



BMBF-PROJEKT STUCK

ABSCHLUSSBERICHT

AUFSTOCKUNG 2018–2019

Projektbericht Gewässer und Hochwasserschutz Nr. 02/2020

Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner
Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels –
das BMBF-Forschungsprojekt Stuck



LSBG
Landesbetrieb Straßen,
Brücken und Gewässer
Hamburg





Bericht des Forschungsprojekts Stuck, Förderkennzeichen 033W031, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Förderschwerpunkts Nachhaltiges Wassermanagement (NaWaM).



Projektpartner:



Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (LSBG)
Sachsenfeld 3–5, 20097 Hamburg
Prof. Dr. Gabriele Gönnert



Technische Universität Hamburg (TUHH)
Institut für Wasserbau
Denickestraße 22, 21073 Hamburg
Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle



hydro & meteo GmbH & Co. kg (h&m)
Breite Straße 6–8, 23552 Lübeck
Dr. Thomas Einfalt



Universität Hamburg (UHH)
Institut für Pflanzenwissenschaften und Mikrobiologie
Abteilung Angewandte Pflanzenökologie
Ohnhorststraße 18, 22609 Hamburg
Prof. Dr. Kai Jensen
Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit (CEN),
Institut für Bodenkunde
Allendeplatz 2, 20146 Hamburg
Prof. Dr. Annette Eschenbach



Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH (HWWI)
Oberhafenstraße 1, 20097 Hamburg
Dr. Malte Jahn

© LSBG Hamburg 2020

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Prüfung und Genehmigung des LSBG ist es nicht gestattet, diesen dienstlichen Bericht oder Teile daraus zu veröffentlichen.

Inhalt

1	Einleitung/Problemstellung.....	7
2	Methodik.....	8
2.1	Bestandsaufnahme und Messverfahren	10
2.2	Numerische Abbildung von Hochwasserrückhalteräumen.....	10
2.2.1	Ziele neuer Steuerungsfunktionen zur numerischen Abbildung von Hochwasserrückhalteräumen	10
2.2.2	Entwicklung und Implementierung von Steuerungsfunktionen im numerischen hydrologischen Modell	10
2.2.3	Erweiterte Steuerungssysteme.....	11
2.3	Prinzip der Index-Bewertung für Hochwasserrückhalteräume – EUFRI	16
2.3.1	Hochwasserschutz.....	18
2.3.2	Biotopqualität.....	18
2.3.3	Stoffretention.....	20
2.3.4	Bodenwasserretention.....	21
2.3.5	Kosten	22
2.3.6	Naherholung.....	23
2.4	Ableitung von fachspezifischen Gestaltungsvarianten	23
2.5	Entwicklung einer optimierten Gestaltungsvariante mit komplexer Zielsetzung ..	24
2.6	Kommunikation mit Entscheidungsträgern und Naturschutzverbänden.....	25
3	Fallbeispiel – HRB Retentionsraum Mühlenau	26
3.1	Rechtliche Grundlagen	27
3.2	Hydrologie und wasserbauliche Kennwerte.....	28
3.3	Flora und Fauna.....	30
3.4	Boden und Sedimente	31
3.5	Unterhaltung und Nutzung.....	34
3.6	Niederschlags-Abfluss-Modellierung	34
3.6.1	Abbildung des HRB Retentionsraum Mühlenau im numerischen hydrologischen Modell „Kollau“	35
3.6.2	Ergebnisse der Modellsimulationen des aktuellen Zustandes des HRB Retentionsraum Mühlenau	45
3.6.3	Komponenten zur Erstellung der Gestaltungsvarianten mit Steuerungsfunktionen eines Hochwasserrückhaltebeckens	47
3.6.4	Vorgehen der interdisziplinären Lösungsfindung der Gestaltungsvarianten	49

3.7	EUFRI-Bewertung des IST-Zustandes.....	50
4	Ergebnisse.....	55
4.1	Gestaltungsvarianten mit fachspezifischer Zielsetzung	55
4.1.1	Maximierung Hochwasserschutz	55
4.1.2	Maximierung Biotopqualität	56
4.1.3	Maximierung Stoffretention	60
4.2	EUFRI-Bewertung der fachspezifischen Gestaltungsvarianten	60
4.2.1	Bewertung der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘	60
4.2.2	Bewertung der Gestaltungsvariante ‚Maximierung der Biotopqualität‘	63
4.2.3	Bewertung der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Stoffretention‘	66
4.2.4	Zusammenfassung und Diskussion der EUFRI-Bewertungen der fachspezifischen Gestaltungsvarianten.....	68
4.3	Hinweise aus Gesprächen mit zuständigen Dienststellen und anderen Fachexperten.....	71
4.4	Definition der Erhaltungs- und Entwicklungsziele.....	72
4.4.1	Erhaltungsziele	74
4.4.2	Entwicklungsziele.....	74
4.5	Optimierte Gestaltungsvariante mit komplexer Zielsetzung	75
4.6	EUFRI-Bewertung der Vorzugsvariante.....	79
5	Diskurs.....	83
6	Ausblick	86
7	Zusammenfassung.....	87
8	Literatur	88
9	Anhang.....	91
10	Aufstellungsvermerk.....	99

Abkürzungsverzeichnis

AKM	Halbruderale Gras- und Staudenflur mittlerer Standorte
AKN	Eisenbahn-Aktiengesellschaft Altona-Kaltenkirchen-Neumünster
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
DN	Diameter Nominal (Nomineller Rohrdurchmesser)
EUFRI	Ecological Urban Floodwater Retention Index
HRB	Hochwasserrückhaltebecken
HWaG	Hamburgisches Wassergesetz
HWRM-RL	EG-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie
HWWI	Hamburger WeltWirtschaftsinstitut
LSBG	Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer
NHN	Normalhöhennull
NRG	Rohrglanzgras-Röhricht
NRR	Rohrkolben-Röhricht
NRS	Schilf-Röhricht
SER	Naturnahes, nährstoffreiches Rückhaltebecken
Stuck	Sicherstellung der Entwässerung küstennaher urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels
TUHH	Technische Universität Hamburg
UHH	Universität Hamburg
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	EG-Wasserrahmenrichtlinie

Danksagung

Die Autoren und Projektpartner von ‚Stuck‘ danken dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) für die Förderung des Verbundforschungsprojekts im Rahmen der Fördermaßnahme ‚Regionales Wasserressourcen-Management für den nachhaltigen Gewässerschutz in Deutschland‘ (ReWaM). Die Projektpartner von ‚Stuck‘ sind:

- Freie und Hansestadt Hamburg – Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer (Verbundprojektkoordination)
Prof. Dr. Gabriele Gönnert, Dieter Ackermann, Dr. Heiko Westphal, Fred Hesser, Friederike Fischer
- Technische Universität Hamburg, Institut für Wasserbau
Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle, Sandra Hellmers, Edgar Nehlsen
- hydro & meteo GmbH & Co. kg, Lübeck
Dr. Thomas Einfalt, Alexander Strehz, Alrun Jasper-Tönnies
- Universität Hamburg
 - o Centrum für Erdsystemforschung und Nachhaltigkeit, Institut für Bodenkunde
Prof. Dr. Annette Eschenbach, Dr. Alexander Gröngröft, Kira Kalinski
 - o Institut für Pflanzenwissenschaften und Mikrobiologie, Abteilung Angewandte Pflanzenökologie
Prof. Dr. Kai Jensen, Nikola Lenzewski, Kolja Ole Dudas
- Hamburgisches WeltWirtschaftsinstitut gGmbH
Dr. Malte Jahn, Marie-Christin Rische

Weiterhin danken wir besonders Frau Sonja Peters (LSBG) für ihre umfangreiche Hilfe bei der Gestaltung dieses Berichts.

1 Einleitung/Problemstellung

Die starke Verdichtung und Bodenversiegelung in urbanen Räumen bedingt einen Verlust an Retentions- und Vegetationsflächen. Dies führt in Folge von Starkregenereignissen immer wieder zu Überschwemmungen in diesen Gebieten. Außerdem werden durch fehlende Habitats die Biodiversität und auch die dortige Naherholungsfunktion verringert.

Hochwasserrückhaltebecken (HRB) dienen der Reduzierung von Schäden durch Hochwasserabflüsse, indem durch die Zwischenspeicherung in den Becken der Abfluss verzögert und der Hochwasserscheitel gesenkt wird.

Um einen optimalen Einklang der Bereiche Hochwasserschutz und Biodiversität zu erreichen, wird in der Aufstockungsphase des Projekts Stuck (Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels) die Fragestellung untersucht, wie bei maximalem Nutzen für den Hochwasserschutz eine maximale Wertigkeit eines HRB als Biotop erreicht werden kann, beziehungsweise unter welchen Bedingungen sich die Ansprüche von Hochwasserschutz und Ökologie in einem HRB ideal ergänzen. Dabei geht es um die Umgestaltung von HRB zu Trockenbecken und Maßnahmen ihrer Unterhaltung. Der hier angestrebte Rahmen eines optimalen ökologischen Zustands zeichnet sich dabei durch eine hohe Biodiversität aus, die sich durch eine möglichst heterogene Habitatstruktur einstellen kann. Außerdem trägt eine durch Sedimentation erreichte Stoffretention zu einer Verbesserung der Gewässergüte des Vorfluters bei. Aus hydrologischer Sicht besteht eine Optimierung aus der Erhöhung des Stauraumes im Becken, sowie der Wasserretention im Boden der ufernahen Bereiche. Neben den genannten Aspekten werden außerdem der Kostenaufwand für die Herstellung und Unterhaltung des HRB, sowie die Naherholungsfunktion berücksichtigt. Des Weiteren spielt die Einbindung jeglicher potentiell betroffener Parteien in die Planung eine große Rolle bei der Untersuchung. Eine Kommunikation über den gesamten Untersuchungszeitraum hinweg gibt wichtige Hinweise zum Vorgehen.

Ziel ist es, eine Methodik zu entwickeln, mit der eine wasserwirtschaftliche und ökologische Optimierung von HRB erreicht werden kann und abgeleitete Hinweise zur Gestaltung und Unterhaltung in einem Maßnahmen- und Managementplan darzulegen. Als Praxisbeispiel für dieses Vorgehen dient das HRB Retentionsraum Mühlenau im Bezirk Eimsbüttel in Hamburg, das zu einem wechselfeuchten Trockenbecken optimiert wird.

Die Ergebnisse, die während der Aufstockungsphase erzielt wurden, sind in diesem Bericht dargestellt. Im Rahmen der Aufstockungsphase wurden diverse Projekttreffen und Arbeitsgespräche durchgeführt sowie Tagungen besucht und Fachbeiträge publiziert. Darüber hinaus wurden studentische Arbeiten (z.B. Bachelor Thesis) verfasst. Eine Auflistung hierzu ist in Kap. 11 des Abschlussberichtes 2015-2019 enthalten.

2 Methodik

Als Entscheidungsgrundlage für die (Um-)Gestaltung von Flächen hat sich die Betrachtung von dadurch veränderten Ökosystemleistungen etabliert (Scholz et al., 2012). An Ihre Grenzen stößt diese Methode bei der rein monetären Bewertung von Habitaten für Flora und Fauna. Im Forschungsprojekt RESI des Vernetzungs- und Transfervorhaben ReWaM wurde deshalb ein alternatives Konzept basierend auf einem River Ecosystem Service Index (RESI) entwickelt (Podschun et al., 2018). Dabei handelt es sich um eine funktionsorientierte Bewertung der Ökosystemleistungen von Flüssen. Hinsichtlich des Hochwasserschutzes wird zum Beispiel die Regulation von Extremabflüssen bewertet. Dies geschieht über das potentielle Retentionsvolumen in den Auenflächen entlang eines Fließgewässers. Die Habitatbereitstellung des Gebiets wird über die funktionelle und strukturelle Qualität autotypischer Habitats bewertet (Podschun et al., 2018). In Anlehnung an RESI wurde im Projekt Stuck ein Bewertungsschema entwickelt, das an die Eigenschaften von städtischen HRB und Retentionsräumen (RR) angepasst ist, der Ecological Urban Floodwater Retention Index (EUFRI).

Als Grundlage für die Bewertung der hydrologischen Auswirkungen der entwickelten (Um-)Gestaltung ist eine Niederschlags-Abfluss-Modellierung (N-A-Modellierung) erforderlich. Im Projekt Stuck wurden neben den in LSBG (2020a) beschriebenen Erweiterungen neue Funktionen zur Abbildung der Steuerung von Hochwasserrückhalteräumen in N-A-Modellen entwickelt (s. Kap. 2.2).

Zur Ermittlung einer optimalen Gestaltung eines HRB hinsichtlich Hochwasserschutz und Ökologie werden auf Grundlage des IST-Zustandes verschiedene Varianten des HRB unter Berücksichtigung unterschiedlicher Schwerpunkte entworfen, die sogenannten fachspezifischen Gestaltungsvarianten. Durch das Bewertungsverfahren des EUFRI werden diese miteinander verglichen und in einem iterativen Prozess eine Kombinationsvariante ermittelt, die alle fachspezifischen Gestaltungsvarianten bestmöglich miteinander vereint.

In Abb. 1 ist das entwickelte methodische Vorgehen zur Gestaltungsfindung von HRB unter ausgewählten Schwerpunkten abgebildet. Es gibt Hinweise auf alle wichtigen, zu berücksichtigenden Faktoren und zeigt, bei welchen methodischen Schritten die Einbindung potenziell betroffener Parteien besonders bedeutsam ist. Im Folgenden werden die Bestandteile dieser Vorgehensweise detailliert erläutert.

Methodisches Vorgehen zur Gestaltung von Hochwasserrückhaltebecken

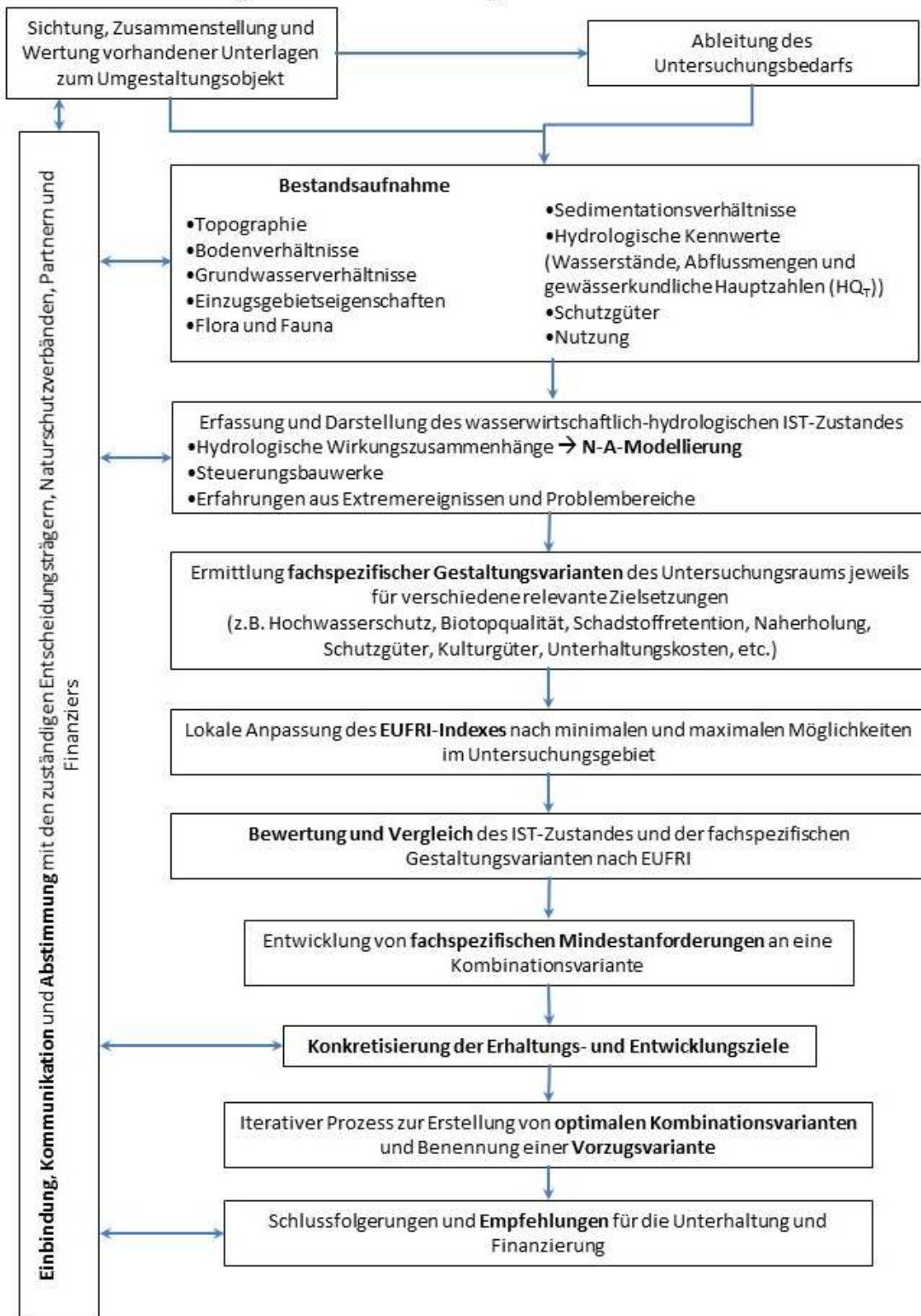


Abb. 1: Methodisches Vorgehen für die Umgestaltung zu optimierten wechselfeuchten HRB.

2.1 Bestandsaufnahme und Messverfahren

Für den Entwurf möglicher Gestaltungsvarianten eines HRB muss der aktuelle morphologische, hydrologische, ökologische und pedologische Zustand des zu verändernden Bereichs bekannt sein. Auf dieser Grundlage können die Potenziale des Gebiets abgeschätzt und verschiedene Gestaltungsvarianten erarbeitet werden.

Die Basis bilden Daten über das Relief und die Boden- und Grundwasserverhältnisse. Außerdem werden für die N-A-Modellierung detaillierte Informationen zum Stauraum des HRB benötigt. Zur flächendeckenden Ermittlung der Geländehöhen werden über das GNSS-Verfahren (Globales Navigationssatellitensystem) punktuelle Messungen vorgenommen, aus denen mittels Interpolation und Berücksichtigung neuester Digitaler Geländemodelle (DGM) ein Modell der aktuellen Geländeoberfläche erstellt werden kann. Der anstehende Boden wird über Bodenkartierung ermittelt. Außerdem wird überprüft, ob ein Einfluss durch Grundwasser besteht und ob dieser möglicherweise bei einem Bodenabtrag entsteht.

Durch die Erfassung hydrologischer Kennwerte kann die Reaktion des Beckens im IST-Zustand auf Hochwasserereignisse analysiert und das N-A-Modell kalibriert werden. Hierzu werden Wasserstands- und Abflussmessungen durchgeführt.

Eine ausführliche Kartierung von Flora und Fauna ermöglicht eine Einschätzung deren Entwicklungspotenzials. Die Erfassung der Sedimentationsverhältnisse gibt Hinweise auf eine mögliche Stoff- und Geschieberückhaltung.

Zur vollständigen Dokumentation der Gebietscharakteristika wird außerdem eine Analyse der Schutzgüter und der Nutzung inkl. Naherholung durchgeführt. Dabei ist auch die Einbettung in das Landschaftsbild von Bedeutung.

2.2 Numerische Abbildung von Hochwasserrückhalteräumen

2.2.1 Ziele neuer Steuerungsfunktionen zur numerischen Abbildung von Hochwasserrückhalteräumen

Die wasserwirtschaftlichen Steuerungsfunktionen von HRB, die für die Erfüllung der ökologischen Anforderungen benötigt werden, sind in bisherigen N-A-Modellen nicht oder in einfacherer Form vorhanden. Dieses Defizit numerischer Modelle wird im Projekt Stuck für das Modell Kalypso behoben. Zusätzlich werden neue Steuerungsfunktionen zur Abbildung von Hochwasserrückhalteräumen implementiert.

Die entwickelten und implementierten Steuerungsfunktionen zur Modellierung von gesteuerten wechselfeuchten, trockenen HRB oder HRB im Dauerstau werden im folgenden Abschnitt erläutert.

2.2.2 Entwicklung und Implementierung von Steuerungsfunktionen im numerischen hydrologischen Modell

Gegenwärtige Steuerungsfunktionen in numerischen hydrologischen Modellen basieren auf der Simulation von stationären Wasserstand-Volumen-Abfluss (WVQ)-Beziehungen. Für die Abbildung instationärer Steuerungstechniken sind diese bisherigen Funktionen jedoch nicht ausreichend. Im Gegensatz zu einer stationären Steuerungsfunktion entspre-

chen die Steuerungsparameter im Zeitablauf keinem konstanten Wert, sondern verändern sich in Abhängigkeit von Steuerungskriterien. Durch die gegenwärtigen Techniken der Niederschlagsvorhersage sowie der digitalen Pegeldatenübertragung ist es möglich, Systeme instationär zu steuern. Daraus erwächst der Bedarf zur Entwicklung von Methoden zur Abbildung von instationären Steuerungsfunktionen in numerischen Modellen. Ein solches Steuerungssystem umfasst die Öffnung oder Schließung von Zu- sowie Abflussbauwerken von Hochwasserrückhalträumen. Als gesteuerte Bauwerke können zum Beispiel bewegliche Drosseln, Wehre oder Pumpen eingesetzt werden. Die bisherigen sowie die neu entwickelten Funktionen werden im Folgenden erläutert.

Stationäre Steuerung eines Hochwasserrückhaltraumes

Die Abbildung eines Hochwasserrückhaltraumes in einem numerischen hydrologischen Modell basiert auf einer stationären WVQ-Beziehung. Ein solches System und dessen Funktionen sind schematisch in Abb. 2 dargestellt. Je nach Wasserstand im Becken wird ein bestimmtes Füllvolumen erreicht. Gleichzeitig liegt eine direkte Abhängigkeit zwischen dem Wasserstand im Becken und dem Abfluss aus dem Becken vor. Es können mehrere Auslässe (hier drei) in unterschiedlicher Bauwerkshöhe simuliert werden. Durch das Wasserstandsgefälle zwischen dem Hochwasserrückhaltraum und dem Auslass werden jeweilig bestimmte Abflussmengen erreicht.

Die WVQ-Funktionen des betrachteten Systems ändern sich im zeitlichen Verlauf nicht. Die Simulation von zeitlich veränderbaren Beziehungsfunktionen und damit dynamisch gesteuerten Systemen mit Kriterien (Triggern oder Auslösern) des Niederschlags, des Wasserstandes oder eines Abflusses außerhalb des betrachteten Hochwasserrückhaltraumes ist hiermit nicht möglich. Daher werden im Rahmen der Aufstockung des Projektes Stück für die Abbildung von Hochwasserrückhalträumen mit gesteuertem Ein- und Auslassbauwerken Modellerweiterungen entwickelt und implementiert.



Abb. 2: Schema und Funktion einer stationären Wasserstands-Volumen-Abfluss-Beziehung eines Hochwasserrückhaltraumes im numerischen hydrologischen Modell.

2.2.3 Erweiterte Steuerungssysteme

Erweitertes Steuerungssystem I: Instationäre Steuerung des Auslassbauwerkes eines HRB

Die numerische Modellierung von instationären, also zeitlich variablen Steuerungsfunktionen basiert auf der Aktivierung unterschiedlicher WVQ-Funktionen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Entsprechend vorgegebener Kriterien werden Zeitreihen des Wasserstandes, Abflusses oder Niederschlages geprüft, ob Prüfkriterien (Schwellenwerte) erreicht werden (siehe Abb. 3a). Wird ein Schwellenwert für eine definierte Zeitdauer überschritten, er-

folgt die Aktivierung einer bestimmten WVQ-Funktion. Durch die Veränderbarkeit pro Zeitschritt werden somit zeitlich variable („instationäre“) Steuerungsfunktionen abgebildet. Das Schema einer solchen instationären Steuerungsfunktion ist in Abb. 3b dargestellt. Mit diesem instationären Steuerungssystem erfolgt die Abbildung von gesteuerten Abflussbauwerken. Es wird im Folgenden als „Steuerungssystem I“ bezeichnet.

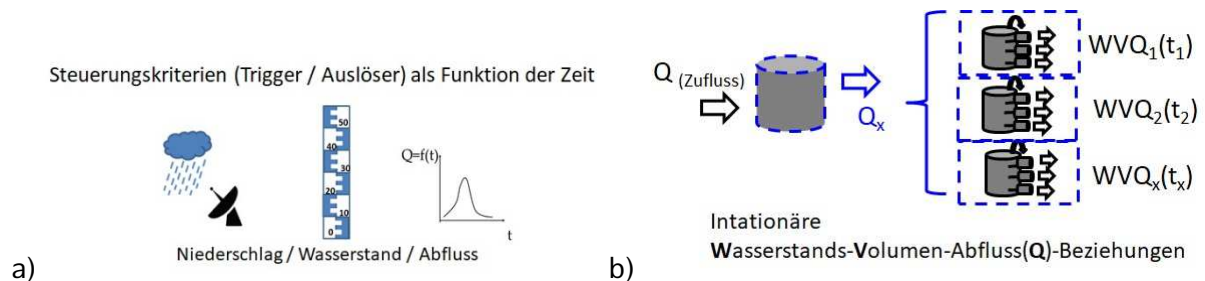


Abb. 3: a) Überblick der Steuerungskriterien (Trigger/Auslöser) für die Aktivierung instationärer Steuerungssysteme. b) Schema der Modellierung von instationären WVQ-Beziehungen, die entsprechend unterschiedlicher Kriterien (Schwellenwerten) von Niederschlag, Wasserständen oder Abflüssen pro Zeitschritt aktiviert werden.

