sind. Es gibt nur wenige kongruente Anlagen. Oft bedingen nur geringfügig anmutende Verschiedenheiten der äußeren Gegebenheiten überraschend deutliche Änderungen in der Gestaltung eines Bauwerks sowie der Energieumwandlungsanlage. Solche Erkenntnisse sind vorwiegend aus einem Modellversuch zu gewinnen.

Der wasserbauliche Modellversuch bleibt in den meisten Fällen das beste Hilfsmittel sowohl zur technischen als auch zur wirtschaftlichen Optimierung eines Bauwerks sowie seiner Energieumwandlungsanlage. Im Modellversuch lässt sich der Entwurf nach Funktionstüchtigkeit und hydraulischer Sicherheit exakt für alle relevanten Abflusssituationen nachweisen.

Daher wird für das Einlaufbauwerk die Durchführung eines physikalischen Modellversuches empfohlen. Dieser sollte folgende Untersuchungen beinhalten:

- Untersuchung der donauseitigen Anströmung zum Bauwerk zur Optimierung der Ausrundung der Flügelmauern bzw. des Zulaufgerinnes sowie der Lage des Bauwerks zum Absetzbecken
- Untersuchung der Notwendigkeit von Trennwänden im Tosbecken (separate Tosbecken pro Feld oder ggf. ein Tosbecken für zwei oder drei Felder)
- Länge und Eintiefung des Tosbeckens sowie Wirkung und Lage der Einbauten (Störkörper, End- bzw. Zahnschwelle, ggf. ergänzend Wirkungsnachweis für Strahlteiler)
- Länge des Kolkschutzes im Anschluss an das Tosbecken
- Einfluss des Flutvorganges auf das Absetzbecken (Belastung, Aktivierung von Sedimenten, Strömungsverhältnisse)

Modellversuche in einem physikalischen Modell sollten aus Kostengründen vorzugsweise nur für den Vorzugsstandort mit der Vorzugsvariante durchgeführt werden. Die Modellversuche dienen in erster Linie der Untersuchung der Energieumwandlungsanlage und der mit der Flutung verbundenen (Durchströmungs-)Effekte im nachgeschalteten Absetzbecken (Aktivierung Sedimente). Im Modellversuch kann zudem auch eine ggf. günstigere Anströmung durch Schrägstellung in Bezug zum Absetzbecken sowie eine Ausrundung der Anschlussbereiche an die Stauhaltungsdämme untersucht werden.

Für den Modellversuch ist für Aufbau und Durchführung der Versuche ein Zeitraum von 6 bis 12 Monaten einzuplanen. Der Modellmaßstab hängt von den Platzverhältnissen der Versuchsanstalt ab und sollte nicht kleiner als 1:50 betragen. Gegebenenfalls sind je nach Ausdehnung des Modells auch Maßstäbe von 1:30 oder 1:40 realisierbar.

Zusätzlich zur Durchführung eines wasserbaulichen Modellversuches sind weitere Abstimmungen mit folgenden Beteiligten durchzuführen:

Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes, vertreten durch das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Regensburg

- Abstimmungen zur Ausführung des Treibgutabweisers/Einfahrtsschutzes sowie zur Beschilderung im Zulaufbereich zum Einlaufbauwerk
- Abstimmungen zum Rückbau des Stauhaltungsdammes und zum Dichtungsanschluss

Energieversorgung Rupert Heider & Co. KG (Heider Energie)

- Abstimmungen zur Verlegung eines 20 kV Erdkabels im Stauhaltungsdammbau
- Abstimmungen zum Anschluss des Einlaufbauwerks an das öffentliche Stromnetz (Trafostation und Netzanschluss)