Erweitertes Steuerungssystem II: Instationäre Steuerung eines Einlassbauwerkes von Hochwasserrückhalteräumen

Zusätzlich zur Abbildung von instationär gesteuerten Auslassbauwerken der HRB (=„Steuerungssystem I“) ist es erforderlich, auch das Einlassbauwerk mit einer instationären Steuerung zu versehen („Steuerungssystem II“). Wie im Fall der Auslassbauwerke, können als Einlassbauwerke bewegliche Drosseln, Wehre oder Pumpen eingesetzt werden. Im Modell ist das Einlassbauwerk als „Verzweigungsknoten“ abgebildet, über den die Abflussaufteilung auf zwei Gerinne definiert wird. An diesem Knotenpunkt können Beziehungen zwischen dem Abfluss des Hauptgerinnes und den Abflussanteilen in die Teilgerinne definiert werden. Eine solche „Abfluss zu Abfluss“ Beziehung wird im Folgenden als „Q zu Q Beziehung“ bezeichnet. Ein Schema dieser instationären Steuerung ist in Abb. 4 (Steuerungssystem II) dargestellt.

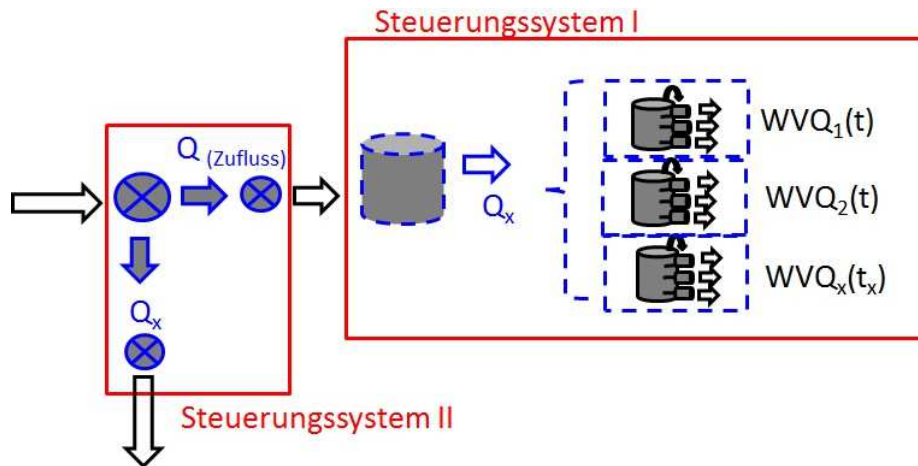


Abb. 4: Schema der entwickelten und implementierten dynamischen Steuerungsfunktionen eines Retentionsbeckens (Steuerungssystem I) und eines Knotens (Steuerungssystem II) zur Abbildung von gesteuerten Hochwasserrückhalteräumen.

Zusätzlich zu einem Schwellenwert als Prüfkriterium ist auch eine Mindestdauer der Aktivierung der Steuerung zu definieren. Eine Steuerungsfunktion wird nicht nur zum Zeitpunkt des aktuellen Eintretens des Schwellenwertes (z. B. Niederschlagsintensität) aktiv geschaltet sein, sondern mehrere Stunden vorher bzw. nachher aktiv sein, bis die Wasserstände auf ein bestimmtes Niveau gefallen sind. Zur Deaktivierung einer Steuerungsfunktion wird ebenso ein Prüfkriterium angegeben.

Im Rahmen von Vorhersagesystemen liegt der Zeitpunkt zur Aktivierung einer Steuerung mit einer bestimmten Vorlaufzeit vor dem Erreichen des Schwellenwertes. In diesem Fall erfolgt eine Vorab-Aktivierung der instationären Steuerungsfunktion. Im Weiteren kann die Steuerung für eine definierte Zeitdauer aktiviert bleiben, um zum Beispiel die Entlastung des Beckens nach Beendigung eines Starkregenereignisses zu aktivieren und für einen längeren Zeitraum aktiviert zu halten.

Erweitertes Steuerungssystem zur Modellierung von Rückstauklappen

Eine weitere neue Funktionalität zur Modellierung von Hochwasserrückhalteräumen ist die Simulation von Rückstauklappen im Ein- und/oder Auslass des Beckens. Rückstauklappen sind bei einem Hochwasserrückhalteraum erforderlich, um die Fließrichtung zur Füllung bzw. zur Entleerung des Beckens zu steuern. Bei trockenen Hochwasserrückhalteräumen mit Umlaufgerinne kann es in den Phasen der Füllung und Leerung zu Wasserstandsgefällen entgegen der vorgesehenen Fließrichtung kommen. Im Fall des Einlassbauwerkes wird ein unkontrollierter Abfluss aus dem Becken über das Einlassbauwerk in den Oberlauf verhindert. Ebenso kann beim Auslassbauwerk kein unkontrollierter Einlass in das Becken auftreten. Ein Ab- oder Zufluss wird in diesem Fall durch Rückstauklappen gesteuert. Ein schematisches Beispiel einer Rückstauklappe ist in Abb. 5 dargestellt.

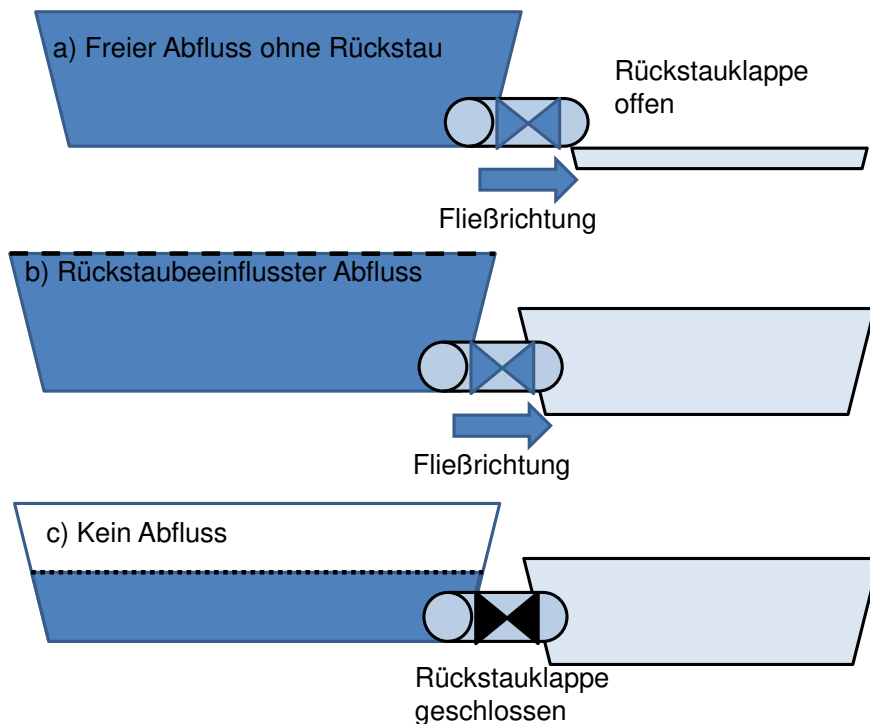


Abb. 5: Schema der Steuerung einer Rückstauklappe in Abhängigkeit zum Wasserstandsgefälle zwischen dem Hochwasserrückhalteraum und dem Gewässer im Unterlauf des Beckens.

Der zeitliche Ablauf zur Steuerung einer Rückstauklappe am Auslassbauwerk ist in einem Beispiel in Abb. 6 dargestellt. Im zeitlichen Verlauf ist die Rückstauklappe zu Beginn offen, so lange der Unterwasserstand des Vorfluters niedriger ist als der Wasserstand im Becken. Kommt es im Vorfluter zu einem Anstieg des Wasserstandes oberhalb der Auslasshöhe und des Beckenwasserstandes, wird die Rückstauklappe geschlossen. Erreicht der Wasserstand im Becken im Zuge der Beckenfüllung einen höheren Wasserstand als im Vorfluter, wird die Rückstauklappe geöffnet und es kommt zu einem eingeschränkten Abfluss.

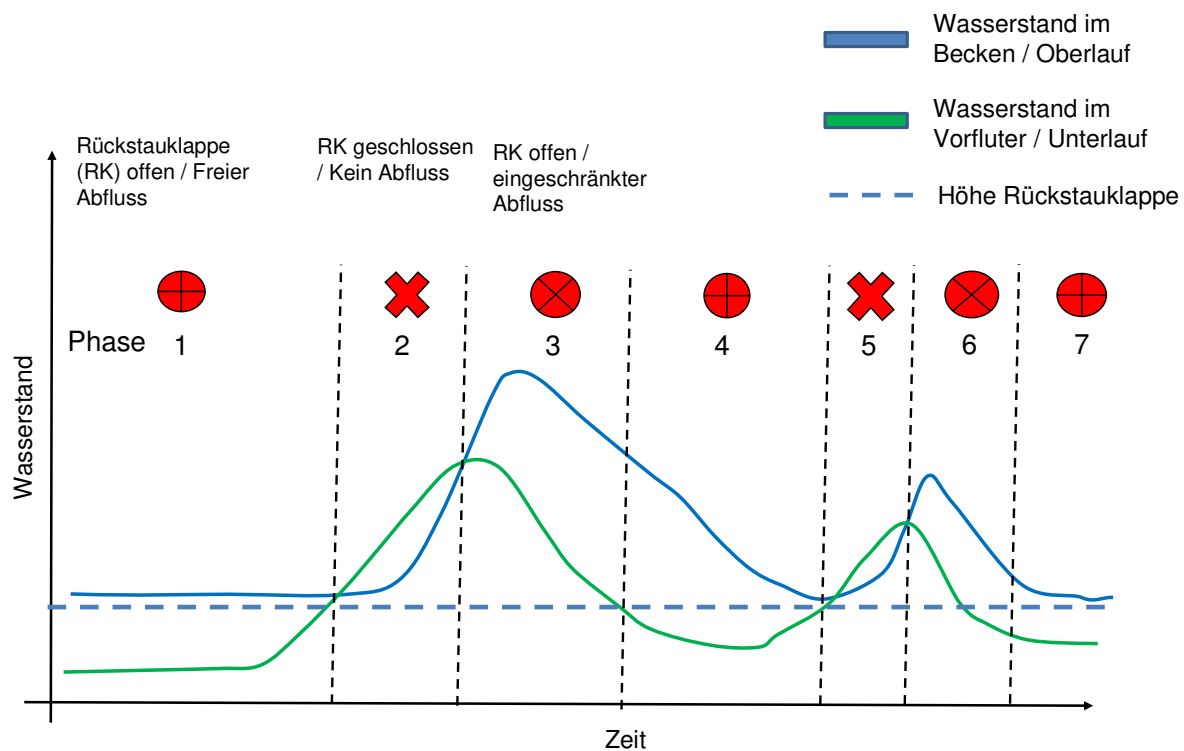


Abb. 6: Zeitlicher Ablauf der Öffnung und Schließung einer Rückstauklappe in Abhängigkeit der Differenz zwischen dem Wasserstand im Vorfluter und im Becken.

Übersicht unterschiedlicher Auslöser für die Aktivierung von Steuerungsfunktionen

Die verbesserte Verfügbarkeit von Niederschlagsvorhersagedaten ermöglicht den Einsatz dieser als Auslöser zur Aktivierung von Steuerungsfunktionen im operationellen Betrieb. Den Niederschlagsvorhersagen liegen Radarniederschläge zugrunde. Wird in der Vorhersage ein Schwellenwert der Niederschlagsintensität überschritten, erfolgt die Aktivierung einer Steuerungsfunktion. Die Anwendung von Niederschlagsstationsdaten ist ebenfalls möglich.

Abflüsse können ebenfalls als Auslöser für Steuerungsfunktionen an Knoten und HRB dienen. Während des Simulationslaufes eines hydrologischen Modells können berechnete Abflüsse des Oberlaufes zur Steuerung eines Knotens oder HRB eingesetzt werden. Sollen simulierte oder gemessene Abflüsse im Unterlauf zur Steuerung eingesetzt werden, kann eine entsprechende Zeitreihe hinterlegt werden.

Wasserstände können ebenso als Auslöser eingesetzt werden, indem sie als Zeitreihen an beliebigen Knoten im Netz hinterlegt werden und eine Steuerungsfunktion damit verknüpft wird. Zur Berechnung der Wasserstände und des Retentionsverhaltens ist es erforderlich, eine 1D-Simulation oder entsprechend detaillierte Profile des Gewässers zu hinterlegen.

Für weitere Informationen zur Methodik und Simulationen sei auf Einfalt, Hellmers & Jasper-Tönnies (2019) und Hellmers & Fröhle (2019) verwiesen.

2.3 Prinzip der Index-Bewertung für Hochwasserrückhalteräume – EUFRI

Grundsätzlich bezeichnet ein Index eine Kennzahl, die den Zustand eines beobachtbaren Systems abbildet. Die Nutzung von Indizes zur Beschreibung eines Systems kann aus mehreren Gründen sinnvoll sein. Zunächst ermöglicht ein Index eine vereinfachende Darstellung eines (komplexen) Systems. Die Darstellung als Zahl ermöglicht den (bewertenden) Vergleich verschiedener Zustände, z. B. in Form eines Rankings und kann so als Entscheidungsgrundlage fungieren. Ein weiterer Grund für die Nutzung kann außerdem die (grafische) Veranschaulichung von Systemzuständen sein. Die Verwendung von Teil-/Subindizes bietet zusätzlich die Möglichkeit, Zielkonflikte zwischen den Teilindizes darzustellen.

Das konkrete Projektziel hier ist die Optimierung eines HRB. Der Fokus liegt dabei auf der Berücksichtigung von hydrologischen (Hochwasserschutz), ökologischen (u. a. Biotopqualität, Stoffrückhalt) und ökonomischen (u. a. Unterhaltungskosten) Aspekten. Ein Index bietet sich also zur vereinfachenden und veranschaulichenden Darstellung des HRB als multifunktionales System an. Die verschiedenen zu vergleichenden Zustände beziehen sich dabei auf Gestaltungsmöglichkeiten des betrachteten HRB. Dabei lassen sich Zielkonflikte zwischen den Aspekten der Gestaltung aufzeigen. Die unterschiedlich gute Operationalisierbarkeit bzw. Monetarisierbarkeit von relevanten Ökosystemleistungen ist ein weiterer Grund für die Nutzung eines Index zur Bewertung der Gestaltungsoptionen. Das grundsätzliche Verständnis von Ökosystemleistungen und deren Bewertung im Projekt Stuck ist in Jahn, Rische & Röhlig (2019) dokumentiert. Wichtigste Referenz für den hier entwickelten Index ist der River Ecosystem Service Index, kurz RESI, welcher in einem Partnerprojekt aus dem Verbundprojekt ReWaM zur Bewertung des ökologischen Zustands von Flüssen entwickelt wurde. Für nähere Informationen sei auf das RESI-Anwendungshandbuch verwiesen (Podschn et al., 2018).

Bevor der im Projekt Stuck entwickelte Index konkret vorgestellt wird, werden zunächst einige generelle Empfehlungen zur Definition von Teilindizes bzw. Segmenten gegeben. Inhaltlich ist es zielführend, die Segmente auf Eigenschaften zu beziehen, welche einen Zustand als „besser“ oder „schlechter“ identifizieren. Methodisch wichtig für die Auswahl der Segmente ist, dass sich die Segmentwertigkeit zwischen den betrachteten Zuständen (hier: Gestaltungsvarianten des HRB) unterscheidet, da die Berücksichtigung eines Segments ansonsten irrelevant für die Bewertung und somit die Entscheidungsfindung wäre. Die Relevanz für die Entscheidungsfindung setzt neben der Operationalisierbarkeit (Messbarkeit) eine gewisse Vorhersagbarkeit der Segmentwerte unter theoretischen Zuständen voraus. Außerdem sollten die Segmente unabhängig voneinander sein, in dem Sinne, dass sie unterschiedliche, eigenständige Aspekte beschreiben. Konkret soll damit vermieden werden, dass einzelne Elemente in mehrere Segmente einbezogen und somit doppelt bewertet werden.

In diesem Zusammenhang ist auch auf eine Gleichrangigkeit der betrachteten Segmente zu achten. Da sich der Gesamtindexwert aus den Teilindexwerten ergibt, verhindert die Gleichrangigkeit der Segmente die Dominanz einzelner Aspekte in der Analyse. Für die (mathematische) Aggregation zum Gesamtwert ist neben der einfachen Summierung bzw. Mittelwertbildung aber auch ein gewichteter Mittelwert der ausgewählten Segmente eine mögliche Variante. Dies ermöglicht es, fallbezogene Prioritäten für einzelne Segmente von vornherein in der Bewertung zu berücksichtigen.

Der im Projekt für die integrierte Bewertung von HRB entwickelte und im Folgenden vorgestellte Ecological Urban Floodwater Retention Index (EUFRI) besteht aus sechs Teilindizes, die als Segmente bezeichnet werden. Aufgrund der Zielsetzung des Projekts Stuck sind dies die Segmente Hochwasserschutz, Biotopqualität, Stoffretention, Bodenwasserretention, Naherholung und Kosten. Eine beispielhafte Darstellung des EUFRI zeigt Abb. 7. Je positiver die Wertung, desto weiter reicht die Fläche nach außen. Für das Segment Kosten bedeutet das: Je kostengünstiger, desto positiver und weiter außen platziert.

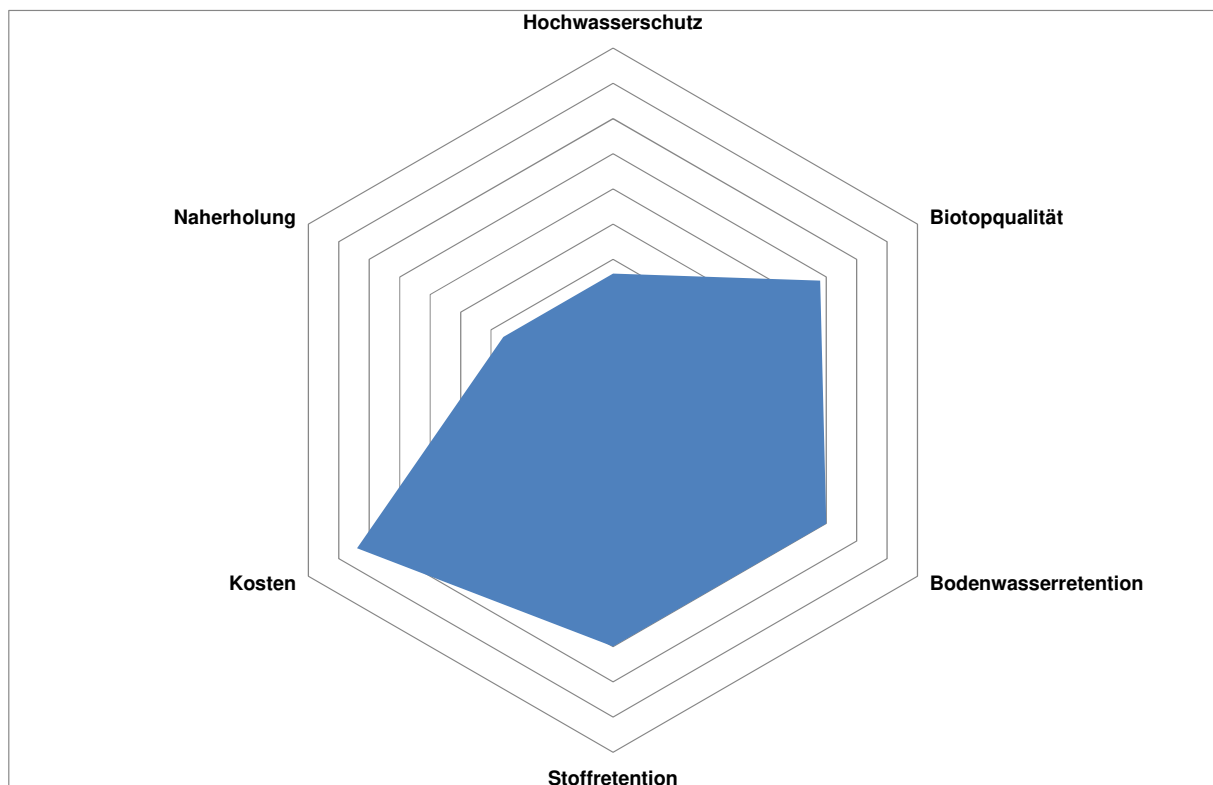


Abb. 7: Beispielhafte Darstellung des Ecological Urban Floodwater Retention Index (EUFRI).

Die Segmente werden auf einer Skala von 1,0 bis 5,0 bewertet, wobei der Wert 1,0 für die schlechteste erreichbare Ausprägung steht und der Wert 5,0 für die beste. Es handelt sich also um eine fallbezogene Skala, die „beste“ Ausprägung bezieht sich auf einen, an dem konkreten Standort erreichbaren Zustand (ortsspezifischer EUFRI). Dieser Ansatz lässt sich somit auf andere Rückhalteräume übertragen, setzt aber voraus, dass sich die jeweils ortsspezifisch beste und schlechteste Ausprägung ermitteln lässt. Das Gegenstück wäre eine absolute Skala, welche sich auf Ausprägungen bezieht, die grundsätzlich in Rückhalteräumen möglich sind. Eine solche Skala würde sich zum Beispiel für den Vergleich mehrerer Retentionsräume eignen. Der höhere Informationsbedarf und die unterschiedlichen Bedingungen der Flächen (Machbarkeit) können jedoch ein Nachteil bei dieser Vorgehensweise sein. Zudem können sich die Bewertungsmaßstäbe je nach Kontext der Retentionsfläche unterscheiden, da an eine Fläche in urbanem Gebiet möglicherweise andere Anforderungen gestellt werden als an eine in ruralem Gebiet. Da im Projekt Stuck eine konkrete Retentionsfläche betrachtet wird, ist eine absolute Skala schwierig zu definieren, sodass eine fallbezogene Skala bevorzugt wird.

Die genaue Ermittlung der besten und schlechtesten erreichbaren Zustände und somit die Ableitung der Bewertungsskala wird im Folgenden für jedes Element gesondert erläutert.

2.3.1 Hochwasserschutz

Das Segment Hochwasserschutz bewertet die Wirkung des HRB hinsichtlich der Absenkung des Hochwasserscheitels. Diese wird durch den verfügbaren Stauraum des HRB und den geeigneten Zeitpunkt seiner Füllung erzielt. Betrachtet wird dafür der Abfluss unterhalb des zu bewertenden Beckens hinsichtlich der Scheitelabflüsse für Niederschläge verschiedener Jährlichkeit (T_5 , T_{30} , T_{100}) und ausgewählter Extremereignisse.

Die Einstufung der EUFRI-Bewertung für das Segment Hochwasserschutz (Tab. 1) erfolgt über die hydrologische Modellierung von Hochwasserereignissen bei unterschiedlicher Geländegestaltung des HRB. Als Basis werden die Auswirkungen auf die Höhe des Hochwasserscheitels bei den Zuständen „kein HRB“ und „HRB mit maximalem Hochwasserschutz“ berechnet. Der Zustand des maximalen Hochwasserschutzes beschreibt eine Abgrabung der gesamten betrachteten Fläche auf eine Höhe, die zu 80 % des Jahres über dem Wasserstand des Vorfluters liegt, um einen Abfluss aus dem, im Nebenschluss liegenden Trockenbecken zu ermöglichen. So wird das größtmögliche Retentionsvolumen geschaffen, während die Eventualität eines Rückstaus gering gehalten wird.

Die Auswirkungen dieser beiden Extremzustände werden für die Niederschläge unterschiedlicher Jährlichkeit bzw. Extremereignisse modelliert. Die Bewertungen der berechneten Scheitelabflüsse unterhalb des Auslasses des HRB bilden für die jeweiligen Extremzustände die beste, beziehungsweise schlechteste Ausprägung. Der Mittelwert aller besten beziehungsweise schlechtesten Werte bildet die Grenzen für das Segment Hochwasserschutz. Die Klassengrenzen dazwischen werden linear gebildet.

Tab. 1: EUFRI-Skala für das Segment Hochwasserschutz.

Index Hochwasserschutz	1	2	3	4	5
Senkung des Scheitelabflusses [%]	0 (Kein HRB)	25	50	75	100 (HRB mit maximalem Hochwasserschutz)

2.3.2 Biotopqualität

Die EUFRI-Bewertung der Biotopqualität erfolgt mit einem an den River Ecosystem Service Index (RESI; Podschun et al., 2018) angelehnten Vorgehen. Der biotoptypenbasierte Ansatz des RESI für die Ökosystemleistung ‚Habitatbereitstellung‘ wird als Grundlage genommen (Abb. 8) und für den EUFRI an die Rahmenbedingungen für ein kleines HRB in einem urbanen Umfeld angepasst.

Für die Bewertung der Biotopqualität werden zunächst die Kriterien ‚Grundwasserabhängigkeit‘, ‚Rote Liste Status‘, ‚Einstufung als Fauna-Flora-Habitat-Lebensraumtyp (FFH-LRT)‘, ‚Gesetzlicher Schutz nach § 30 BNatSchG, 2019‘, ‚Regenerierbarkeit‘ und ‚Auenbindung‘ der im HRB vorhandenen Biotoptypen nach Finck et al. (2017) herangezogen. Während die Auenbindung einer expertenbasierten Einschätzung folgt, werden alle anderen Kriterien der Biotoptypen Finck et al. (2017) entnommen. Die einzelnen Kriterien wer-

den entsprechend des RESI bewertet, wobei beispielsweise grundwasserabhängige, seltene, gesetzlich geschützte, schwer regenerierbare und an Auen gebundene Biotoptypen höher bewertet werden als Biotoptypen anderer Zuordnungen. Die Kriterien werden entsprechend des RESI mit 1,0, 3,0 oder 5,0 bewertet, wobei das genaue Bewertungsschema Fischer et al. (2018) und Podschun et al. (2018) zu entnehmen ist.

Aus den Einzelkriterienbewertungen der Biotoptypen wird ein flächengewichteter Mittelwert für die gesamte Fläche berechnet. Bei der Bewertung verschiedener Gestaltungsvarianten eines HRB wird dieser Mittelwert mit einem Bonus (+1) oder Malus (-1) verrechnet, wenn in der jeweiligen Gestaltungsvariante eine höhere oder niedrigere Anzahl von Biotoptypen im Vergleich zum IST-Zustand des HRB vorhanden ist. Letzteres entspricht dem Kriterium ‚wertgebendes Merkmal‘ des RESI, wobei dieser im vorliegenden Fall auch eine Abwertung des Index bedeuten kann und für die gesamte Fläche vergeben wird. Die im RESI berücksichtigten Kriterien ‚verändertes Überflutungsregime‘, ‚FFH-Erhaltungszustand‘, ‚Rückstau‘ und ‚Feuchtegradient‘ werden hingegen nicht berücksichtigt, da diese Kriterien nicht für die Rahmenbedingungen eines kleinen, urbanen HRB relevant sind. Die Bewertung durch den Index erfolgt wie beim RESI in fünf Klassen. Der Habitatwert einer Gestaltungsvariante kann entsprechend als sehr gering, gering, mittel, hoch und sehr hoch bedeutsam für die Habitatbereitstellung beurteilt werden (Abb. 8).

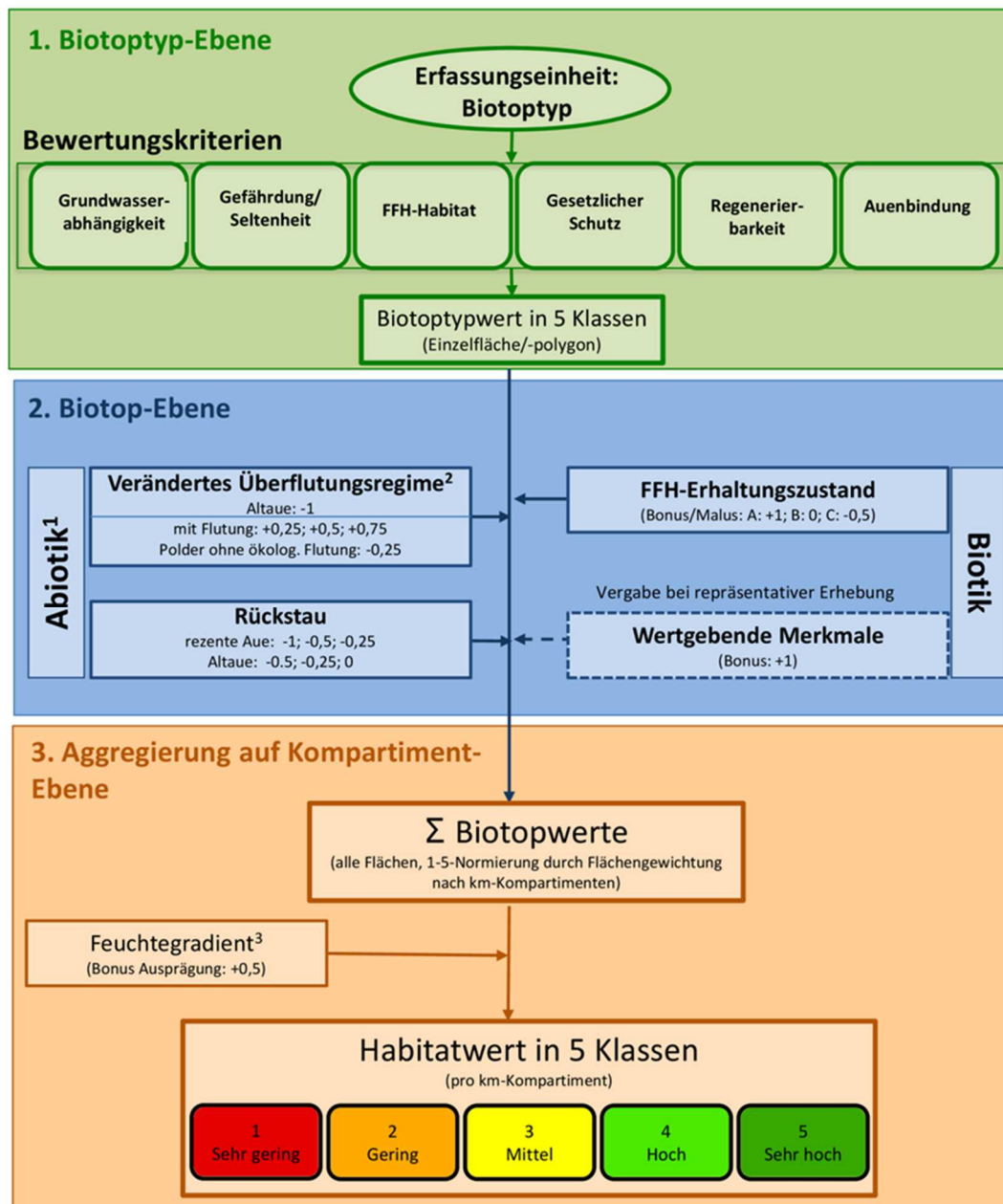


Abb. 8: Schematische Darstellung des biotypenbasierten Ansatzes des RESI für die Bewertung der Ökosystemleistung ‚Habitatbereitstellung‘ (Podschun et al., 2018).

2.3.3 Stoffretention

HRB beeinflussen den Stoffhaushalt in einem Gewässer, indem sich durch die geringen Fließgeschwindigkeiten im HRB Schwebstoffe und die an sie gebundenen Stoffe absetzen. Aus Sicht der unterliegenden Gewässerabschnitte sollte das Management der HRB neben dem Hochwasserschutz auch mit dem Ziel der Stoffretention verbunden werden, um unterstromige Gewässerabschnitte vor Stoffeinträgen zu schützen bzw. den Zustand des Gewässers im Sinne der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zu verbessern. Dies bedeutet, dass die Ablagerung von Sedimenten in Becken nicht als möglichst zu vermeidendem Nebeneffekt, sondern als ein weiteres Ziel beim Umbau und dem Betrieb des Beckens betrachtet wird. Deshalb wird es als Segment des EUFRI berücksichtigt.

Innerhalb des Rückhaltebeckens bestimmt der Flächenanteil des Röhrichts unter Dauerstau die Höhe der Sedimentation und Festlegung von Schad- und Nährstoffen, da in diesen Arealen die Strömung bei Normalabfluss wie auch unter hydraulischer Belastung am geringsten ist und damit die Sedimentation begünstigt wird.

In der folgenden Skaleneinteilung wird eine Röhrichtfläche unter Dauerstau bei mindestens 80 % Flächenanteil als ideal (Teilindex 5,0) und bis 20 % Flächenanteil als schlecht (Teilindex 1,0) eingestuft. Für eine effektive Sedimentation von Schad- und Nährstoffen ist auch die Position der Röhrichtflächen innerhalb des Beckens ausschlaggebend. Für diesen Faktor wird die Position „Auslass“ als ideal (Teilindex 5,0) und die Position außerhalb der Dauerstaubereiche als schlecht (Teilindex 1,0) eingestuft (Tab. 2). Eine höchstmögliche Verweildauer des Wassers im HRB während der Hochwasserereignisse maximiert die Ablagerung von Schwebstoff und Sediment sowie die Schadstoffretention. Der finale Teilindex für die Stoffretention ergibt sich aus dem Mittelwert der beiden Teilindizes für den Röhrichtanteil in der Fläche und die Position dieses Anteils. Bei HRB mit einer 100%igen Flächenbedeckung mit Röhricht entfällt der Teilindex der Position innerhalb des Beckens.

Tab. 2: EUFRI-Skala für das Segment Stoffretention.

Index Stoffretention	1	2	3	4	5
Fläche Röhricht unter Dauerstau [%]	≤ 20	40	60	80	100
Position innerhalb des Beckens	Außerhalb Dauerstau	Uferbereiche	Einlauf	Beckenmitte	Auslass

2.3.4 Bodenwasserretention

Die Böden der Uferbereiche von HRB können in ihrer Funktion als Wasserspeicher in begrenztem Maße Hochwasserereignisse abmildern. Die Höhe der Wasserretention ist dabei von den Substrateigenschaften abhängig. Eine maximale Wasserretention in den Uferbereichen des HRB wird durch sandige, humose Substrate, die typischerweise eine hohe Luftkapazität aufweisen, generiert.

In der Bewertungsskala wird die Substrateigenschaft „sandig, stark humos“ als ideal (Teilindex 5,0) eingestuft. Humusgehalte zwischen 4 und 15 % sind als stark humos und 0–4 % als leicht humos definiert. Eine schlechte Substrateigenschaft hinsichtlich der Wasserretention entspricht der Bodenart „tonig, nicht aggregiert“ (Teilindex 1,0). Die Luftkapazität ist ein Maß für die kurzfristige Wasserspeicherkapazität von Starkregenereignissen, oberflächennahem Grundwasser und Stauwasser im Bodenkörper und wird hier wie folgt eingeteilt: > 20 % (Teilindex 5,0) wird als ideal und < 2 % (Teilindex 1,0) als schlecht definiert (Tab. 3).

Tab. 3: EUFRI-Skala für das Segment Bodenwasserretention.

Index Bodenwasserretention	1	2	3	4	5
Substrateigenschaft	tonig, nicht aggregiert	schluffig	lehmig	sandig, leicht humos	sandig, stark humos
Luftkapazität [%]	< 2	2-4	4-12	12-20	> 20

2.3.5 Kosten

Das Segment Kosten beschreibt den jährlichen kostenmäßigen Aufwand für das betrachtete HRB. Die Herstellungskosten für eine Gestaltungsvariante werden dabei auf eine angenommene Nutzungsdauer von 80 Jahren verteilt und zu den jährliche Unterhaltskosten addiert, um den für die Bewertung maßgeblichen Kostenwert zu erhalten.

Für die Aufstellung der hier verwendeten fallbezogenen Skala muss zunächst die schlechtmöglichste Ausprägung (Teilindex 1,0) und die bestmögliche Ausprägung (Teilindex 5,0) definiert werden. Die Variante mit den niedrigsten Unterhaltungskosten wäre, hypothetisch betrachtet, diejenige ohne jegliche Unterhaltungsmaßnahmen. Da die Bezirke jedoch zur Sicherstellung der Funktion von HRB verpflichtet sind, werden in der Analyse gewisse Unterhaltungsmaßnahmen und somit eine gewisse Unterhaltungssumme als notwendig erachtet.

Um sich der bestmöglichen Ausprägung, also einem Zustand mit möglichst niedrigen Unterhaltungskosten anzunähern, ist es hilfreich, die grundsätzlich (kosten-)relevanten Unterhaltungsmaßnahmen an HRB zu betrachten. Diese betreffen im Wesentlichen folgende Bereiche:

- Mahd
- Gehölzschnitt
- Gewässerunterhaltung
- Entschlammung
- (Aufrechterhaltung Naherholungswert)

Niedrige Unterhaltungskosten ergeben sich also bei wenigen Gehölzen und einem ebenen Geländeprofil, sodass die Mahd aufwandsarm durchgeführt werden kann. Bezüglich der Gewässerunterhaltung (z.B. Beseitigung von Verklausung) wird angenommen, dass diese in allen Gestaltungsszenarien nötig ist. Eine gute Zugänglichkeit (Befahrbarkeit) der Fläche mindert den Kostenaufwand für Entschlammungsmaßnahmen. Die Herstellungskosten einer Gestaltungsvariante hängen im Wesentlichen vom Umfang der notwendigen Erdarbeiten (Aushub/(Wieder-)Einbau) auf der Retentionsfläche, sowie der ggf. geplanten Wasserbauwerke ab.

Sind die Werte für die niedrigsten und höchsten realistischen Kosten für das HRB bekannt, werden die niedrigsten Kosten gleich 0 % gesetzt, die höchsten Kosten gleich 100 %. Danach können entsprechend die drei Zwischenklassen definiert werden (Tab. 4).

Tab. 4: EUFRI-Skala für das Segment Kosten.

Index Kosten	1	2	3	4	5
Kosten pro Jahr [%]	100 (Höchste Kosten)	75	50	25	0 (Niedrigste Kosten)

2.3.6 Naherholung

Das Segment Naherholung wird über das Vorhandensein von Elementen definiert, welche die Aufenthaltsqualität an einem HRB beeinflussen. Die bisher im Projekt Stuck verwendete Methodik zur Bewertung der Naherholung bezieht sich auf alle Flächen in einem Flusseinzugsgebiet (Einzugsgebiet der Kollau, 33,6 km²), wobei der Erholungswert einer Fläche binär (ja oder nein) anhand ihres Typs (Siedlungsfläche, Verkehrsfläche, Grünfläche etc.) definiert wird. Gemäß dieser Methodik hätte das betrachtete HRB in jedem Zustand (Gestaltungsvarianten) denselben Erholungswert, da sich der grundsätzliche Flächentyp nicht ändert. Es muss daher eine alternative Methodik verwendet werden, um die Naherholungsfunktion sinnvoll zu bewerten.

Unter anderem aus Gesprächen mit Behördenvertretern der Bezirksämter Hamburgs und den Naturschutzverbänden NABU und BUND kann die Erkenntnis gewonnen werden, dass die Aufenthaltsqualität an einem HRB vor allem von folgenden Merkmalen abhängt:

- Freier Zugang zur Fläche insgesamt (keine Einzäunung)
- Naturnahes Aussehen ohne z. B. (sichtbare) Betonkonstruktionen
- Zugang zum Ufer der Wasserfläche (freie Uferstellen)
- Stege zur Begehung der (Wasser-)Fläche
- Vorhandensein von Sitzgelegenheiten (Bänke)

Um die Skalenbewertung von 1,0 bis 5,0 zu gewährleisten, wird das Vorhandensein jedes der genannten fünf Merkmale mit einem Wert von 0,8 berücksichtigt. Somit nimmt der Teilindex in diesem Segment, je nach Anzahl der „wertgebenden Merkmale“ die diskreten Werte 1,0; 1,8; 2,6; 3,4; 4,2 oder 5,0 an.

2.4 Ableitung von fachspezifischen Gestaltungsvarianten

Zur Hinführung auf eine umfassende optimale Gestaltung eines HRB werden zunächst die Verbesserungspotenziale des HRB für ausgewählte Segmente separat analysiert. Im ersten Schritt werden Gestaltungsvarianten entwickelt, in denen jeweils nur ein Segment optimiert wird. So kann ohne Einschränkungen durch andere Ansprüche das Optimum des jeweiligen Segments für das betrachtete HRB ermittelt werden. Dieses stellt auch den höchsten EUFRI-Wert des Segments für das HRB dar (siehe Kapitel 2.3). Im Falle des Hochwasserschutzes wäre das beispielsweise eine Maximierung des Stauraums gekoppelt mit einer bestmöglichen Steuerung bzw. wasserbaulichen Gestaltung von Ein- und Auslass.

Nach Ermittlung einzelner segmentspezifischen Optima werden die Auswirkungen dieser Gestaltung auf die restlichen Segmente mittels EUFRI ebenfalls bewertet. Dies erlaubt erste Rückschlüsse auf die Kombination von unterschiedlichen Zielsetzungen.

Die Segmente sind zum Teil von der Topographie und den damit verbundenen Wasserständen abhängig. Daher wird zur Entwicklung der Gestaltungsvarianten für einzelne Segmente ein digitales Geländemodell (DGM) benötigt. Aus der Topographie werden im Geoinformationssystem (GIS) ArcGIS die Flächenanteile verschiedener Höhenstufen und das resultierende Retentionsvolumen ermittelt. Zur Ermittlung der langjährigen Wasserstände, wie sie für die Vegetationsentwicklung entscheidend sind, muss eine Langzeitmodellierung mittels eines N-A-Modells erfolgen. In einem iterativen Prozess können Topographie sowie der Wasserstand über Ein- und Auslasssteuerung eingestellt werden, bis die erforderlichen Überflutungsdauern entsprechend des segmentspezifischen, angestrebten Ziels (z. B. für zu fördernde Vegetation auf höher gelegenen Flächen) eintreten.

Eine Möglichkeit zur Auswertung der Modellergebnisse hinsichtlich der Überflutungsdauern stellt ein Histogramm der Wasserstände im Becken dar (siehe Abb. 35). Ebenso iterativ wird die Wirkung von Retentionsvolumen und Steuerung hinsichtlich des Hochwasserschutzes ermittelt. Dies geschieht mit dem N-A-Modell und zeitlich höher aufgelösten Kurzzeitsimulationen über ein oder mehrere Hochwasserereignisse. Die Wirkung der gewählten Stauräume und Bauwerke sowie deren Steuerung können anhand der Absenkung des Hochwasserscheitels im Gewässer unterhalb des HRB bestimmt werden.

2.5 Entwicklung einer optimierten Gestaltungsvariante mit komplexer Zielsetzung

Um Verbesserungen oder Verschlechterungen zwischen den verschiedenen Gestaltungsvarianten aufzuzeigen, werden der IST-Zustand und die fachspezifischen Gestaltungsvarianten mit dem EUFRI-Index hinsichtlich aller Segmente bewertet und verglichen.

Bezüglich der Wertigkeit stellt sich die grundsätzliche Frage, ob die Bewertungsindizes der einzelnen Segmente Hochwasserschutz, Biotopqualität, Bodenwasserretention, Stoffretention und Unterhaltungskosten gleichwertig in die Gesamtbewertung eingehen, oder ob eine Wichtung der Faktoren vorgenommen wird. Je nach übergeordnetem Ziel für das HRB stellt eine Wichtung der o. g. Faktoren einen zusätzlichen Arbeitsschritt dar, der für jedes Becken vorgenommen wird. Folgende Formel liegt dem Gesamtindexwert des EUFRI zugrunde:

$$\text{Segment A} \times \text{Wertigkeit A} + \text{Segment B} \times \text{Wertigkeit B} + \dots = \text{EUFRI}$$

Ausgehend vom Potenzial jedes Segments und der Gegenüberstellung der verschiedenen Gestaltungsvarianten werden fachspezifische Mindestanforderungen an Kombinationsvarianten zur Gestaltung des HRB gestellt. Sie definieren, was mindestens erreicht werden muss, um das HRB nachhaltig im Sinne der jeweiligen betrachteten Segmente zu verbessern und trotzdem noch Spielraum für die Verbesserung anderer Segmente lässt.

Auf Grundlage dieser Mindestanforderungen können die konkreten Erhaltungs- und Entwicklungsziele für die daraus resultierende Kombinationsvariante formuliert werden.

Durch einen erneuten iterativen Prozess werden eine oder mehrere Kombinationsvarianten unter Berücksichtigung der Mindestanforderungen erstellt. Sind mehrere Kombinati-

onsvarianten vorhanden, muss eine Vorzugsvariante ermittelt werden. Dafür wird wieder die Wichtung entsprechend der jeweiligen Entwicklungsziele herangezogen.

2.6 Kommunikation mit Entscheidungsträgern und Naturschutzverbänden

Durch eine, während des gesamten Entwicklungsprozesses geführte Kommunikation mit zuständigen Entscheidungsträgern, Naturschutzverbänden, Projektpartnern und anderen Fachexperten, können die Gestaltungs- bzw. Kombinationsvarianten praxisnah gestaltet und so die Akzeptanz gefördert werden.

Regelmäßiger Austausch und Abstimmung über die Zwischenergebnisse mit den zuständigen Dienststellen, auch in Form von Ortsbegehungen, ist dafür förderlich. Dabei können Anforderungen und Verbesserungswünsche eingebracht werden, die Berücksichtigung in der Planung finden können. Der Erfahrungsaustausch liefert die Basis der Umgestaltung, da (möglicherweise unbekannt) individuelle Charakteristika des Beckens aus der Praxis identifiziert werden können. Eine Vorstellung und Abstimmung über die erarbeiteten Varianten mit den zuständigen Dienststellen wird empfohlen, um Verschlechterungen zu vermeiden.

Um die ökologischen Belange größtmöglich in die Planung miteinzubeziehen, sind zusätzlich Gespräche mit Naturschutzverbänden, wie dem Naturschutzbund Deutschland (NABU) und mit für den Naturschutz zuständigen Dienststellen möglichst zu Beginn der Planung und bei fortgeschrittenen Ergebnissen hilfreich. So können Aspekte zum Schutz vorkommender Arten, sowie Entwicklungshinweise berücksichtigt werden.

Vom Untersuchungsgebiet unabhängige Fachexperten können zusätzlich hilfreichen Input liefern. Außerdem kann der Erfahrungsaustausch mit Verantwortlichen für HRB in anderen Regionen nützliche Hinweise liefern und sollte möglichst zu Anfang der Planungen durchgeführt werden. Nach Erstellung der kombinierten Gestaltungsvariante(n) werden unabhängige Fachexperten aus den betreffenden Teildisziplinen (z. B. Hochwasserschutz und Ökologie) zur Diskussion über die Machbarkeit herangezogen.

Die Umgestaltungs- und Unterhaltungsmöglichkeiten sind stark vom finanziellen Rahmen abhängig. Gestaltungsvarianten werden deshalb frühestmöglich den für die Finanzierung zuständigen Dienststellen präsentiert. Neben den Dienststellen, die für die Gewässerunterhaltung zuständig sind, kommen in diesem Fall auch Dienststellen des Naturschutzes in Frage, da das umgestaltete HRB im besten Fall eine Verbesserung des ökologischen Zustandes bewirkt und eine allgemeine ökologische Aufwertung des Gebiets stattfindet. Mit Hilfe der EUFRI-Bewertung können die vielfältigen Vorteile einer Umgestaltung gegenüber Behörden gut kommuniziert werden.

3 Fallbeispiel – HRB Retentionsraum Mühlenau

Anwendung findet die entwickelte Methodik am Unterlauf der Mühlenau. Für das dort liegende HRB Retentionsraum Mühlenau soll der hydrologische und ökologische Zustand optimiert werden. Das HRB Retentionsraum Mühlenau liegt im Hamburger Bezirk Eimsbüttel, im Stadtteil Eidelstedt, auf dem Flurstück 4885, welches eine Fläche von 27.280 m² hat (Abb. 9). Das Flurstück liegt südlich der Straße Niendorfer Gehege, wird im Nordosten durch den Kollau-Wanderweg begrenzt und schließt im Südosten an den alten Lauf der Mühlenau an. Im übrigen Bereich ist der HRB von Grünfläche umgeben. Ca. 100 m südwestlich verläuft die Bundesautobahn A7 in Nordsüdrichtung. Nördlich, angrenzend an den Verlauf der Kollau liegen Privatgrundstücke. Das Flurstück des HRB Retentionsraum Mühlenau, sowie die angrenzenden Flurstücke sind im Besitz der Freien und Hansestadt Hamburg.