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Scopingunterlage Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Gewässer Donau (Gew. I), Ingenieurgesellschaft Lahmeyer Hydroprojekt - Lahmeyer München - Büro Prof. Kagerer, 28.04.2017
- [2] Landesplanerische Beurteilung für die geplante Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Regierung von Niederbayern (Höhere Planungsbehörde), August 2013
- [3] Raumordnungsverfahren (ROV) Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, SKI GmbH + Co. KG, München 24.09.2012
- [4] Bestandsplan: Stauhaltung Straubing Los 32/4 Bereich 4; Linker Flußseitendamm – Durchstich Oberau; Dichtwandabwicklung, Bohrungen sowie Injektionsbereich unter der Hochspannungsleitung; Blatt Nr. 1; Neubauamt Donauausbau, Außenstelle Straubing; 10.02.94
- [5] Entwurfsvermessung Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Ingenieurgesellschaft Lahmeyer Hydroprojekt – Lahmeyer München – Büro Prof. Kagerer, 09/2015
- [6] Abschlussbericht Peilung und Sedimentvermessung, Geo Ingenieur Service Süd GmbH & Co.KG, 16.12.2015
- [7] Entscheidungsvorlage Planungsgrundsätze Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Ingenieurgesellschaft Lahmeyer Hydroprojekt – Lahmeyer München – Büro Prof. Kagerer, 11/2017
- [8] Entscheidungsvorlage Deiche Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Ingenieurgesellschaft Lahmeyer Hydroprojekt – Lahmeyer München – Büro Prof. Kagerer, 11/2017
- [9] Sicherheitskonzept Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife, Ingenieurgesellschaft Lahmeyer Hydroprojekt – Lahmeyer München – Büro Prof. Kagerer, 09/2017
- [10] Entscheidungsvorlage zur Ausführung doppelter Verschlusseinrichtungen am Einlaufbauwerk der HWR Oberauer Schleife, Ingenieurgesellschaft Lahmeyer Hydroprojekt – Lahmeyer München – Büro Prof. Kagerer, 11/2017
- [11] Geotechnischen Berichte, Bericht 2.6 (TO7, TO12), Ingenieurgesellschaft Lahmeyer Hydroprojekt – Lahmeyer München – Büro Prof. Kagerer, 03/2017
- [12] DWA-Themen Flutpolder (04/2014), Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA)
- [13] DWA-M 512-1 (02/2012), Dichtungssysteme im Wasserbau, Teil 1: Erdbauwerke, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA)
- [14] DIN 19700-13 (07/2004) Stauanlagen - Teil 13: Staustufen, Normenausschuss Wasserwesen (NAW), Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [15] DIN 19702 Standsicherheit von Massivbauwerken im Wasserbau, Normenausschuss Wasserwesen (NAW), Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

- [16] DIN 19704-1 (05/1998) Stahlwasserbauten, Teil 1: Berechnungsgrundlagen, Normenausschuss Wasserwesen (NAW), Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [17] DIN 19704-2 (05/1998) Stahlwasserbauten, Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung, Normenausschuss Wasserwesen (NAW), Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [18] DIN 19712 (01/2013) HWS-Anlagen an Fließgewässern, Normenausschuss Wasserwesen (NAW), Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [19] DIN 19661-1 (07/1998) Wasserbauwerke, Teil 1: Kreuzungsbauwerke, Durchleitungs- und Mündungsbauwerke, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)
- [20] DVWK-M 246/1997: Freibordbemessung an Stauanlagen. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- [21] DVWK-M 249/1998: Betrieb von Verschlüssen im Stahlwasserbau. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- [22] WAPRO 4.09, Bl. 1 bis 9: Hydraulische Bemessung von Hochwasserentlastungsanlagen und Grundablässen. VEB Projektierung Wasserwirtschaft Halle/Saale
- [23] Bollrich, G.; Preißler, G.: Technische Hydromechanik Bd. 1, 3. Auflage. Verlag für Bauwesen, Berlin 1992
- [24] Buja, H.-O.: Praxishandbuch Ramm- und Vibrationstechnik. Bauwerk Verlag Berlin 2007
- [25] Wickert, G., Schmauß, G.: Stahlwasserbau. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1971
- [26] Csallner, K.: Flussbau. Universitätsverlag Weimar 2007
- [27] DIN 103 (04/1977) - Metrisches ISO-Trapezgewinde, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)