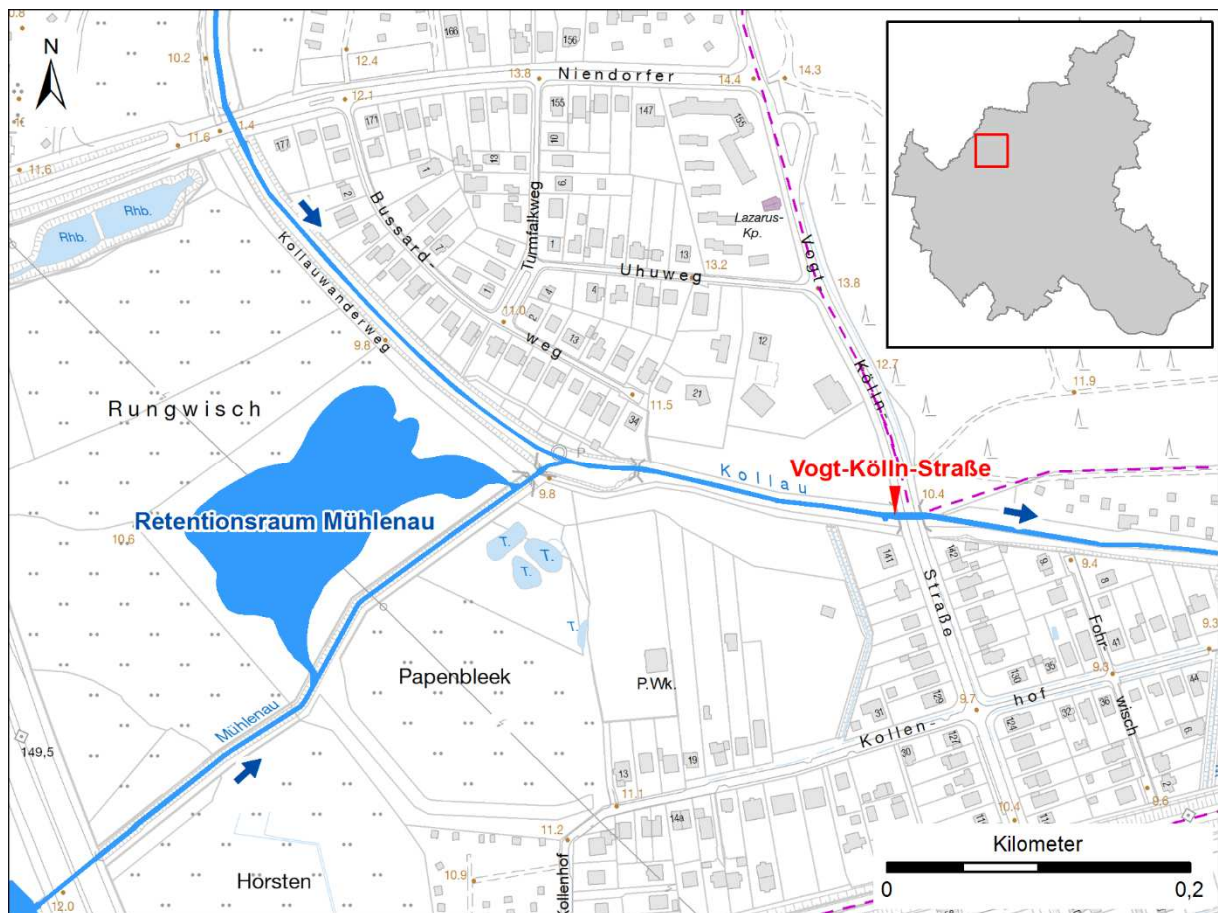


Abb. 9: Lage des Untersuchungsgebiets HRB Retentionsraum Mühlenau in seiner geplanten Form mit dem Pegel Vogt-Kölln-Straße an der Kollau. Die blaue Fläche im HRB stellt die ursprünglich geplante Feuchtwiese dar, auf der ursprünglich teilweise eine Wassertiefe von bis zu 30 cm angenommen wurde (Kartengrundlage LGV).

Das HRB (Abb. 10) wurde in den Jahren 2008/09 als Ausgleichsmaßnahme für den zweigleisigen Ausbau einer Bahnstrecke angelegt (AKN Ausgleichsfläche). Im Zuge dieser Maßnahme wurde der Flusslauf der Mühlenau naturnah umgestaltet. Die damit verbunde-

ne Verlängerung und Verbreiterung des Laufes der Mühlenau wurde auf dem genannten Flurstück durchgeführt. Zusätzlich sollte die Fläche als HRB für Hochwasser dienen. Dies war mit großräumigen Abgrabungen verbunden.



Abb. 10: Retentionsraum Mühlenau im Juni 2019 (links) und Dezember 2019 (rechts).

3.1 Rechtliche Grundlagen

Für den geregelten Betriebsablauf eines HRB müssen Maßnahmen und Vorgaben für den Normalbetrieb und den Hochwasserfall formuliert werden, die von den jeweiligen Betreibern kontrolliert und durchgeführt werden.

Eigentümer des HRB Retentionsraum Mühlenau ist die Freie und Hansestadt Hamburg, die somit gemäß §§ 39 bis 42 WHG (2009) in der Unterhaltungspflicht des Grundstücks, des Gewässers und des HRB ist. Zuständig ist in diesen Fall das Bezirksamt Eimsbüttel. Für die Umsetzung neuer Gestaltungen ist mindestens eine Plangenehmigung nach § 68 WHG (2009) notwendig.

Durch die angestrebte Umgestaltung von HRB wird die Umsetzung der EG-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie und der EG-Wasserrahmenrichtlinie (HWRM-RL) unterstützt. Zum einen werden durch die vorgesehene Verbesserung des Wasserrückhalts die Aspekte Vermeidung, Schutz und Vorsorge des Hochwasserrisikomanagements berücksichtigt (HWRM-RL, 2007) und zum anderen wird der Zustand des aquatischen Ökosystems verbessert (WRRL, 2000).

Bei der Planung und ihrer Umsetzung muss der Einfluss potenzieller Maßnahmen auf die vorhandenen Strukturen im Untersuchungsgebiet berücksichtigt werden. Unter anderem muss geprüft werden, ob es sich um ein geschütztes Gebiet handelt und sich geschützte Arten oder Biotope im Untersuchungsraum befinden.

In diesem Fall ist der Untersuchungsraum seit 1957 als Landschaftsschutzgebiet ausgewiesen. Das bedeutet, „Handlungen, die den Charakter des Gebiets verändern oder dem besonderen Schutzzweck zuwiderlaufen“ (§ 26 BNatSchG, 2019) sind verboten. Außerdem müssen bei der Umsetzung mancher Gestaltungsmaßnahmen Genehmigungen eingeholt werden. So zum Beispiel für die „Errichtung neuer Bauten aller Art“, „das Anbringen von Bild- und Schrifttafeln“, Grabungen und jeglicher Veränderungen der Bodengestalt, Besei-

tigung von Gehölzen, das Austrocknen von Teichen oder Tümpeln und das Anlegen von Baumschulpflanzungen.

Grundsätzlich ist es nach § 44 Abs. 1 Nr. 4 BNatSchG (2019) verboten, wild lebende Pflanzen der besonders geschützten Arten oder ihrer Entwicklungsformen aus der Natur zu entnehmen, sie oder ihre Standorte zu beschädigen oder zu zerstören. Ausnahmen können durch die Behörde für Umwelt und Energie genehmigt werden.

Zusätzlich befinden sich verschiedene gesetzlich geschützte Biotoptypen im Untersuchungsgebiet (BNatSchG, 2019). Eine Zerstörung oder Beeinträchtigung dieser muss vermieden oder ausgeglichen werden.

Die hier beschriebenen Veränderungen stellen langfristig keinen Eingriff in Natur und Landschaft im Sinne des Bundesnaturschutzgesetzes dar, da es bei der Umgestaltung nicht zu „Veränderungen der Gestalt oder Nutzung von Grundflächen oder Veränderungen des mit der belebten Bodenschicht in Verbindung stehenden Grundwasserspiegels [kommt], die die Leistungs- und Funktionsfähigkeit des Naturhaushalts oder das Landschaftsbild erheblich beeinträchtigen können“ (§ 14, (BNatSchG, 2019). Maßnahmen zur Gewässerentwicklung oder umfangreiche Grundinstandsetzungsmaßnahmen müssen mit der Gewässerbehörde abgestimmt werden. Insbesondere Veränderungen der Gewassertiefe (BUE, 2015). Hierbei ist vor allem auch auf die Hochwasserneutralität zu achten.

Bei Schäden ist der Verursacher verpflichtet, Schadensbegrenzungs- oder Sanierungsmaßnahmen durchzuführen (BUE, 2015). Als Schädigung ist jeder Schaden zu verstehen, der erhebliche, nachteilige Auswirkungen auf das Erreichen oder die Beibehaltung des Erhaltungszustands dieser Lebensräume oder Arten hat (BUE, 2015).

3.2 Hydrologie und wasserbauliche Kennwerte

Die Mühlenau wird seit der Schaffung des HRB im Jahr 2008/09 kurz vor der südlichen Flurstückgrenze in einen neuen und alten Gewässerlauf aufgeteilt. Um ein Trockenfallen des alten Gewässerlaufs zu verhindern, wurde zunächst ein PVC-Rohr durch einen Trennwand angelegt, um einen Niedrigwasserabfluss von 0,028 m³/s zu gewährleisten. Um das häufig auftretende Zusetzen des Rohres zu beenden, wurde es nachträglich durch ein Holzschütz mit einer Öffnung von 35,5 x 41 cm ausgetauscht. Während der alte Gewässerlauf geradlinig außerhalb der östlichen Flurstückgrenze verläuft, mündet der neue Gewässerlauf am südlichen Rand des Flurstücks in das HRB Retentionsraum Mühlenau, verläuft leicht mäandrierend und verlässt es am östliche Ende wieder, nachdem er einen großflächigen Wasserbereich im nordöstlichen Teil passiert hat (Abb. 11). Über eine Sohlgleite am Auslass werden die beiden Gewässerarme der Mühlenau wieder zusammengeführt. Die Mühlenau mündet kurz unterhalb in die Kollau. Der Zufluss der Mühlenau macht nach den Abflussmessungen des LSBG am kurz unterhalb gelegenen Pegel Vogt-Kölln-Straße ca. 1/3 des dortigen Abflusses der Kollau aus. Der HRB hat insgesamt eine Einzugsgebietsgröße von 13,24 km², das größtenteils urban geprägt ist (Wagener, 2012).

Nach den Geländeuntersuchungen für den Landschaftspflegerischen Begleitplan (Gosch-Schreyer-Partner Ingenieurgesellschaft mbH, 2006) für die Umbaumaßnahmen von 2008 liegen im Mittel 2 m mächtige Sande auf einer über 2 m mächtigen Geschiebemergelschicht vor. Das lässt den Schluss zu, dass die Wasserflächen im HRB nicht grundwasserbeeinflusst sind. Es war davon auszugehen, dass sich in den Sanden nahe der Oberfläche

je nach Witterung Stauwasserkörper bilden können, die wiederum in hydraulischem Kontakt zur Mühlenau und Kollau stehen. Diese Stauwasser enthaltenden Schichten wurden abgetragen und zum Schutz vor Wassereindrang aus den nordwestlich angrenzenden Flurstücken ein mineralischer Dichtungskern an den Flurstücksgrenzen eingebracht.



Abb. 11: Wasserfläche im Retentionsraum Mühlenau im IST-Zustand mit Abflussmessstellen des LSBG (Kartengrundlage LGV 2017).

Im Zuge dieser Untersuchung wurden eine Erfassung der Morphologie, sowie regelmäßige, punktuelle Wasserstands- und Abflussmessungen im Ober- und Unterlauf des HRB vorgenommen (Abb. 11). Auf Grundlage des DGM von 2011 und den aktuellen Messungen hat der HRB beim geplanten Stauziel von NHN +925 cm ein Retentionsvolumen von ca. 9.260 m³. Das sind 3.097 m³ weniger als mit 12.357 m³ laut Planung vorgesehen waren (Wagener, 2012). Bis zum Notüberlauf über den Kollau-Wanderweg ab einem Wasser-

stand von NHN +987 cm ist nach den Messungen ein Retentionsvolumen von ca. 20.960 m³ statt der geplanten 24.630 m³ vorhanden (Abb. 12).

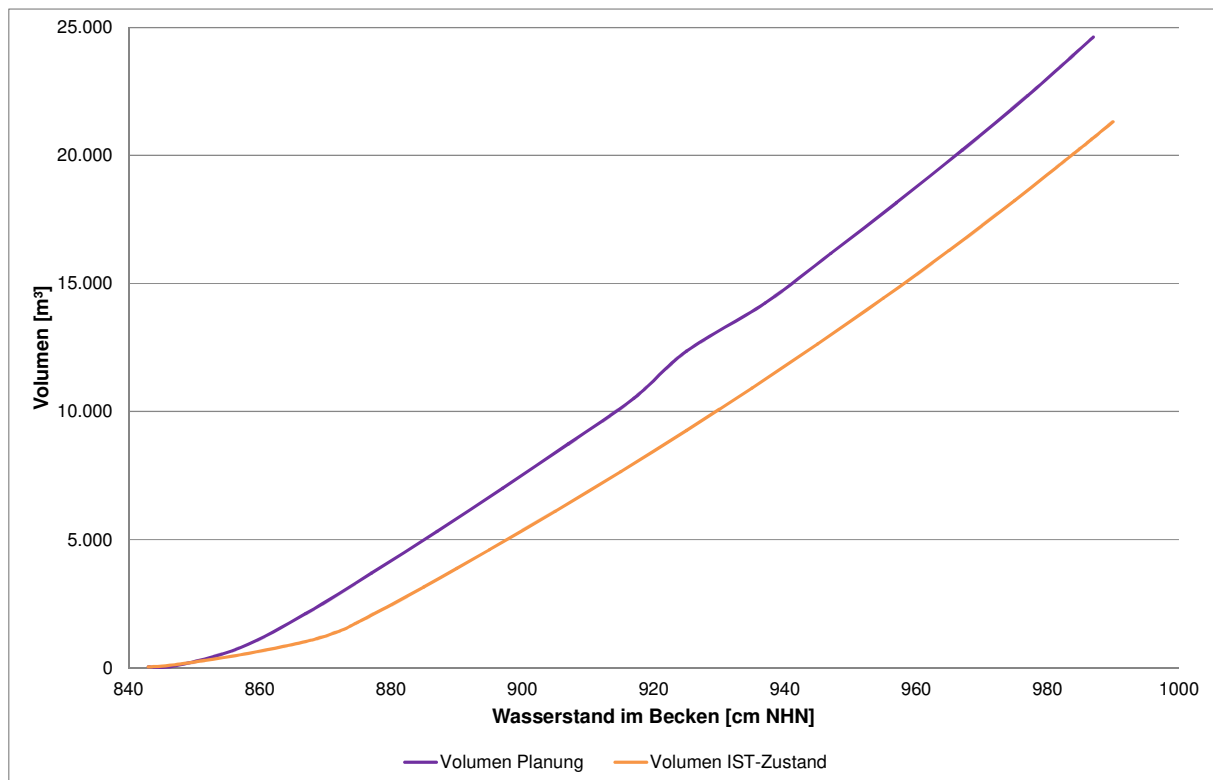


Abb. 12: Wasserstands-Volumen-Beziehung des Planungs- und IST-Zustandes des HRB Retentionsraum Mühlenau.

Im Zeitraum von Oktober 2018 bis Februar 2019 wurden im HRB Retentionsraum Mühlenau Wasserstände zwischen NHN +856 und +876 cm gemessen, dabei waren mindestens 4.455 m² Fläche des 27.280 m² großen Flurstücks mit Wasser bedeckt, dies entspricht einem Stauvolumen von 456 m³.

3.3 Flora und Fauna

Im nordöstlichen Bereich des HRB befindet sich ein Dauerstaubereich, der mit Wasserpflanzen und am Ufer befindlichen Röhrichten besiedelt ist. Der südwestliche Bereich des HRB ist durch großflächige Röhrichte unterschiedlicher Ausprägungen (*Phalaris arundinacea*, *Phragmites australis*, *Typha latifolia*) geprägt. In der Mitte des HRB befindet sich ein Bereich mit einer höheren Geländeoberfläche, der mit Gehölzen (hauptsächlich *Salix*-Arten) bewachsen ist. Zwischen dem Dauerstaubereich und dem Kollauwanderweg im Nordosten des HRB finden sich vermehrt Gehölze (*Alnus glutinosa*, *Salix*-Arten) mit einer z. T. stark ruderal ausgeprägten Krautschicht. Insgesamt zeichnet sich die Fläche durch eine hochproduktive Vegetation aus, die als Folge einer ausbleibenden Mahd entstanden ist. Auf der Böschung des HRB treten Röhrichte und Grünlandvegetation und deren Übergangsbereiche auf, z. T. treten Nitrophyten (*Calystegia sepium*, *Urtica dioica*) stark in den Böschungsbereichen auf. Im Sommer 2017 wurden insgesamt 91 Gefäßpflanzenarten (Tab. 26) im HRB Retentionsraum Mühlenau festgestellt (Lenzowski, 2019), darunter die beiden

Rote Liste Arten Hamburgs *Epilobium palustre* (Rote Liste Status V) und *Schoenoplectus lacustris* (Rote Liste Status 2; (Poppendieck et al., 2010)). Nach dem Hamburger Biotopkataster ist das HRB als „naturnahes, nährstoffreiches Regenrückhaltebecken“ (SER, 20 % der Fläche) eingestuft. Als Nebenbiotope treten nach dem Biotopkataster weiterhin auf Teilbereichen der Fläche Rohrkolben-Röhrichte (NRR, 30 % der Fläche), Schilf-Röhrichte (NRS, 20 % der Fläche), Rohrglanzgrasröhrichte (NRG, 20 % der Fläche) und halbruderales Gras- und Staudenfluren mittlerer Standorte (AKM, 10 % der Fläche) auf. Teilbereiche des HRB Retentionsraum Mühlenau sind nach § 30 BNatSchG gesetzlich geschützt (BUE, 2018). Im HRB aktuell vorhandene Tierarten sind Tab. 27 zu entnehmen.

3.4 Boden und Sedimente

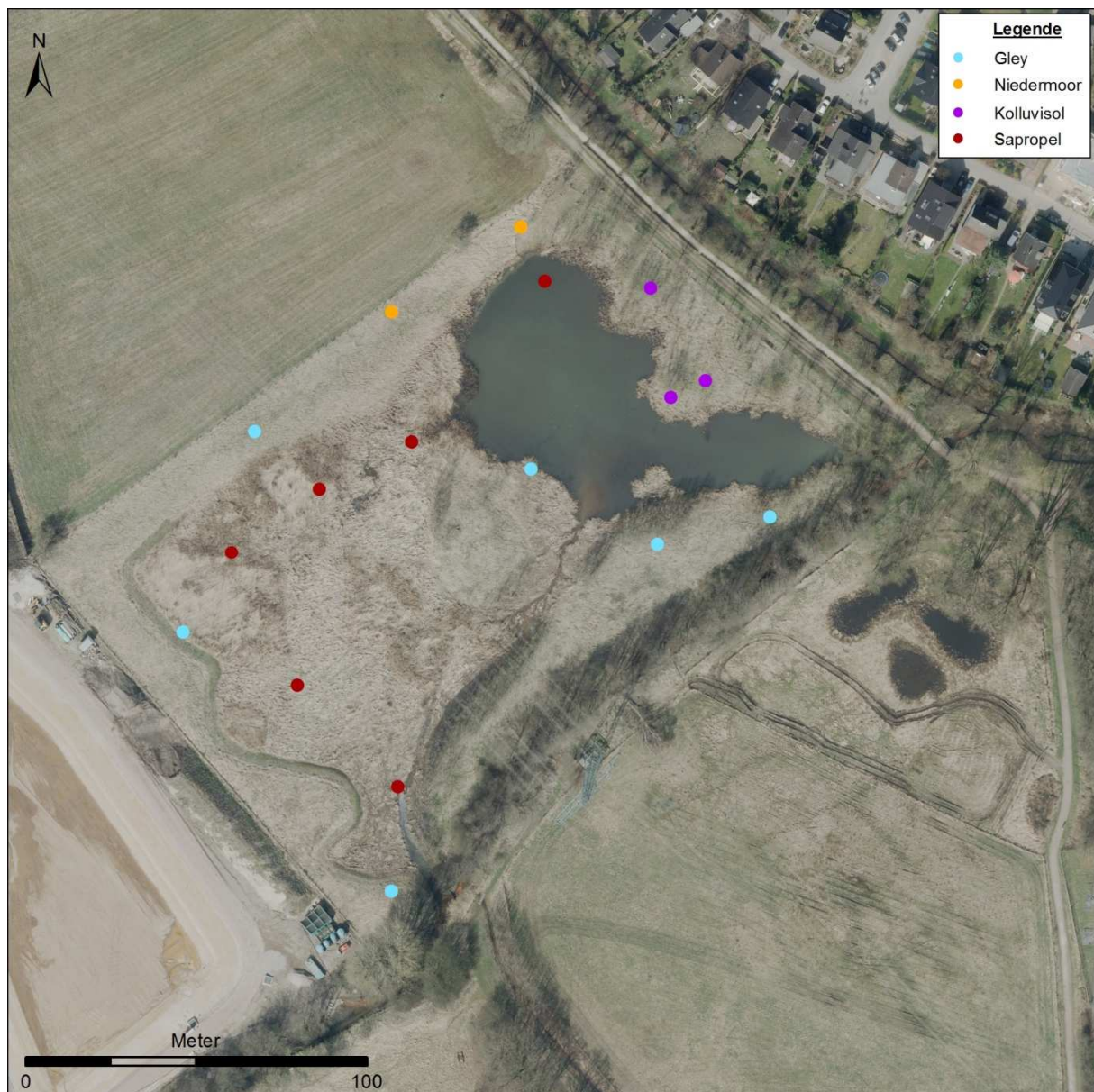


Abb. 13: Ergebnisse der bodenkundlichen Kartierung im HRB an der Mühlenau (Kartengrundlage LGV 2017).

Der HRB besteht in den tiefer gelegenen Flächen außerhalb des Dauerstaubereichs aus einer ausgedehnten Röhrichtfläche, teilweise unterbrochen durch Feuchtwiesen und einer mittig gelegenen Insel. Diese Bereiche zeichnen sich durch wassergesättigte Bodenverhältnisse aufgrund eines niedrigen Flurabstandes aus. Als dominierender Bodentyp im Dauerstaubereich konnte der Unterwasserboden „Sapropel“ über Schmelzwassersanden ausgewiesen werden. Die Mächtigkeit des Sapropel Fr-Horizontes liegt zwischen 4 und 22 cm. Im Vergleich zu Fr-Horizonten anderer Rückhaltebecken mit Mächtigkeiten von bis zu 180 cm, sind die Schlammmächtigkeiten des HRB gering. In den Uferbereichen haben sich vor allem organikreiche Böden entwickelt. Fossile Torfbänder entlang der Kollau generieren Horizonte mit hohen Kohlenstoffgehalten. Im südlichen Teil wurden überwiegend grundwasserbeeinflusste Gleye und im nördlichen Bereich organikreiche Anmoorgleye und Niedermoore kartiert. Angrenzend an den Kollauwanderweg sind aufgrund von Bauschutt und Umlagerung von Bodenmaterial Kolluvisole aus aufgeschütteten Bodenmaterialien und technogenem Substrat (Abb. 13) entstanden.

Schadstoffanalysen wurden an entnommenen Schlammproben der Beckenzonen Einlass, Auslass, Flachwasser und Röhricht durchgeführt. Untersuchungen von Oberbodenproben eines Leitprofils im Uferbereich zeigten keine bis geringe Schadstoffbelastungen. Im Röhricht- und Auslassbereich wurden für die Parameter polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), Mineralölkohlenwasserstoffe (MKW) und Zink (Zn) leicht erhöhte Schadstofflevel ermittelt (Abb. 14). Auf Grundlage der von der (LAGA, 2003) eingeführten Zuordnungswerte für Schadstoffe werden die beprobten Sedimente zum größten Teil als unbelastet und teilweise in die Einbauklasse 1 eingestuft. Einbauklasse 1 bedeutet, dass bei Entnahme der Schlämme eine Wiederverwendung nur in einem offenen eingeschränkten Einbau zulässig ist. In Abb. 14 sind in blau die Gehalte der Schwermetalle Cadmium, Kupfer, Blei und Zink und des Metalloids Arsen dargestellt. In gelb sind die Gehalte der organischen Schadstoffe PAK, PCB und MKW aufgeführt. Die rote Linie definiert den Wert über dem die Gehalte der Einbauklasse 1 zugeordnet werden. Es wird ersichtlich, dass die Schadstoffe Zink und PAK im Röhrichtbereich und MKW im Röhricht- und Auslassbereich Gehalte erreichen, welche in die Einbauklasse 1 eingestuft werden müssen. Im Dauerstaubereich des HRB wurden für die Schlämme Akkumulationsraten von durchschnittlich 5,8 kg Trockenmasse/m²a errechnet. Die höchste Akkumulation findet mit 6,1 kg Trockenmasse/m²a in den Röhrichtbereichen statt. Dort ist die Sedimentationsrate mit 1,9 cm/a deutlich höher als im Flachwasser ohne Röhricht (1,1 cm/a). Dies liegt vor allem an der Strömungsberuhigung in diesem Bereich.

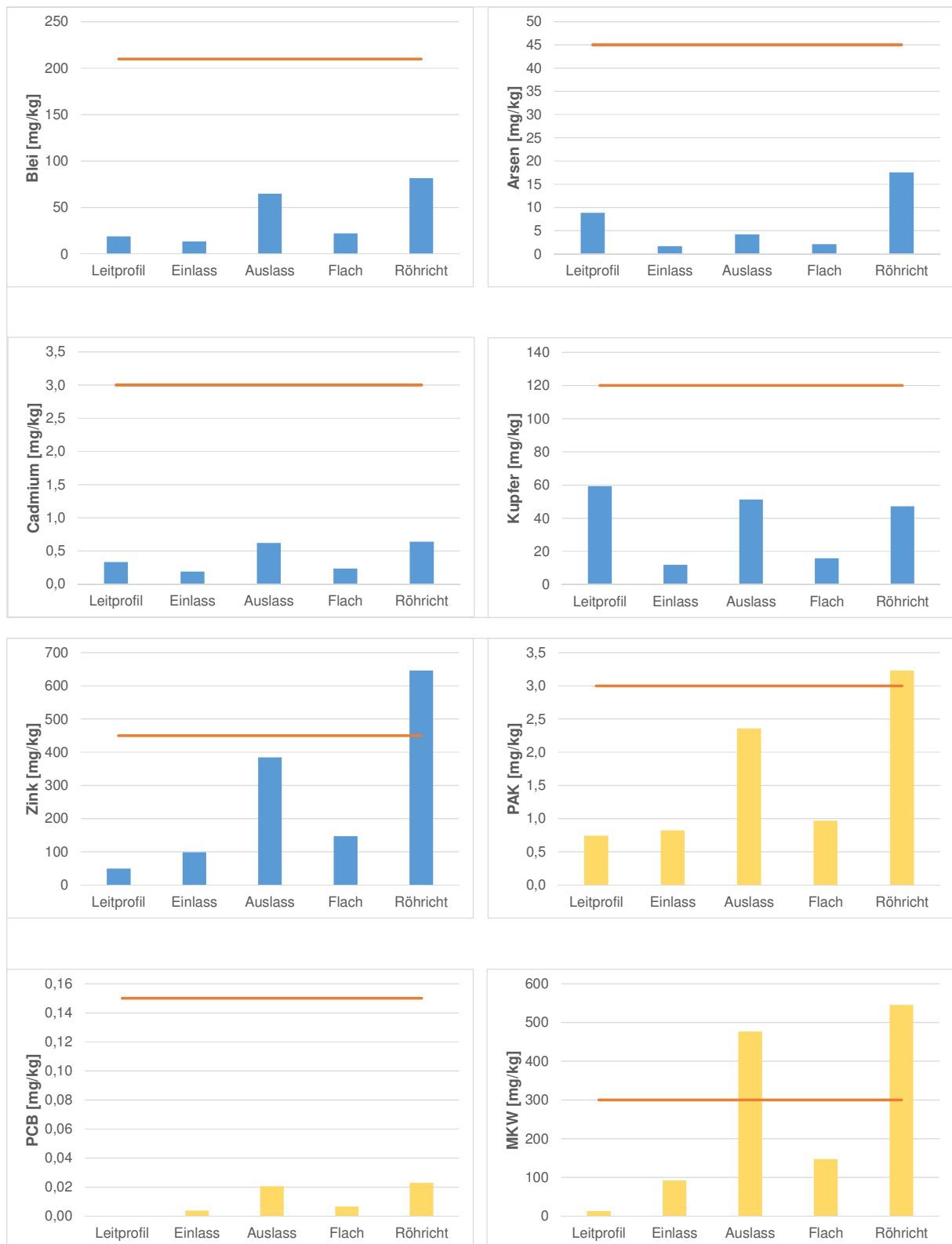


Abb. 14: Gehalte von Schwermetallen, Arsen (blau) und organischen Schadstoffen (gelb) in Proben des Leitprofils und der Zonen im HRB unter Dauerstau (Einlass, Auslass, Flachbereich und Schilf). Die rote Linie gibt jeweils den Grenzwert zur Einordnung in die Einbauklasse 1 an.

3.5 Unterhaltung und Nutzung

Das HRB Retentionsraum Mühlenau ist ein ungesteuertes HRB. Die Unterhaltung der Fläche wird durch das Bezirksamt Eimsbüttel durchgeführt und beinhaltet in erster Linie eine regelmäßige Mahd der Böschungs- und Retentionsfläche, die alle drei Jahre stattfinden soll.

Zum Zeitpunkt der Untersuchungen befand sich südwestlich des HRB eine Baustelle zum Ausbau der angrenzenden Bundesautobahn A7. Von dieser Baustelle fanden Einleitungen zwischen 10 und 110 m³/h in die Mühlenau statt.

Die Fläche des HRB liegt am Kollau-Wanderweg und bietet ein naturnahes Landschaftsbild. Angrenzend befindet sich ein Gebiet, das als Hundeauslaufläche genutzt wird. Um die Flora und Fauna im HRB insbesondere vor den Hunden zu schützen, wird das Gebiet von einem Zaun begrenzt. Es ist demnach im Normalfall für Passanten nicht begehbar.

3.6 Niederschlags-Abfluss-Modellierung

Mit dem hydrologischen Modell KalypsoHydrology wird das HRB Retentionsraum Mühlenau numerisch abgebildet. Hierfür werden die im Kapitel 2.2 beschriebenen und im Modell neu implementierten Steuerungsfunktionen angewendet.

Ziel der N-A-Modellierung in der Aufstockung des Projektes Stuck ist die Untersuchung der Auswirkungen auf das Hochwassergeschehen in der Kollau durch eine Umgestaltung des HRB Retentionsraum Mühlenau und seiner Wasserbauwerke. Hierfür werden zum einen relevante Starkniederschlagsereignisse und zum anderen lange Zeiträume der Vergangenheit analysiert. Die Simulation langer Zeiträume unter vergangenen (1960–2009) und heutigen (2009–2018) Niederschlagsbedingungen wird dabei untersucht.

Die Ergebnisse der numerischen Modellierung bieten die hydrologischen Grundlagen für die Bewertung der Gestaltungsvarianten des HRB Mühlenau. Technisch wird die erforderliche Steuerung für ein solches System durch unterschiedliche Wasserbauwerke erreicht. Dies umfasst statische und dynamisch steuerbare Bauwerke (z. B. Drosseln, Pumpen und Wehre). Auf Grundlage der Untersuchungsergebnisse wird ein gezielter Einstau mit definierten Überschwemmungshäufigkeiten und -dauern im HRB eingestellt.

Die Simulationsergebnisse über lange Zeiträume werden für die ökologische Bewertung der Umstellung der Überschwemmungshäufigkeit und -dauer des HRB im Modell analysiert. Hierfür werden mehrere Gestaltungsvarianten unter den in den Projektzielen formulierten Anforderungen betrachtet. Für die Analyse der Wirkung auf den Hochwasserschutz werden kurze Zeiträume simuliert. Mit den Projektpartnern werden die Eingangsgrößen für die Ableitung wasserwirtschaftlich, aber auch ökologisch wirksamer Gestaltungsszenarien iteriert.

Die Ergebnisse der Gestaltungs- und Steuerungsszenarien ermöglichen es auch, verallgemeinerte Aussagen für die Kollau sowie vergleichbarer urbaner Gewässer zu erarbeiten.

3.6.1 Abbildung des HRB Retentionsraum Mühlenau im numerischen hydrologischen Modell „Kollau“

Die aktuelle numerische Abbildung des HRB Retentionsraum Mühlenau wird angepasst und geprüft. Die Anpassung und Prüfung erfolgt auf der Grundlage von Messungen der Beckengeometrie sowie punktuellen Wasserstands- und Abflussmessungen im Ober- sowie Unterlauf des HRB Retentionsraum Mühlenau (siehe Kapitel 3.2). Im Vergleich zum Planungszustand des HRB Retentionsraum Mühlenau haben sich Veränderungen ergeben, die im Zuge des Projektes untersucht und im numerischen Modell umgesetzt wurden (siehe Kapitel 3.2).

Im numerischen Modell wird das Becken mit mehreren Systemelementen abgebildet (Abb. 15), die im Folgenden kurz erläutert werden. Die Mühlenau fließt in nord-östlicher Richtung in den Verzweigungsbereich zur alten Mühlenau, der mit dem Knoten 5102 gekennzeichnet ist. Das Holzbauwerk agiert als Steuerungselement im aktuellen System des HRB Mühlenau. Das Foto links oben in Abb. 16 zeigt den eingeschränkten Abfluss am Verzweigungsknoten 5102 in Richtung der alten Mühlenau. Durch die Neuberechnung der Verzweigung mit der Beziehung zwischen den Abflüssen im Ober- und Unterlauf wird das Holzbauwerk im aktuellen Zustand abgebildet. Die Beckengeometrie hat sich im Vergleich zum Planungszustand verändert und wurde in das Modell eingearbeitet (siehe Steuerungselement 2). Der Auslass aus dem Becken findet über eine Sohlgleite aus aufgeschütteten Steinen statt (Abb. 16, rechts unten). Dieses Steuerungselement (Abb. 16, links unten) hat sich im Vergleich zum Planungszustand auch verändert und wurde im numerischen Modell entsprechend angepasst.

Übersicht der Systemelemente
Retentionsraum Mühlenau

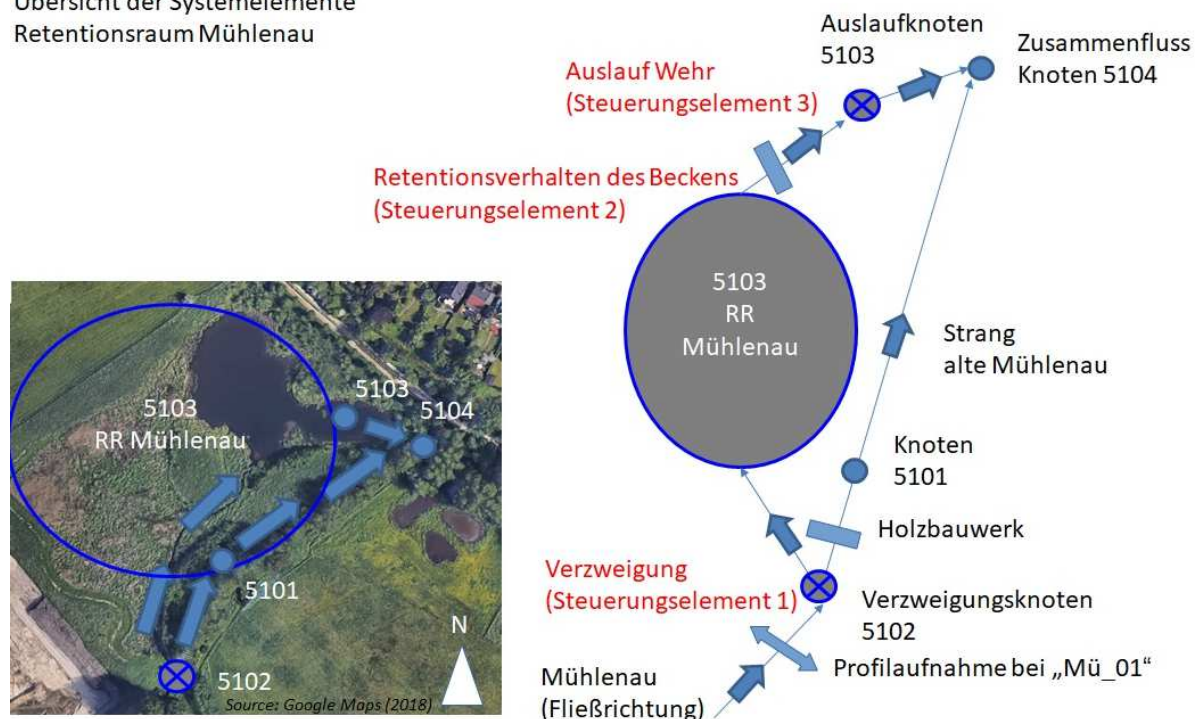


Abb. 15: Luftaufnahme und schematische Abbildung der Systemelemente des HRB Retentionsraum Mühlenau.



Abb. 16: Fotos der drei Steuerungselemente: Holzschütz, HRB Retentionsraum Mühlenau, überströmtes Wehr am Auslass bei hohem und bei niedrigem Wasserstand im HRB.

Steuerungselement (1): Numerische Abbildung der Abflussaufteilung in die alte Mühlenau und das HRB Retentionsraum Mühlenau

Die numerische Abbildung der anteiligen Abflüsse in die alte Mühlenau und das HRB Retentionsraum Mühlenau erfolgt in drei Schritten. Im ersten Schritt wird die Berechnung einer Wasserstand-Abfluss-Beziehung an einem Gewässerprofil durch ein Wasserspiegel-lagenmodell durchgeführt. Im zweiten Schritt wird der Abfluss durch die Öffnung des Holzbauwerkes in die alte Mühlenau als Funktionen des Wasserstandes an der Verzweigung berechnet. Im dritten Schritt erfolgt die Ableitung einer Abflussaufteilung an der Verzweigung der Mühlenau in den Altarm und den HRB aus den Ergebnissen der Schritte 1 und 2.

Schritt 1: Berechnung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung an der Verzweigung

Grundlage zur Berechnung einer Wasserstand-Abfluss-Beziehung im Oberlauf der Gewässerverzweigung ist die Aufnahme eines charakteristischen Gewässerprofils. Das Profil wurde vom LSBG am 08.02.2019 bei Stat. 0+266 der Mühlenau aufgenommen. Die Lage des Gewässerprofils ist in der Systemskizze in Abb. 15 markiert und der Querschnitt ist in Abb. 17 dargestellt.

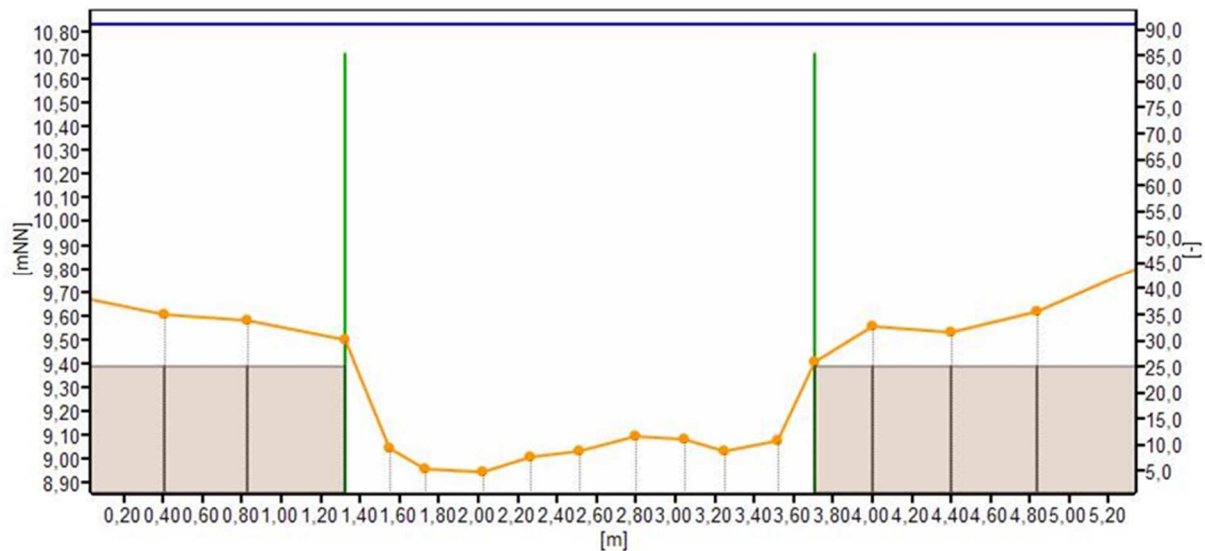


Abb. 17: Querschnitt des Gewässerprofils der Mühlenau bei Stat. 0+266.

Die Höhen am Ufer werden auf der Grundlage des DGM erweitert. Für die Fließzonen werden Rauigkeiten im Vorland von $K_s = 0,25$ und im Flussschlauch von $K_s = 0,1$ angesetzt. Da bei geringen Wassertiefen auch größere Fließwiderstände auftreten, wird hier eine höhere Rauigkeit angesetzt. Als Sohlgefälle wird ein Wert von $0,15\%$ angenommen. Auf Basis dieser Angaben wird mit dem Wasserspiegellagenmodell KalypsoWSPM für das Profil eine Polygon-Berechnung durchgeführt. Als Ergebnis wird für eine Schar von Wasserständen im Gewässer der Abfluss berechnet. Das Ergebnis ist in Abb. 18 dargestellt.

Zur Prüfung der Ergebnisse werden vier Messdatensätze der Abflüsse und Wasserstände verwendet (Tab. 5). Drei Datensätze werden direkt an der Verzweigung und nicht an dem Profil aufgenommen. Daher sind diese Daten als Vergleichswerte mit Abweichungen der Wasserstände von zwei bis drei cm einzubeziehen. Im Diagramm in Abb. 19 ist der Vergleich zwischen gemessenen und simulierten Werten dargestellt.

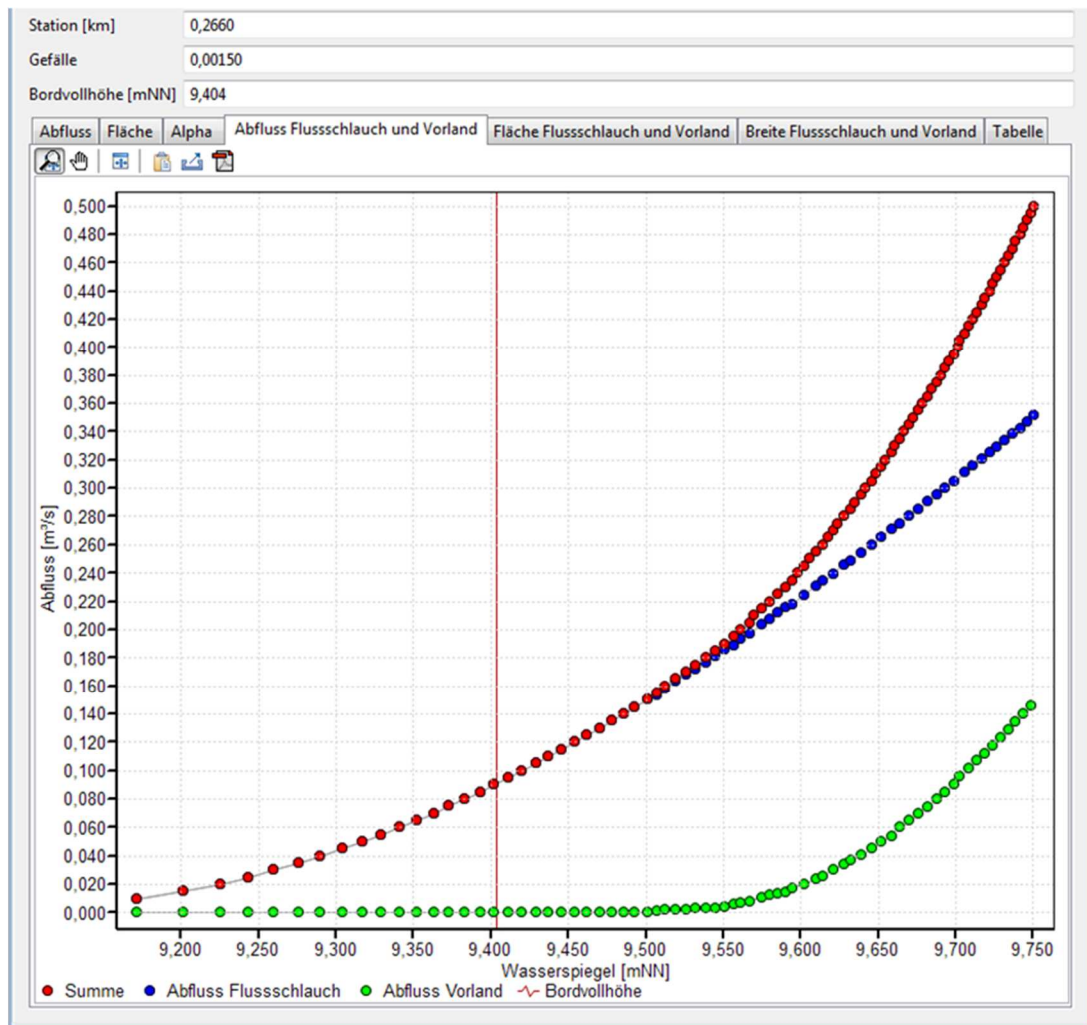


Abb. 18: Ergebnis der simulierten Wasserstand-Abfluss-Beziehung am Profil (Stat. 0+266) mit dem numerischen Modell KalypsoWSPM.

Tab. 5: Messwerte vom LSBG (siehe Kapitel 3.2) an vier Tagen für die Prüfung des entwickelten Modells und der berechneten Ergebnisse.

Datum	Messungen	Abfluss	Wasserstand (NHN cm)
05.11.2018	Verzweigung	0,021	923
05.12.2018	Verzweigung	0,030	928
04.01.2019	Verzweigung	0,025	915
08.02.2019	Profil Stat. 0+266	0,04	929

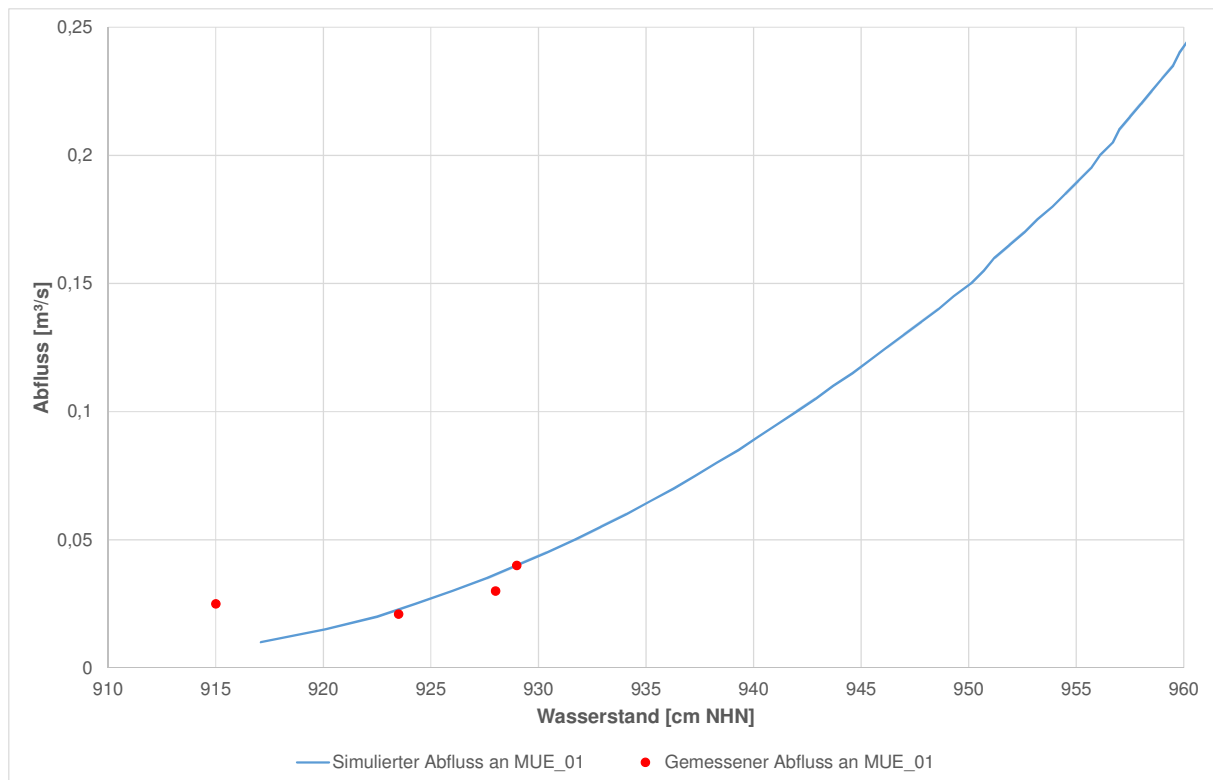


Abb. 19: Wasserstand-Abfluss-Beziehung oberhalb der Verzweigung am Profil Stat. 0+266

Schritt 2: Berechnung der Wasserstand-Abfluss-Beziehung am Holzbauwerk.

Zur Berechnung des Abflusses durch die Öffnung des Holzbauwerkes wird das Verfahren nach Poleni angewendet (BWK, 2009). Die Überfallformel ist im Folgenden aufgeführt:

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} * h_{\ddot{u}}^{3/2}$$

Mit:

Q = Abfluss durch die Öffnung des Holzbauwerkes [m³/s]

μ = Überfallbeiwert [-]

b = Wasserspiegelbreite [m] auf der Höhe der Öffnung

g = Erdbeschleunigung 9,81 m/s²

$h_{\ddot{u}}$ = Überfallhöhe [m]

Entsprechend der Erkenntnisse aus Untersuchungen des Überfallbeiwertes μ (siehe z. B. BWK, 2009) variiert der Überfallbeiwert entsprechend der Zuflussgeschwindigkeit im Oberwasser und des Auftretens eines unvollkommenen Überfalls. Durch höhere Zuflussgeschwindigkeiten und rückstauende Effekte im Unterlauf kommt es zu einer Abnahme des Überfallbeiwertes.

Beim Holzschütz liegt ein unvollkommener Überfall durch die Öffnung vor. Die Berechnung der Überfallbeiwerte inklusive der Berücksichtigung des rückstauenden Effektes

wurde nach BWK (2009) vorgenommen. Der Überfallbeiwert wird durch einen Abminderungsfaktor zur Berücksichtigung des Rückstaueffektes korrigiert:

$$\mu = c_u \cdot \mu_{vollk.}$$

Mit

μ = Überfallbeiwert

$\mu_{vollk.}$ = Überfallbeiwert bei vollkommenen Überfall

c_u = Abminderungsfaktor

Die Berechnung des Abminderungsfaktors hängt von der effektiven Wasserstandshöhe im Oberwasser und im Unterwasser ab:

$$c_u = \sqrt{1 - \left(\frac{h_{uw}}{h_{\ddot{u}}}\right)^n}$$

Mit

c_u = Abminderungsfaktor

$h_{\ddot{u}}$ = effektive Überfallhöhe oberhalb der Wehrkrone [m]

h_{uw} = effektiver Unterwasserstand oberhalb der Wehrkrone [m]

n = Exponent (bei einem scharfkantigen Wehr = 1,6 gemäß (BWK, 2009))

Da die Einschnürung des Fließquerschnittes bei höheren Wasserständen auch von der Oberkante beeinflusst wird, ist der Rückstaueffekt erhöht. Der Exponent wird mit einem Faktor von 0,6 abgemindert. Im Weiteren wird der Überfallbeiwert am Holzschütz durch die Einlassenergie entsprechend der Wasserstandshöhen (Faktor 1,00 bis 1,05) und den Strahldruck (Faktor 1,05) beeinflusst. Weiterführende Informationen über die Berücksichtigung und Berechnung von Überfallbeiwerten sind in Aigner (2008) und BWK (2009) veröffentlicht. Fotos vom Dezember 2018 zeigen den Fließquerschnitt durch das Holzschütz (Abb. 20). Bereits nach mäßigen Regenfällen im Einzugsgebiet der Mühlenau erreicht der Wasserstand im Oberlauf die Öffnungshöhe des Holzbauwerkes, wodurch es zu Rückstaueffekten kommt.



Abb. 20: Fotos des Holzschützes bei der Verzweigung der Mühlenau in ihren alten Gewässerlauf. Die Aufnahmen zeigen den rückstauenden (ingeschnürten) Abfluss.

Das Berechnungsverfahren und die getroffenen Annahmen wurden anhand von drei Messungen am Holzschütz geprüft. Die Ergebnisse der simulierten Wasserstands-Abfluss-Beziehung und der Messwerte sind in Abb. 21 gegenübergestellt. Die Abflüsse durch das Holzschütz erreichen einen höchsten Wert von $0,067 \text{ m}^3/\text{s}$.

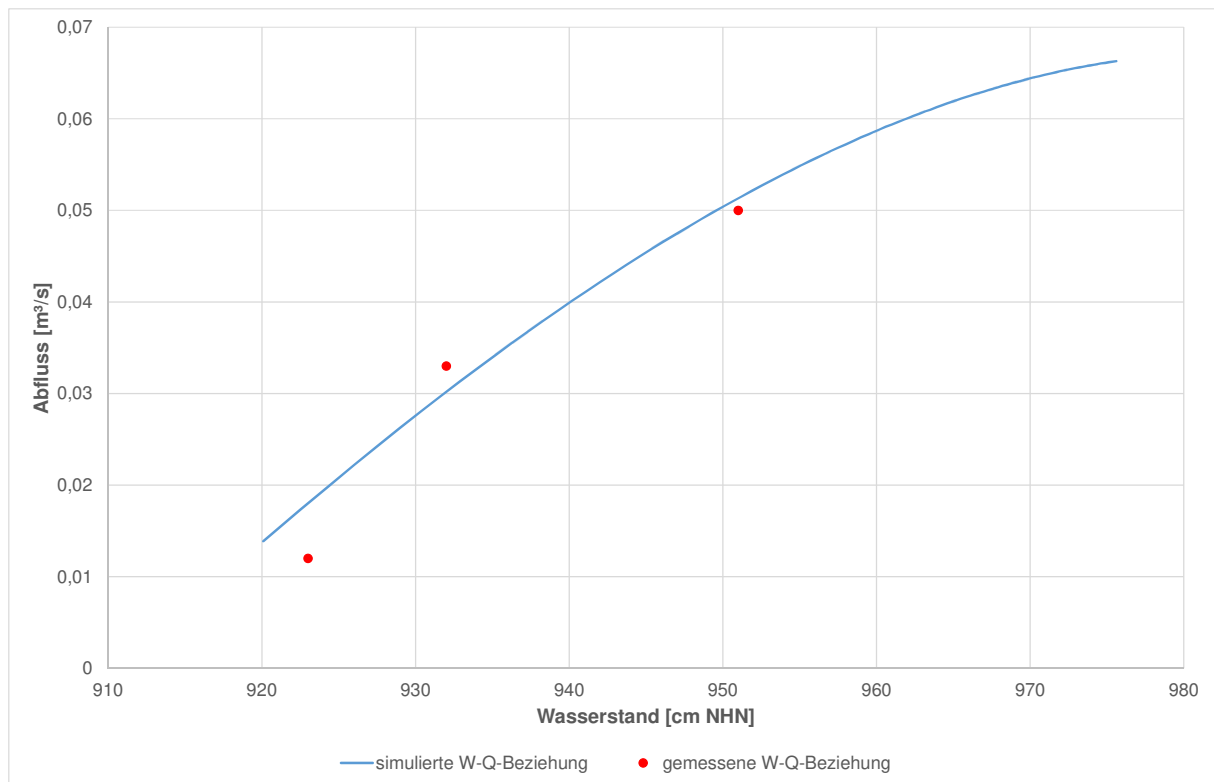


Abb. 21: Gegenüberstellung der simulierten Wasserstands-Abfluss-Beziehung und gemessener Werte (aus Januar bis Februar 2019) am Holzbauwerk.

Für die Berechnung des Abflusses durch den Fließquerschnitt des Holzbauwerkes ist der Wasserstand im Oberlauf an der Verzweigung in das HRB Retentionsraum Mühlenau aus den simulierten Abflüssen abzuleiten.

Schritt 3: Ableitung der Abflussverteilung an der Verzweigung.

Die Wasserstand-Abfluss-Beziehung (W-Q-Beziehung) am Holzschütz und die W-Q-Beziehung im Gewässer (Profil Stat. 0+266) werden verschnitten, um eine „Abfluss zu Abfluss-Beziehung“ (Q-Q-Beziehung) abzuleiten. Die Beziehung wird in Abb. 22 zusammen mit Messwerten dargestellt. Die Messwerte sind tabellarisch auch in Tab. 6 zusammengefasst.

Tab. 6: Messwerte vom LSBG an der Verzweigung zwischen Mühlenau am Profil Stat. 0+266 und dem Abfluss durch das Holzschütz.

Datum der Messung	Abfluss am Profil Stat. 0+266	Abfluss durch das Holzschütz	Wasserstand NHN cm
05.11.2018	0,021	0,006	923
22.11.2018	0,009	0,003	-
05.12.2018	0,030	0,020	928
04.01.2019	0,025	0,012	915
14.01.2019	0,162	0,050	-
08.02.2019	0,04	0,033	929

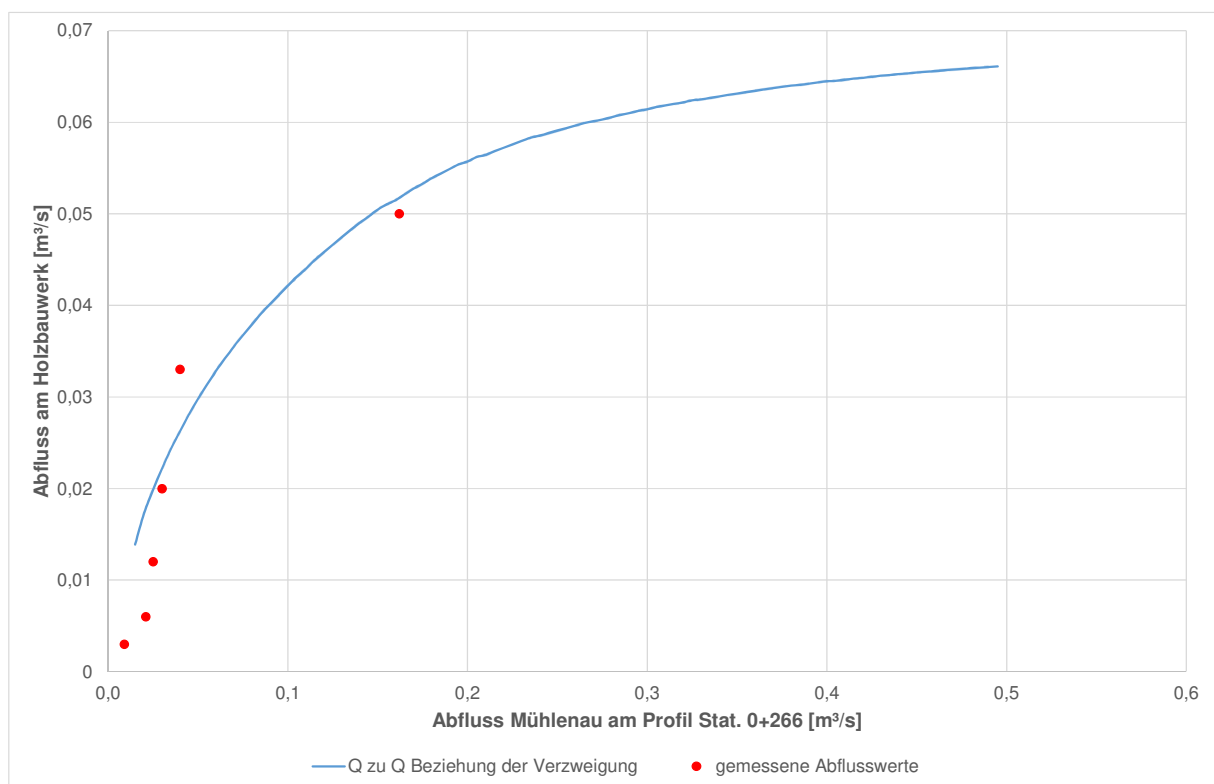


Abb. 22: Abgeleitete Abfluss-Abfluss Beziehung zwischen dem Profil Stat. 0+266 und dem Abfluss durch das Holzschütz in den Altarm der Mühlenau.

Steuerungselement (2): Numerische Abbildung des Retentionsverhaltens des HRB

Die Beckengeometrie des HRB Retentionsraum Mühlenau wird durch Messungen des LSBG im Rahmen des Projektes geprüft und die Daten für die numerische Modellierung bereitgestellt. Durch die Neuvermessung und die Verschneidung mit dem aktuell vorliegenden DGM wird eine W-V-Beziehung für das HRB erstellt. Die angewendete Methodik zur Berechnung des Retentionsverhaltens des Beckens basiert auf der modifizierten Puls-Methode, die auf dem Prinzip der Linear-Speicher Theorie beruht. Es wird ein bereichsweise linearer Zusammenhang zwischen dem Volumen im Becken und dem Abfluss abgeleitet. Das Auslassbauwerk hat eine tragende Rolle, um das Retentionsverhalten des Be-

ckens zu steuern. Entsprechend des Wasserstandes im Becken kommt es zu einem definierten Abfluss über die Sohlgleite, der über eine W-Q-Beziehung abgebildet wird. Die Sohlgleite wird im Modell numerisch als Wehr abgebildet und im Folgenden immer so benannt. Aus der Verschneidung der W-V- und der W-Q-Beziehungen wird eine Wasserstands-Volumen-Abfluss-Beziehung abgeleitet, die in das numerische Modell importiert wird. Der Dauerwasserstand im Becken wird durch die Höhe der Wehroberkante bestimmt und liegt bei ca. NHN +845 cm.

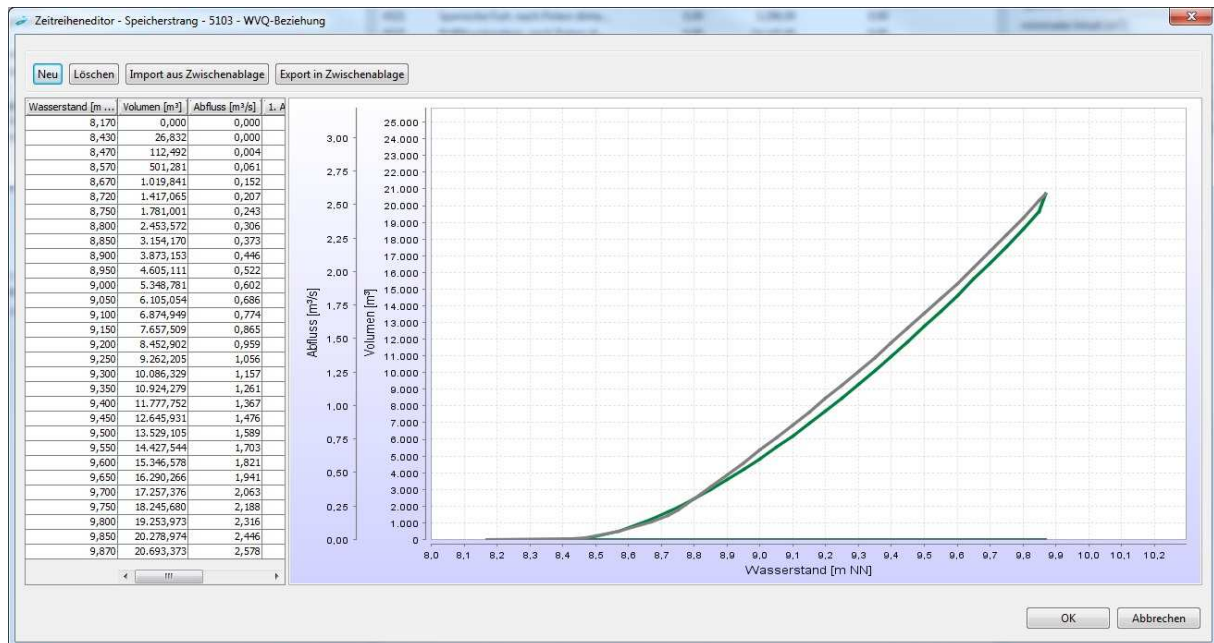


Abb. 23: Abbildung des Retentionsverhaltens des HRB Retentionsraum Mühlenau im numerischen Modell KalypsoHydrology mit der Wasserstands-Volumen-Abfluss Beziehung.

Steuerungselement (3): Numerische Abbildung des Wehres im Auslass des Beckens.

Die Berechnung des Abflusses über das Wehr erfolgt mit der Überfallformel nach Poleni (BWK, 2009). Es wird bei der Anwendung der Formel davon ausgegangen, dass die Zuflussgeschwindigkeit im Oberwasser des Beckens als gering einzuschätzen ist.

$$Q = \frac{2}{3} \mu b \sqrt{2g} * h_{\ddot{u}}^{3/2}$$

Mit:

Q = Abfluss aus dem Becken [m³/s]

μ = Überfallbeiwert über das Wehr [-]

b = Wasserspiegelbreite [m] auf der Höhe der Wehrkrone bei NHN +8,45 m

g = Erdbeschleunigung 9,81 m/s²

$h_{\ddot{u}}$ = Überfallhöhe [m]

Entsprechend der Erkenntnisse aus Untersuchungen (BWK, 2009) variiert der Überfallbeiwert μ entsprechend der Zuflussgeschwindigkeit im Oberwasser und der Rückstauereffekte durch erhöhte Wasserstände im Unterlauf. Entsprechend der Rückstauereffekte bei Wasserständen oberhalb von NHN +845 cm kommt es zu einer Abnahme des Überfallbeiwertes. Zur Simulation der sehr flachen und zumeist überströmten Konstruktion wird eine Korrektur des Überfallbeiwertes ($\mu = 0,5$) mit einem Faktor von $1/1,8$ angesetzt. Der Überfallbeiwert ergibt sich zu $\mu = 2,8$. Die Wasserspiegelbreite auf der Höhe der Wehrkronen wird mit 1,8 m angesetzt. Die berechneten Wasserstands-Abfluss-Beziehungen werden mit Messungen vom LSBG am Auslass verglichen. Die Ergebnisse sind in Abb. 24 dargestellt.

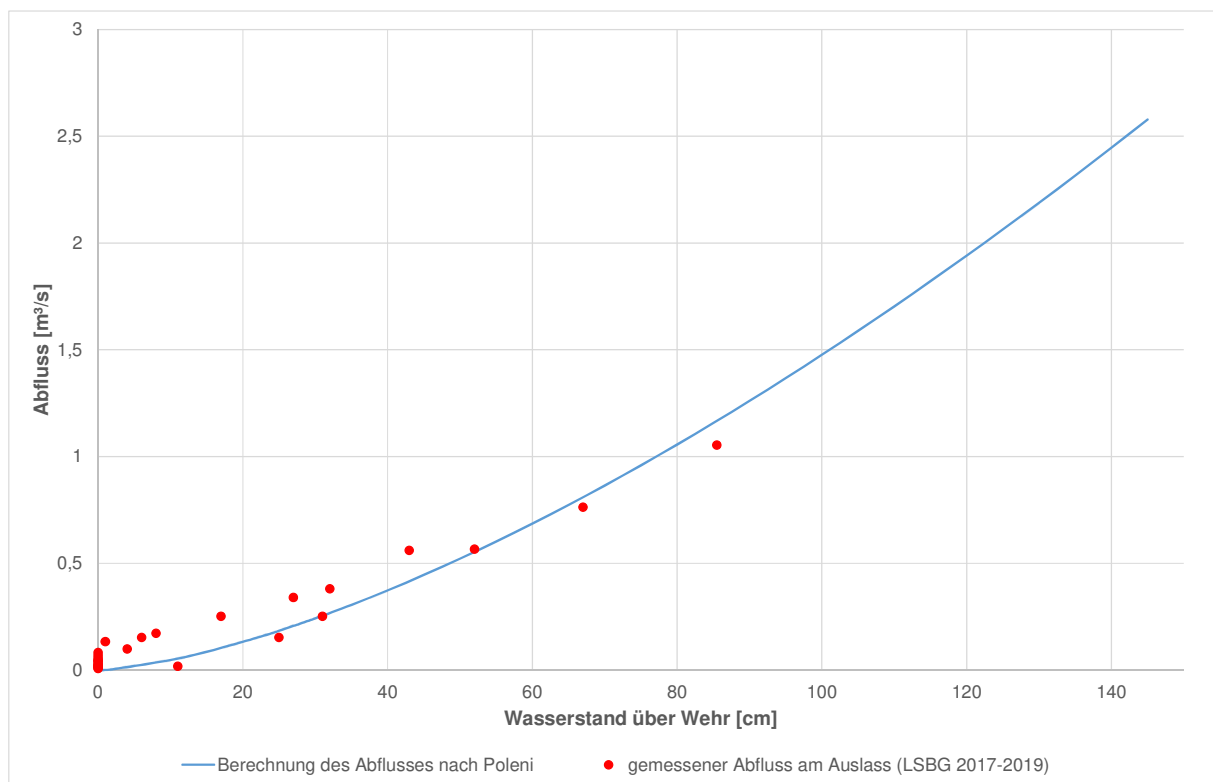


Abb. 24: Vergleich der simulierten und gemessenen Wasserstand-Abfluss-Beziehungen unterhalb des Auslasses des HRB Retentionsraum Mühlenau (Messstelle KO_07).

3.6.2 Ergebnisse der Modellsimulationen des aktuellen Zustandes des HRB Retentionsraum Mühlenau

Die Modellsimulationen des aktuellen Zustandes werden mit Messwerten am Pegel Vogt-Kölln-Straße verglichen. Für den Pegel Vogt-Kölln-Straße wurde aus Wasserstands- und Abflussmessungen seit dem Jahr 2016 eine Schlüsselkurve vom LSBG erstellt. Darauf basierend werden Abflüsse aus den kontinuierlichen Wasserstandmessungen des Pegels abgeleitet. Hierbei sind Unsicherheiten durch die Übertragung der Werte durch Schlüsselkurven einzubeziehen. Vier Ereignisse aus den Jahren 2017 und 2018, die nachweislich zu hohen Wasserständen im Gewässer der Kollau führten, werden als Vergleich der Simulationsberechnungen betrachtet. Als Eingangswerte werden Niederschlagsdaten der Wetterstation Fuhlsbüttel verwendet. Die abgeleiteten Abflüsse aus der Schlüsselkurve des

Pegels werden mit den simulierten Abflüssen am Pegel verglichen. Die Werte der abgeleiteten Abflussmaxima aus den Messungen und der simulierten Abflussmaxima sind in Tab. 7 für die vier Ereignisse aufgeführt.

Tab. 7: Simulierte Abflussmaxima (Q) unter Verwendung der Niederschlagsdaten der Station Fuhlsbüttel im Vergleich zu abgeleiteten Abflussmaxima aus den Messwerten und der Schlüsselkurve am Pegel Vogt-Kölln-Straße.

Ereignisse	Q am Pegel Vogt-Kölln-Straße aus Messwerten und Schlüsselkurve abgeleitet [m³/s]	Q simuliert mit dem N-A-Modell [m³/s]
Juni 2017	2,00	1,97
Januar 2018	2,58	2,44
Juni 2018	1,63	1,34
Dezember 2018	1,89	1,59

Für den Vergleich zwischen den Messwerten und den simulierten Werten wird die Root-Mean-Square-Differenz (RMSD) berechnet und als Diagramm (siehe Abb. 25) abgebildet.

$$RMSD = \sqrt{\left(1/n \sum_{i=1}^n (\hat{\gamma}_i - \gamma_i)^2\right)}$$

Mit:

RMSD = Root Mean Square Difference

n = Anzahl der Werte

$\hat{\gamma}_i$ = Abgeleiteter Abfluss Q [m³/s] aus gemessenen Wasserständen mit der Schlüsselkurve des Pegels Vogt-Kölln-Straße.

γ_i = Simulierter Abfluss Q am Pegel Vogt-Kölln-Straße [m³/s]

Eine Unterschätzung von 0,22 m³/s entspricht 10 % Abweichung der mittleren Abflussmaxima der abgeleiteten Werte am Pegel Vogt-Kölln-Straße. Das N-A-Modell bildet damit hinreichend genau den aktuellen Zustand des Einzugsgebietes mit dem HRB Retentionsraum Mühlenau ab.

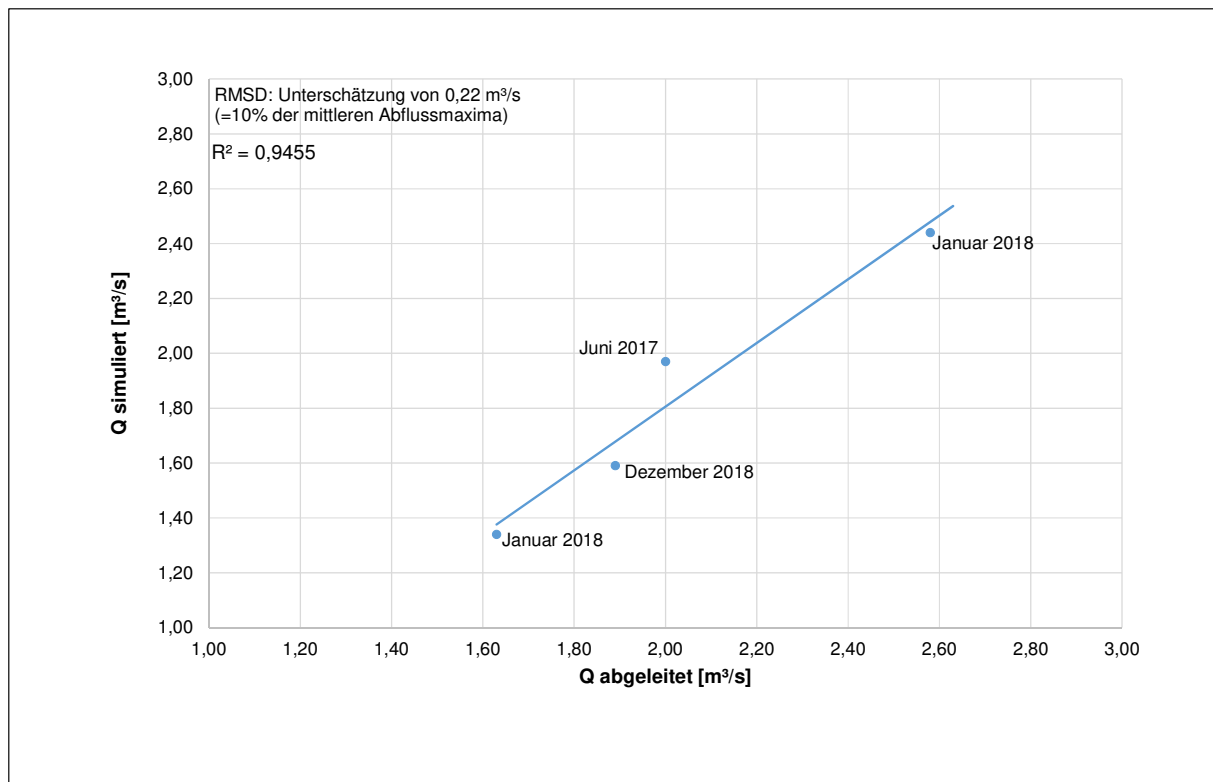


Abb. 25: Scatter Plot der simulierten Abflussmaxima (Q) im Vergleich zu den abgeleiteten Abflüssen (Q) aus den Messwerten und der Schlüsselkurve am Pegel Vogt-Köln Straße.

3.6.3 Komponenten zur Erstellung der Gestaltungsvarianten mit Steuerungsfunktionen eines Hochwasserrückhaltebeckens

Die im Kapitel 2.2.2 erläuterten Steuerungsfunktionen eines HRB werden verwendet, um unterschiedliche Gestaltungsvarianten mit Steuerungsfunktionen zu simulieren. Die entwickelten Gestaltungsvarianten werden mit den Projektpartnern abgestimmt und spezifiziert, um den unterschiedlichen Anforderungen aus der Wasserwirtschaft und der Ökologie zu entsprechen. Zur Ausarbeitung dienen vier Komponenten der Steuerungsfunktionen. Die Komponenten dieser Steuerungsfunktionen werden im Folgenden erläutert und bilden die Basis zur Erstellung der fachspezifische Gestaltungsvarianten und der abschließenden Vorzugsvariante des HRB Mühlenau.

Komponente 1: Nullvariante

Es wird simuliert, wie das Gewässer ohne das HRB Retentionsraum Mühlenau auf unterschiedliche Ereignisse reagiert. Hierbei wird insbesondere die Auswirkung auf den Wasserstand am Pegel Vogt-Kölln-Straße betrachtet.

Komponente 2: Stauraum des Retentionsraums

Durch die Veränderung der Topographie des HRB wird der Stauraum verringert oder vergrößert. Für wasserwirtschaftliche Anforderungen ist ein größtmögliches Retentionsvolumen anzustreben. Dies ist für ökologische Anforderungen (Flora und Fauna) differenzierter zu betrachten, weil die zeitlich variierenden Wasserstände und Überschwemmungsdauern eine bedeutende Rolle für die Habitate haben.

Komponente 3: Steuerung des Einlass- und Auslassbauwerkes

Die Steuerung des Einlass- und Auslassbauwerkes kann jeweils mit einem stationären oder dynamischen Steuerungssystem erfolgen. Als stationäres System werden feste Bauwerke betrachtet, die einen spezifischen Abfluss entsprechend dem Wasserstand im HRB zulassen. Ein festes Bauwerk ist zum Beispiel ein Wehr oder ein Durchlass mit festem Querschnitt. Technische Bauwerke werden definiert mit Angaben der Konstruktionshöhe, -breite und -form. Diese Angaben der Bauwerkskonstruktionen für Wehre, Schütze oder Drosseln werden je Gestaltungsvariante spezifisch definiert, um die ökologischen und/oder wasserbaulichen Anforderungen zu erreichen.

Ein dynamisches Steuerungssystem besteht aus mechanischen Bauteilen wie einem beweglichen Wehr oder einer Drossel mit Schieber. Die Steuerung solcher Bauwerke kann auf „Prognosestufen“ basieren. Das Konzept der Prognosestufen sieht vor, dass abhängig von der prognostizierten Intensität des Niederschlagsereignisses („Stufe“ 1 bis 4; (LSBG, 2020a) (LSBG, 2020c)) unterschiedliche Strategien des Rückhalts und somit der Steuerung des Auslassbauwerkes verfolgt werden. Ist ein schweres Hochwasser zu erwarten (Stufe 4), wird die Hochwasserwelle entsprechend später gekappt als bei einem leichteren Hochwasser (Stufe 1).

Durch ein dynamisches Steuerungssystem kann die Ausnutzung des vorhandenen Stauraumes eines HRB verbessert werden (LSBG, 2020a). Nachteilig sind höhere Bauwerks-, Installations- und Wartungskosten im Vergleich zu einem festen Bauwerk.

Komponente 4: Numerische Abbildung der Rückstauklappe im Ein- und Auslassbauwerk des HRB Retentionsraum Mühlenau

Eine Rückstauklappe verhindert den Durchfluss durch ein Bauwerk entgegen der geplanten Fließrichtung. Die Fließrichtung im Einlass- und Auslassbauwerk des HRB Retentionsraum Mühlenau wird bestimmt durch das Wasserstandsgefälle zwischen dem HRB und dem Gewässer. Als Komponente der Gestaltungsvarianten wird eine Erhöhung der Einlassschwelle untersucht, wodurch die Füllung des HRB erst ab einem definierten Abflusswert erfolgt. Dadurch kommt es zu der Situation, dass das Gewässer im Unterlauf bereits einen erhöhten Wasserstand aufweisen kann, während das HRB noch nicht gefüllt wird. Um den Zufluss in das HRB vom Unterlauf zu verhindern, wird eine Rückstauklappe implementiert. Die Methodik zur numerischen Simulation von Rückstauklappen ist im Kapitel 2.2.2 erläutert.

Ein Beispiel der Rückstauklappe im Auslassbauwerk des HRB Retentionsraum Mühlenau ist in Abb. 26 dargestellt. Die Rückstauklappe ist offen, so lange der Wasserstand im Unterlauf niedriger ist als im HRB. Steigt der Wasserstand im Unterlauf an, schließt die Rückstauklappe, um einen Einlass zu verhindern. Ist der Wasserstand in der Mühlenau geringer als im HRB, jedoch höher als NHN +845 cm, erfolgt ein eingeschränkter Abfluss aus dem Durchlass, weil die Unterkante des Auslasses auf NHN +845 cm liegt.

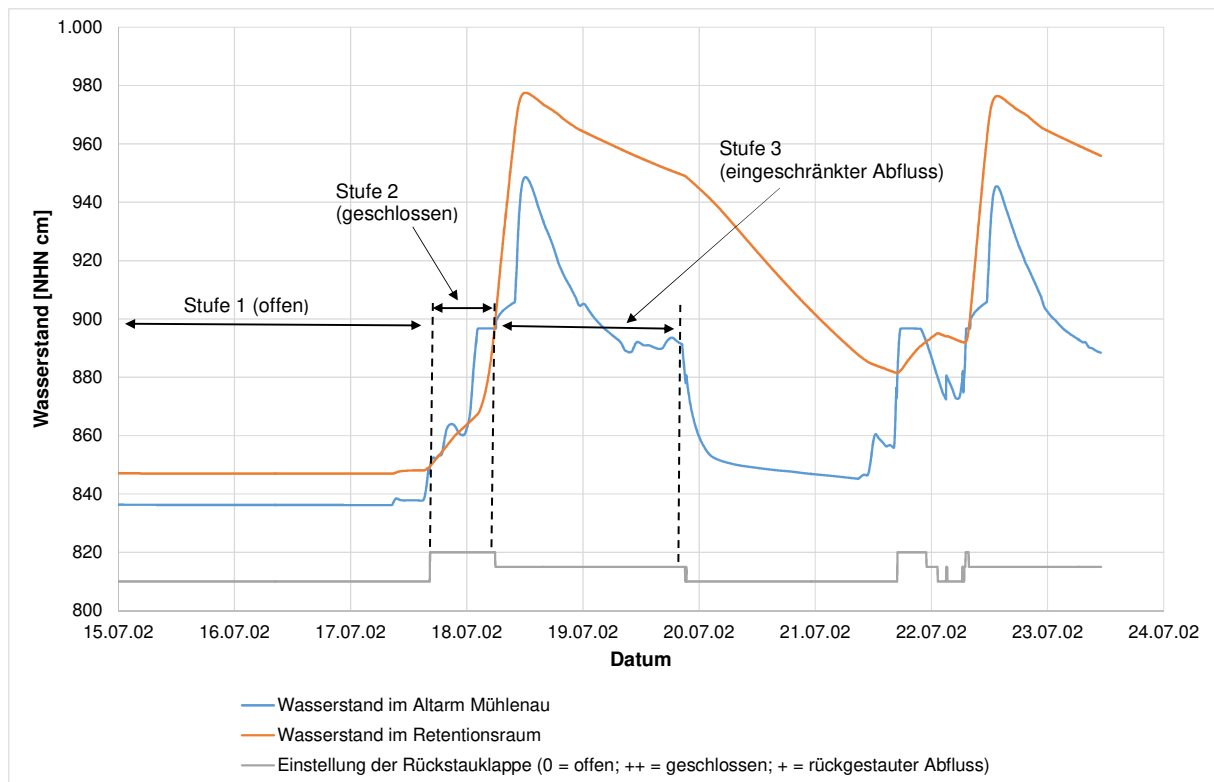


Abb. 26: Zeitlicher Verlauf der unterschiedlichen Stufen zur Steuerung der Rückstauklappe im Verhältnis zwischen dem Außenwasserstand im Altarm der Mühlenau zum Wasserstand im Retentionsraum Mühlenau.

3.6.4 Vorgehen der interdisziplinären Lösungsfindung der Gestaltungsvarianten

An die fachspezifischen Gestaltungsvarianten werden unterschiedliche Anforderungen hinsichtlich der Überflutungsdauer und der Wirkung bei Hochwasser gestellt. Gesteuert wird dies, neben der Morphologie, von der Ausgestaltung der Ein- und Auslassbauwerke sowie dem Holzschütz im alten Gewässerlauf. Zur Optimierung der Bauwerksparemeter ist ein iterativer Prozess notwendig, bei dem die simulierten Wasserstände stets mit den Entwicklungszielen solange abgeglichen werden, bis keine Verbesserung mehr zu erzielen ist. Das Vorgehen umfasst mehrere Schritte. Als erstes werden die Anforderungen für jede fachspezifischen Gestaltungsvariante separat untersucht. Zur Definition der optimalen Gestaltung der fachspezifischen Varianten werden mehrere Iterationsläufe benötigt. Die Anzahl dieser für jede Gestaltungsvariante ist in Tab. 8 aufgeführt. Für die Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ wurden zwei Möglichkeiten untersucht. Eine Variante mit einem stationären und eine mit einem dynamischen Steuerungssystem. Für das stationäre System (‚Maximierung Hochwasserschutz 1‘) wurden neun Varianten analysiert. Für die dynamische Lösung (‚Maximierung Hochwasserschutz 2‘) wurden zwei Varianten untersucht. Da die Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz 2‘ sehr kostenintensiv ist, wurde sie im weiteren Verlauf der Untersuchung vernachlässigt.

Tab. 8: Anzahl der Iterationsläufe jeder fachspezifischen Gestaltungsvariante zur optimalen Umsetzung der Anforderungen

Fachspezifische Gestaltungsvariante	Anzahl der Iterationsläufe
Maximierung Hochwasserschutz 1	9
Maximierung Hochwasserschutz 2	3
Maximierung Biotopqualität	6
Maximierung Stoffretention	3

Eine wesentliche Unterscheidung zwischen den Bewertungsmethoden der fachspezifischen Gestaltungsvarianten bilden die untersuchten Zeiträume. Für die Bewertung des Hochwasserschutzes werden drei synthetische Ereignisse unterschiedlicher Wiederkehrwahrscheinlichkeit und ein abgelaufenes Ereignis mit hoher Auslastung des Gewässers aus der Vergangenheit untersucht. Die untersuchten synthetischen Ereignisse haben Jährlichkeiten des Niederschlags von 5, 30 und 100 Jahren. Das Hochwasserereignis im Juli 2002 ist geprägt durch zwei aufeinander folgende Dauerregenereignisse, die zu einer starken Aus- und zum Teil Überlastung der HRB im Einzugsgebiet der Kollauführten. Für die Bewertung der ökologischen und bodenkundlichen Anforderungen wird die Anzahl von aufgetretenen Wasserstandshöhen (in zehn Zentimeterschritten) im HRB Retentionsraum Mühlenau für lange Zeiträume von mindestens zehn Jahren untersucht. Hierzu wurde eine Klassifizierung von Wasserstandshöhen erarbeitet. Pro Klasse werden die Häufigkeiten pro untersuchten Zeitabschnitt angegeben. Die folgenden Zeitabschnitte werden hierfür untersucht:

- Januar 1955 bis Februar 2019 (ca. 63 Jahre)
- Januar 1989 bis Dezember 2018 (30 Jahre)
- Februar 2009 bis Februar 2019 (10 Jahre)
- Auswertungen der einzelnen Jahre zwischen 2009 bis 2019

Die Ergebnisse dieses Vorgehens bildeten die Grundlage, um die Vorzugsvariante zur Erfüllung der drei Optimierungsziele Hochwasserschutz, Biotopqualität und Stoffretention zu erstellen. Dabei gelang es, aus den unterschiedlichen Gestaltungsvarianten eine Vorzugsvariante zu erstellen, die allen Anforderungen gerecht wird. Die Details der Gestaltungsvarianten und der Vorzugsvariante werden in Kapitel 4.1 und 4.5 erläutert.

3.7 EUFRI-Bewertung des IST-Zustandes

Für das HRB Retentionsraum Mühlenau werden, entsprechend des in Kapitel 2.3 beschriebenen Vorgehens, für jedes Segment EUFRI-Werte ermittelt und damit der IST-Zustand des Untersuchungsgebiets bewertet.

Segment Hochwasserschutz

Die Bewertung des HRB Retentionsraum Mühlenau hinsichtlich seiner Hochwasserschutzfunktion wird anhand des Pegels Vogt-Kölln-Straße vorgenommen (Abb. 119). Dieser Pegel liegt unterhalb der Mündung der Mühlenau in die Kollau. Dort lassen sich die Auswirkungen des Wasserrückhalts durch das HRB Retentionsraum Mühlenau auf den Vorfluter

Kollau am besten beurteilen. Generell wird der Hochwasserscheitel in der Kollau abgesenkt, da das HRB die Hochwasserwelle der Mühlenau kurz vor der Mündung zurückhält und erst verspätet in die Kollau abgibt.

Die Funktion des Wasserrückhalts wird für Niederschlagsereignisse mit Wiederkehrintervallen von 5, 30 und 100 Jahren und einer Dauerstufe von 1 h untersucht, sowie für ein Ereignis aus dem Juli 2002, das das höchste bisher aufgezeichnete Hochwasserereignis an der Kollau darstellt. Für jedes untersuchte Ereignis wird der Abfluss für die Varianten *kein Becken*, IST-Zustand, sowie für alle fachspezifischen Gestaltungsvarianten (siehe Kapitel 4.1) berechnet. So wird der beste und schlechteste Wert pro Ereignis ermittelt, die jeweils die Randwerte der Teilindizes (ein Index pro Niederschlagsereignis) für das Segment Hochwasserschutz darstellen (Tab. 9). Die gemittelten Teilindexwerte bilden den Gesamtindexwert Hochwasserschutz für die jeweiligen Gestaltungsvarianten. In diesem Fall werden nur Gestaltungsvarianten mit passiver Steuerung betrachtet. Diese stellen in der Praxis die betrieblich am wenigsten aufwändigen Lösungen dar. Für den IST-Zustand ergibt sich insgesamt ein Indexwert von 1,8 für das Segment Hochwasserschutz. Durch die Simulation wird deutlich, dass der Hochwasserscheitel in der Kollau durch den derzeit praktizierten Betrieb des HRB Retentionsraum Mühlenau für 5-, 30- und 100-jährliche Niederschlagsereignisse theoretisch um ca. 5 % gesenkt werden kann.

Tab. 9: Durch verschiedene Gestaltungsvarianten berechneter schlechtester und bester Teilindexwert des Segments Hochwasserschutz für die Abflüsse der betrachteten Niederschlagsereignisse am Pegel Vogt-Kölln-Straße.

Niederschlagsereignis	Scheitelabfluss [m³/s]	
	Schlechtester Wert (Teilindex 1)	Bester Wert (Teilindex 5)
T ₅	3,01	2,36
T ₃₀	4,71	3,52
T ₁₀₀	5,82	4,54
Juli 2002	3,9	3,07

Segment Biotopqualität

Hinsichtlich des Segments Biotopqualität lassen sich im aktuellen Zustand des HRB Retentionsraum Mühlenau sechs unterschiedliche Biotoptypen finden (Tab. 10). Während die Biotoptypen ‚offenes Wasserrückhaltebecken mit Dauerstau‘ und ‚unbefestigte Straße/Feld- und Forstweg‘ geringe Biotopwerte aufweisen (1,4 und 1,0), sind die Biotopwerte der Biotoptypen ‚Feldgehölz nasser bis feuchter Standorte‘ (2,2), ‚Rohrglanzgrasröhricht‘ (3,0) und ‚Rohrkolbenröhricht‘ (3,0) deutlich höher. Den größten Biotopwert weist der Biotoptyp ‚(Weiden-)Gebüsch der Auen‘ mit einem Wert von 4,2 auf. Unter Berücksichtigung der Flächenanteile der Biotoptypen ergibt sich ein Teilindex der Biotopqualität von 2,6 für den HRB Mühlenau. Im Verhältnis zum ortsspezifisch maximal erreichbaren Teilindex (siehe Kapitel 4.2.2) ergibt sich für den IST-Zustand ein Teilindex von 3,4 bezüglich der Biotopqualität.

Tab. 10: Bewertung der Biotopqualität des IST-Zustandes. Die Klassifikation der Biotoptypen sowie Angaben zu GW, RL, FFH, GS und RE folgen Finck et al. (2017). Die Auenbindung der Biotoptypen wurde nach eigener Einschätzung klassifiziert.

Biotoptyp	GW	RL	FFH	GS	RE	AB	Biotopwert	Fläche (m ²)	Flächen-gewichteter Biotopwert	Habitatwert
Offenes Wasserrückhaltebecken mit Dauerstau	3	1	1	1		1	1,4	6789	9504,6	2,6
(Weiden-)Gebüsch der Auen	3	5	5	5	2	5	4,2	3085	12853,8	
unbefestigte Straße/Feld- und Forstweg	1	1	1	1		1	1,0	1057	1056,8	
Feldgehölz nasser bis feuchter Standorte	5	3	1	1	2	1	2,2	535	1159,9	
Rohrglanzgrasröhricht	3	3	5	5	1	1	3,0	7955	23863,9	
Rohrkolbenröhricht	3	3	5	5	1	1	3,0	7711	23134,0	
GW = Grundwasserabhängigkeit, RL = Gefährdung/Seltenheit, FFH = FFH-Status, GS = Gesetzlicher Schutz in Deutschland, RE = Regenerierbarkeit und AB = Auenbindung										

Segment Bodenwasserretention

Ausschlaggebend für die Wasserretention im Boden sind die Substrateigenschaften der Uferböden, die Größe der Uferböschung und die Überflutungshäufigkeit. Aufgrund der sandig-lehmigen Substrateigenschaften der Uferböden im IST-Zustand wird hier gemäß der in Kapitel 2.3.4 beschriebenen Klassen ein mittlerer Index von 3,5 für das Bewertungssegment der Wasserretention angesetzt.

Segment Stoffretention

Die Sedimentation wird durch ausgedehnte Röhrichtflächen unter Dauerstau und deren Position innerhalb des HRB gesteuert. Im IST-Zustand sind 60% der Beckensohle von Röhricht bewachsen. Diese Flächen befinden sich größtenteils am Einlass, Auslass und in den Uferbereichen. Für diese Situation wird ein Indexwert von 3,5 angesetzt.

Segment Kosten

Die niedrigsten Kosten entstehen für die Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ (Kapitel 4.1.1). Die Kosten für diese Gestaltungsvariante definieren also den Segmentwert 5,0 im Segment Kosten. Analog definieren die Kosten für das teuerste Szenario (‚Maximierung Schadstoffretention‘) den Segmentwert 1,0. Für Details zu den einzelnen Kostenpunkten für die jeweiligen Szenarien sei auf Kapitel 4.2 verwiesen. Es ergibt sich abschließend folgende Skala für die Bewertung der Kosten (Tab. 11).

Tab. 11: Ortsspezifische EUFRI-Skala für das Segment Kosten bei einen Abschreibungszeitraum von 80 Jahren.

Index Kosten	1	2	3	4	5
Kosten pro Jahr [€]	112.906	89.009	65.111	41.214	17.316

Zur Bestimmung des Indexwerts Kosten für den IST-Zustand sind die notwendigen Maßnahmen in Tab. 12 aufgelistet. Die Kosten für Gewässerunterhaltung und Mahd sind direkt aus der Haushaltsunterlage zum HRB Retentionsraum Mühlenau entnommen. Die regelmäßig abzutragende Schlammmenge ermittelt sich aus dem derzeit auf der Fläche vorhandenen Schlammvolumen, welches sich in einem Zeitraum von ca. 9 Jahren angelagert hat. Gemäß der Bewertungsskala ergibt sich ein EUFRI-Wert von 4,2 für die Kosten im IST-Zustand.

Tab. 12: Kosten des HRB Retentionsraum Mühlenau im IST-Zustand.

	Anzahl Einheiten	Einheit	Kosten pro Einheit [€]	Kosten pro Maßnahme [€]	Häufigkeit Maßnahme pro Jahr	Kosten pro Jahr [€]
Unterhaltungsmaßnahmen						
Gewässerunterhaltung	260	m	4,50	1.170,00	1,00	1.170,00
Mahd Retentionsfläche	13.600	m ²	0,10	1.360,00	0,33	453,33
Mahd Böschung	7.100	m ³	0,40	2.840,00	0,33	946,67
Schlammabtrag (belastet Z2)	1.540	m ³	200,00	308.000,00	0,11	34.222,22
Summe						36.792,22

Segment Naherholung

Im derzeitigen Zustand des HRB Retentionsraum Mühlenau ist eines der fünf Naherholungselemente vorhanden (keine Betonbauwerke), sodass ein EUFRI-Wert von 1,8 erreicht wird.

Bei gleichwertiger Betrachtung aller Segmente ergibt sich die in Abb. 27 dargestellte Gesamtbewertung des IST-Zustandes mit einem Index von 3,0.

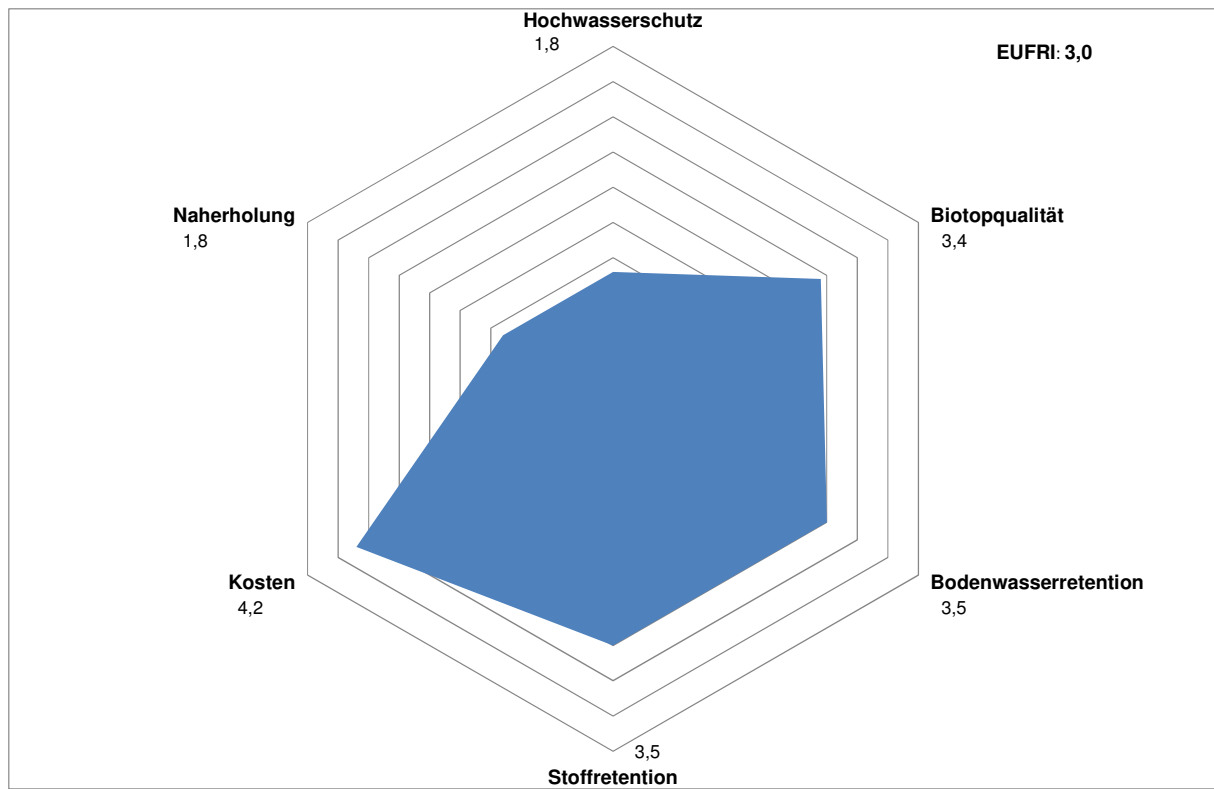


Abb. 27: EUFRI-Bewertung für das HRB Retentionsraum Mühlenau des IST-Zustandes.

4 Ergebnisse

4.1 Gestaltungsvarianten mit fachspezifischer Zielsetzung

Die Umsetzungsmöglichkeiten der fachspezifischen Ziele, die für die Umgestaltung des HRB Retentionsraum Mühlenau relevant sind, werden zunächst einzeln betrachtet. Dafür werden Gestaltungsvarianten für ausgewählte Segmente erstellt. In diesem Fall wurden drei verschiedene Varianten für jeweils unterschiedliche, einfache Zielsetzungen entwickelt: ‚Maximierung Hochwasserschutz‘, ‚Maximierung Biotopqualität‘ und ‚Maximierung Stoffretention‘. Wie in Kapitel 2.4 beschrieben, beinhaltet die Gestaltung dieser Varianten die Erstellung eines Geländemodells. Darauf basierend findet die Anpassung der Wasserbauwerke zur Wasserstandsregulierung statt, um zum einen einen besseren Hochwasserschutz zu ermöglichen und zum anderen die gewünschte ökologische Gestaltung zu erreichen.

Im Fokus dieser Untersuchung liegen Hochwasserschutz und Ökologie, daher werden Planungen für das EUFRI-Segment Naherholung nur in der schlussendlich entwickelten Kombinationsvariante berücksichtigt.

4.1.1 Maximierung Hochwasserschutz

Aus Sicht des Hochwasserschutzes sind zwei Faktoren entscheidend, um die maximale Absenkung des Hochwasserscheitels zu erreichen. Zum einen der zur Verfügung stehende Stauraum und zum zweiten die effektive Nutzung dieses Stauraums. Die Absenkung des Hochwasserscheitels im Vorfluter wird am Pegel Vogt-Kölln-Straße überprüft.

Zur Maximierung des Stauraums wird die gesamte Fläche des Flurstücks auf ein Geländeniveau von NHN +8,45 m abgesenkt, das laut Langzeitmodellierung des IST-Zustandes zu 80 % der Zeit über dem Wasserstand des Vorfluters Mühlenau am Auslass des Beckens liegt. Der Auslass mit einem iterativ ermittelten Durchmesser von DN 130 liegt auf gleichem Niveau. Die Böschung des HRB wird steil mit einem Verhältnis von 1 : 2 angelegt. Die ökologische Gestaltung wird auf eine flächendeckende Grasfläche ohne Gehölze reduziert, um das Retentionsvolumen nicht zu mindern und den Unterhaltungsaufwand durch eine jährliche Mahd möglichst gering zu halten.

Das HRB wird erst mit Wasser beaufschlagt, wenn der Abfluss im Bereich des Einlasses $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ überschreitet. Dieser Wert wird statistisch häufiger als zweimal im Jahr überschritten. Es erfolgt dann ein Abschlag in das Becken über ein festes Wehr mit einer Höhe von NHN +9,85 m. So wird das HRB als Trockenbecken gestaltet, weil der Stauraum nur bei größeren Ereignissen in Anspruch genommen wird.

Der Erhalt des Gerinnes im HRB Retentionsraum Mühlenau, das als Ausgleichsmaßnahme angelegt wurde, wird durch einen Grundablass mit DN 100 im Einlasswehr gewährleistet. Eine Rückstauklappe verhindert einen Volumenstrom aus dem Becken in den Oberlauf der Mühlenau. Der Volumenstrom von $0,04$ bis $0,06 \text{ m}^3/\text{s}$ in das HRB wird durch einen bereits oben beschriebenen Grundablass am Auslass des HRB wieder in die Mühlenau im Unterlauf abgegeben. Der Grundablass am Auslasswehr ist mit DN 130 dimensioniert und ebenfalls mit einer Rückstauklappe versehen. Damit ist eine langsame Entleerung des Beckens nach einem Hochwasserereignis gegeben. Die Oberkante des Wehrs am Auslass des HRB ist so ausgelegt, dass sie bei einem Wasserstand von NHN +9,65 cm

($V = 30.397 \text{ m}^3$) überströmt wird, um das HRB zu entlasten. Die Breite des Wehres am Auslass beträgt 10 m, um einen großen Volumenstrom zur Entlastung des HRB zu gewährleisten. Dadurch kommt es auch bei einem 100-jährlichen Niederschlag nicht zu einem Überlauf vom HRB in die Kollau. Der Überlauf vom HRB in die Kollau über den Kollauwanderweg erfolgt ab einem Wasserstand von NHN +987 cm. Das Volumen des Stauraumes des HRB wird dadurch von ca. 20.700 m^3 am Überlauf im IST-Zustand auf gut 42.000 m^3 mehr als verdoppelt.

An der Verzweigung zur alten Mühlenau wird das aktuelle Holzschütz durch ein ähnliches Bauwerk ersetzt. Im Unterschied zur jetzigen Öffnung, wird die neue Öffnung an der Gewässersohle platziert, um eine Fisch- und Sedimentdurchgängigkeit zu gewährleisten. Der Durchlass wird zudem auf 1,4 m verbreitert. Damit lässt das Bauwerk einen maximalen Abfluss von $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ in die alte Mühlenau zu. Bei Überschreitung dieses Abflusses kommt es neben dem dauerhaften Zufluss in das HRB Retentionsraum Mühlenau zu einem zusätzlichen Einlass über die Wehrschwelle. Bei sehr geringen Abflüssen ($<0,04 \text{ m}^3/\text{s}$) in der Mühlenau kommt es an der Verzweigung zu einer Abflussaufteilung zu ca. gleichen Anteilen in die alte Mühlenau und den HRB Mühlenau, da beide Durchlässe auf der gleichen Höhe liegen. So kann die Durchgängigkeit in beiden Gewässern gewährleistet werden.

4.1.2 Maximierung Biotopqualität

Bei der Gestaltung zur Maximierung der Biotopqualität (Abb. 28, Tab. 13) bleibt ein Großteil der Vegetationsstrukturen des HRB Retentionsraum Mühlenau erhalten, da diese einen erheblichen Beitrag zur Habitatvielfalt des HRB leisten. Lediglich im westlichen Bereich des HRB werden neue Vegetationsstrukturen etabliert. Neben der nord- und südwestlichen Böschung wird auch ein Teil des Röhrichts, welches hier durch *Typha latifolia* geprägt ist, umgestaltet. Als neue Vegetationsstruktur wird an der westlichen Böschung ein mesophiles Grünland mit einem Anteil von Trockenrasenarten entwickelt (Zone 10). Anstatt des Röhrichts werden in der Sohle des HRB ein Kleinseggenried (Zone 11) und eine Feuchtwiese (Zone 12) mit kleinräumig eingestreuten Bereichen mit Flutrasen (Zone 13) etabliert. Diese kurzrasigen Vegetationsstrukturen ergänzen die ansonsten dominierenden, hochwüchsigen Vegetationsstrukturen, so dass die Habitatvielfalt durch diese Umgestaltung zusätzlich gesteigert wird. In dem Kleinseggenried (Zone 11) und der Feuchtwiese (Zone 12) ist die Anlage von zwei bis drei Temporärgewässern (Tümpeln; Zone 14) für die Fauna wünschenswert. Potentiell könnten sich in den Temporärgewässern Plattbauchlibelle (*Libellula depressa*), Kleine Pechlibelle (*Ischnura pumilio*), Laubfrosch (*Hyla arborea*) oder Kreuzkröte (*Bufo calamita*) ansiedeln. In zu entwickelnden Bereichen wird der Weg (Zone 4) entsprechend der benachbarten Zonen entwickelt, so dass dieser als Übergangsbereich zwischen den Zonen fungiert.

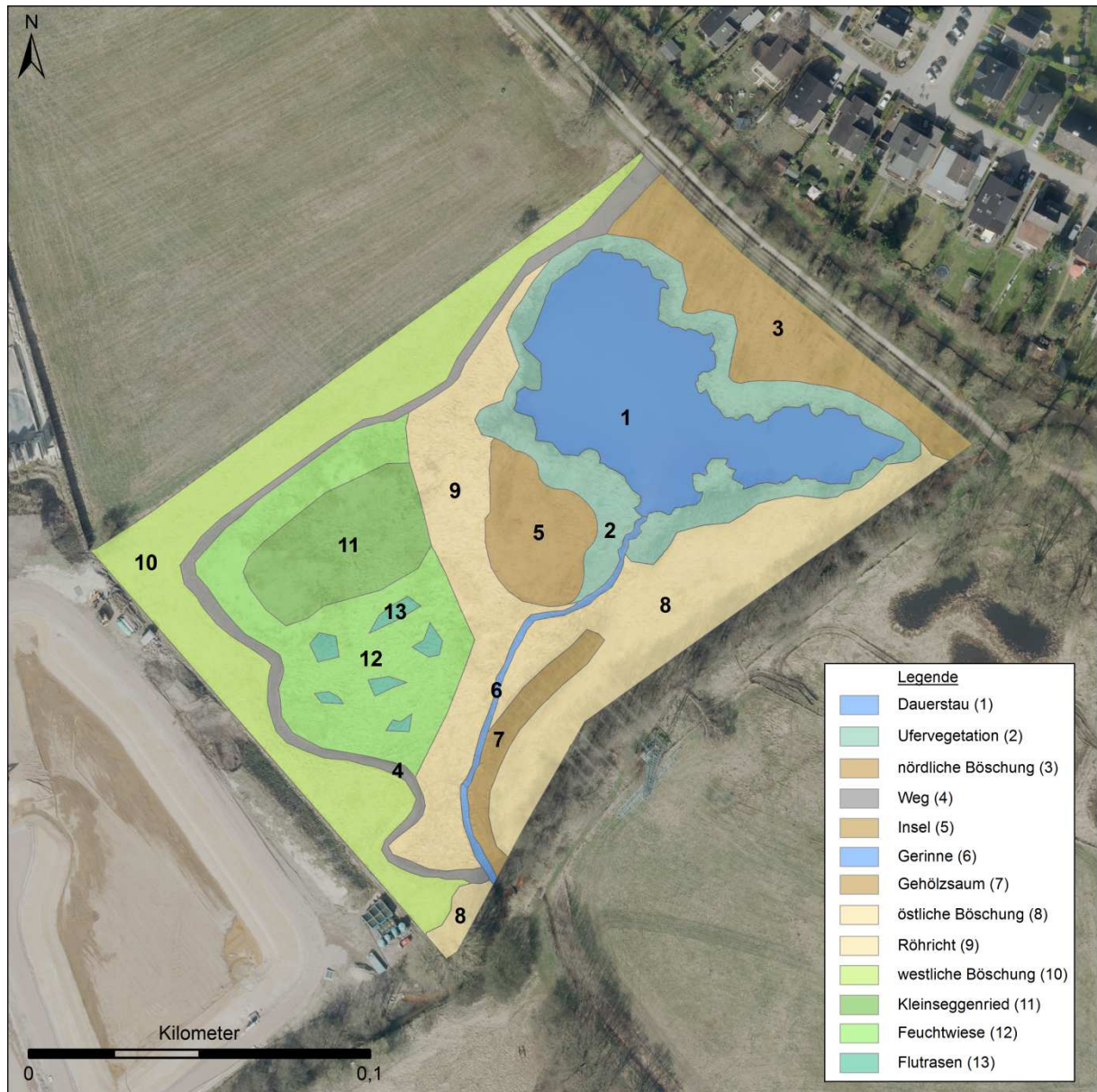


Abb. 28: Zonen des HRB Retentionsraum Mühlenau entsprechend der Variante ‚Maximierung der Biotopqualität‘. Temporärgewässer in den Zonen 11 und 12 sind nicht separat dargestellt (Kartengrundlage LGV 2018).

Tab. 13: Übersicht der Zonen des HRB Retentionsraum Mühlenau entsprechend der Variante ‚Maximierung Biotopqualität‘. Angegeben sind die Zonennummer, eine Kurzbeschreibung der Zone und die Angabe, ob die Zone im Retentionsraum aktuell vorhanden (Bestand) oder zu entwickeln (Entwicklung) ist.

Nr.	Zone	Beschreibung	Bestand oder Entwicklung
1	Dauerstau	dauerhaft eingestauter Bereich mit einer geringen Wassertiefe	Bestand
2	Ufervegetation	Röhricht- und Sumpfpflanzenvegetation direkt an den Dauerstau angrenzend (Übergänge z. T. fließend); kleinräumig auch Großseggenriede vorhanden	Bestand
3	nordöstliche Böschung	Gehölzvegetation mit z.T. stark ruderal ausgeprägter Krautschicht; entlang des Kollauwanderweges möglicherweise abweichende Gehölz- und Krautschichtzusammensetzung	Bestand
4	Weg	unbefestigter, aber bewachsener Arbeits- und Schauweg, welcher 1× im Jahr gemäht wird; im Bereich der angrenzenden Umgestaltungen (Zone 10, 11 und 12) stellt der Weg Übergangsbereiche der verschiedenen Vegetationstypen dar und sollte dementsprechend entwickelt werden	Bestand und Entwicklung
5	Insel	Bereich mit höherer Geländeoberfläche, in der sich auf Grund ausbleibender Überstauung Gehölze etablieren konnten; Röhricht in der Krautschicht	Bestand
6	Gerinne	planfestgestelltes Gerinne, welches den Retentionsraum durchquert	Bestand
7	Gehölzsaum	schmäler, wahrscheinlich angepflanzter Gehölzsaum	Bestand
8	südöstliche Böschung	Böschung und angrenzende Bereiche mit Röhricht; z. T. durch angrenzende Gehölze beschattet	Bestand
9	Röhricht	Röhricht unterschiedlicher Ausprägung	Bestand
10	Nord- und südwestliche Böschung	mesophiles Grünland mit Anteilen von Trockenrasenarten	Entwicklung
11	Kleinseggenried	aus Kleinseggen und Binsen bestehendes Ried	Entwicklung
12	Feuchtwiese	Feuchtwiese mit profilierter Sohle; in die kleinräumig Flutrasen eingestreut ist (Übergänge fließend)	Entwicklung
13	Flutrasen	mehrere kleinräumige Bereiche mit Flutrasen, die in die Feuchtwiese eingestreut sind (Übergänge fließend)	Entwicklung
14	Temporärgewässer	Kleine, zeitweise wasserführende Geländemulden; eingestreut in das Kleinseggenried und die Feuchtwiese	Entwicklung

Um im westlichen Bereich der Sohle eine kurzrasige, wechselfeuchte Vegetation (Zone 11 bis 13) zu entwickeln, werden die hydrologischen Bedingungen in diesem Bereich entsprechend den in Tab. 14 genannten Kennwerten für die jeweiligen Zonen durch eine Veränderung des Geländes eingestellt. Für das Kleinseggenried (Zone 11) ist ein Abtrag des nährstoffreichen Bodens durchzuführen. Um die Habitatheterogenität im Bereich der Sohle zusätzlich zu erhöhen, wird die Sohle mit Mulden mit Höhenunterschieden von bis zu 50 cm angelegt. Die nord- und südwestliche Böschung (Zone 10) wird mit einer Böschungsneigung von < 1 : 2 eingerichtet. Es erfolgen keine Einsaaten und Anpflanzungen der neu einzurichtenden Zonen.

Tab. 14: Hydrologische Kennwerte (Min und Max) für Kleinseggenriede, Feuchtwiesen und Flutrasen auf Niedermoorstandorten in Schleswig-Holstein (nach Schrautzer, 2004). Angeben sind der mittlere Flurabstand pro Jahr in cm, die Überflutungsdauer pro Jahr in % und in Tagen sowie der Wechselfeuchteindex (nach Scholle & Schrautzer, 1993 (Scholle & Schrautzer, 1993)). Letztere beschreibt die Häufigkeit und Amplitude der Grundwasserstands-Schwankungen eines Standorts. Angaben für den mittleren Flurabstandes wurden leicht angepasst.

Nr.	Zone	mittlerer Flurabstand pro Jahr [cm]	Überflutungsdauer pro Jahr		Wechselfeuchteindex
			in Prozent	in Tagen	
11	Kleinseggenried	12 bis -3	4 bis 35	1 bis 10	1 bis 9
12	Feuchtwiese	22 bis 12	5 bis 31	1 bis 8	16 bis 52
13	Flutrasen	75 bis 22	4 bis 28	1 bis 8	30 bis 156

Das zukünftige Management des HRB sieht eine einmalige Mahd pro Jahr der zu entwickelnden Zonen (Zone 10 bis 13) sowie des zu erhaltenden Röhrichts (Zone 9) vor. Die Mahd soll hierbei mosaikartig durchgeführt werden und das Mahdgut aus dem HRB entnommen werden. Durch die Mahd wird das Aufkommen einer hochwüchsigen Vegetation verhindert und zudem werden Nährstoffe aus dem System entfernt. Darüber hinaus sollten vorhandene Gehölze in den anderen Zonen ca. alle 10 Jahre auf den Stock gesetzt werden, wobei der Gehölzrückschnitt ebenfalls mosaikartig erfolgen sollte. Das HRB ist nach Bedarf zu entschlammen, wobei auch hier die Entschlammung mosaikartig zu erfolgen hat. Sollten sich die neu eingerichteten Zonen (Zonen 10–13) nicht entsprechend entwickeln, ist eine Mahdgutübertragung von geeigneten Spenderflächen aus dem Umland durchzuführen.

Die Beckengeometrie des HRB wird entsprechend der Anforderungen an eine verbesserte Biotopqualität geändert. Für die Einstauhäufigkeit und -höhe ergeben sich insbesondere für die Vegetation in den südlichen Zonen 11, 12 und 13 folgende Randbedingungen. So sollen die Zonen in einer Häufigkeit von mindestens 4 % bis maximal 30 % der Tage im Jahr überschwemmt werden. Andererseits soll die Wassertiefe in den Randbereichen so niedrig wie möglich sein. Diese Randbedingungen werden durch die Zu- und Ablässe des HRB im IST-Zustand nicht erreicht. Daher wurde in dieser Gestaltungsvariante zur Maximierung der Biotopqualität das Auslassbauwerk angepasst. Als Auslassbauwerk wird ein Wehr mit einer Wehrkrone auf einer Höhe von NHN +8,85 m und einer Breite von 1,5 m angelegt. Für den Niedrigwasserabfluss durch das Gerinne des HRB wird ein Durchlass mit DN 80 vorgesehen. Durch diesen begrenzten Abfluss wird bereits bei kleinen Ereignissen das Retentionsvolumen im Becken genutzt. Durch die Wehrschwelle bei einer Höhe von

NHN +8,85 m werden die Zonen 11, 12 und 13 mehrmals jährlich überflutet. Der Einlass in das Becken wird bei dieser Gestaltungsvariante im Vergleich zum IST-Zustand nicht verändert.

Durch die regelmäßig wechselnden Wasserstände, die zur Entwicklung der gewünschten Vegetationsstruktur nötig sind, sind keine negativen Auswirkungen auf die Fauna zu erwarten. Auch wenn kurzzeitig veränderte Umstände herrschen, ist die Maßnahme der Habitatförderung durch wechselnde Wasserstände auf lange Sicht auch gut für den Faunabestand.

4.1.3 Maximierung Stoffretention

Die Ablagerung und Festlegung von Sedimenten und Schwebstoffen wird von der Strömungsgeschwindigkeit und Verweilzeit des Wassers im HRB beeinflusst. Für eine optimale Ausnutzung der Beckenfläche hinsichtlich der Stoffretention sollte die gesamte Beckenfläche als Röhrichtfläche im Dauerstau (Bodenoberfläche 10–50 cm unter Dauerwasserstand) angelegt werden, so dass auch unabhängig von Hochwasserereignissen eine hohe Verweilzeit des Wassers im Becken bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten gegeben ist. Dies generiert durch die natürliche Filterfunktion von Röhrichten die größtmögliche Ablagerung von Sedimenten, an denen Schadstoffe gebunden vorliegen. Der Dauerwasserstand wird durch ein Aulassbauwerk kontrolliert und könnte nach starker Verschlammlung leicht angehoben werden. Abschnittsweise Entschlammungen sollten durchgeführt werden, wenn der Stauraum des Beckens aufgrund von Sedimentanreicherungen stark vermindert ist.

In dieser Gestaltungsvariante ändert sich die Beckengeometrie durch einen Aushub des Beckens auf eine einheitliche Sohle bei NHN +8,50 m. Um eine dauerhafte Wassertiefe von ca. 20 cm im Becken zu gewährleisten, wird die Sohlgleite im Auslass des Beckens auf NHN +8,65 m erhöht. Die Wehrbreite von ca. 1,8 m des Wehrs und das Holzbauwerk zur alten Mühlenau bleiben bei dieser Gestaltungsvariante wie im IST-Zustand erhalten.

4.2 EUFRI-Bewertung der fachspezifischen Gestaltungsvarianten

Wie für den IST-Zustand, wird jede Gestaltungsvariante anhand des ortsspezifischen EUFRI bewertet.

4.2.1 Bewertung der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘

Segment Hochwasserschutz

Die in Kapitel 4.1.1 beschriebene Gestaltungsvariante stellt die effektivste Geländegestaltung bezüglich des Hochwasserschutzes dar. Das Relief wird so verändert, dass der maximal mögliche Stauraum auf dem Flurstück erreicht wird. Iterativ wird die Gestaltung der Zu- und Auslassbauwerke solange angepasst, bis die Ergebnisse des N-A-Modells eine maximale Absenkung des Hochwasserscheitels zeigen. Die so ermittelte Gestaltungsvariante wird dementsprechend mit dem ortsspezifischen EUFRI-Indexwert von 5,0 beurteilt.

Segment Biotopqualität

Bei der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ finden sich zwei unterschiedliche Biotoptypen im HRB Retentionsraum Mühlenau (Tab. 15). Beide Biotoptypen weisen mit Werten von 3,7 (Artenreiche, frische Mähwiese in tieferen Lagen) bzw. 4,3

(Waldfreie, oligo- bis mesotrophe Niedermoore und Sümpfe) hohe Biotopwerte auf. Unter Berücksichtigung der Flächenanteile beider Biotoptypen ergibt sich ein Habitatwert von 4,3 für den HRB Mühlenau. Dieser Wert wird jedoch durch das Vorhandensein von lediglich zwei verschiedenen Biotoptypen um einen Punkt abgewertet, so dass sich für das HRB Retentionsraum Mühlenau ein Habitatwert von 3,3 ergibt. Im Verhältnis zum ortsspezifisch maximal erreichbaren Habitatwert (siehe Kapitel 4.2.2) ergibt sich für die Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ ein Habitatwert von 4,3.

Tab. 15: Bewertung der Biotopqualität der Variante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘. Die Klassifikation der Biotoptypen sowie Angaben zu GW, RL, FFH, GS und RE folgen Finck et al. (2017). Die Klassifizierung der Auenbindung der Biotoptypen beruht auf eigener Einschätzung. Aufwertung (+1) oder Abwertung (-1) des Habitatwertes bei einer höheren bzw. niedrigeren Anzahl verschiedener Biotoptypen im Vergleich zur Variante ‚Minimierung Unterhaltungskosten‘ (IST-Zustand).

Biotoptyp	GW	RL	FFH	GS	RE	AB	Biotopwert	Fläche [m ²]	Flächen-gewichteter Biotopwert	Habitatwert	Bonus/Malus [+1/-1]
Artenreiche, frische Mähwiese in tieferen Lagen	3	5	5	5	3	1	3,7	1.855	6.801,6	4,3	3,3
Waldfreie, oligo- bis mesotrophe Niedermoore und Sümpfe	5	5	5	5	5	1	4,3	24.751	107.254,5		
GW = Grundwasserabhängigkeit, RL = Gefährdung/Seltenheit, FFH = FFH-Status, GS = Gesetzlicher Schutz in Deutschland, RE = Regenerierbarkeit und AB = Auenbindung											

Segment Bodenwasserretention

In der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ werden keine Veränderungen der Substrateigenschaften der Uferböschung vorgenommen. Daher wird das Segment Bodenwasserretention für diese Variante, wie im IST-Zustand, mit einem Teilindex von 3,5 bewertet.

Segment Stoffretention

Die Röhrichtflächen werden in der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ entfernt und somit die Sedimentation auf das minimal mögliche beschränkt. Deshalb ergibt sich der niedrigste Teilindex für die Stoffretention von 1,0.

Segment Kosten

Zur Bestimmung des Teilindex Kosten für die Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ sind die notwendigen Maßnahmen in Tab. 16 aufgelistet.

Tab. 16: Kosten der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ bei einem Abschreibungszeitraum von 80 Jahren.

	Anzahl Einheiten	Einheit	Kosten pro Einheit [€]	Kosten pro Maßnahme [€]	Häufigkeit Maßnahme pro Jahr	Kosten pro Jahr [€]
Unterhaltungsmaßnahmen						
Gewässerunterhaltung	260	m	4,50	1.170,00	1	1.170,00
Mahd Retentionsfläche	27.280	m ²	0,10	2.728,00	0,33	909,33
Herstellungsmaßnahmen						
Vegetationsdecke abräumen	27.280	m ²	3,00	81.840,00		1.023,00
Bodenabtrag (unbelastet)	16.390	m ³	45,00	737.550,00		9.219,38
Schlammabtrag (belastet Z2)	1.700	m ³	200,00	340.000,00		4.250,00
Bodenauftrag	62	m ³	33,36	2.068,32		25,85
Wehr Auslass	1	Stück	25.000,00	25.000,00		312,50
Wehr Einlass	1	Stück	25.000,00	25.000,00		312,50
Durchlass	1	Stück	7.500,00	7.500,00		93,75
Summe						17.316,31

Zur Herstellung wird zunächst die Vegetationsdecke komplett entfernt. Die Schaffung von zusätzlichem Stauraum erfordert einen Bodenabtrag von ca. 16.000 m³, nur ein geringer Anteil wird vor Ort wieder eingebaut. Zusätzlich müssen 1.700 m³ Schlamm der Belastungsstufe Z2 entsorgt werden. Zur wasserbaulichen Steuerung wird je ein Einlass-, Durchlass- und Auslassbauwerk benötigt.

Bei den regelmäßigen Unterhaltungsmaßnahmen werden, wie im IST-Zustand, 1.170 € für die allgemeine Gewässerunterhaltung veranschlagt. Die gesamte Retentionsfläche sollte alle drei Jahre gemäht werden, was jährliche Kosten von ca. 900 € verursacht. Eine regelmäßige Entschlammung ist für diese Gestaltungsvariante nicht vorgesehen. Aufgrund der Abwesenheit von Gehölzen fallen ebenfalls keine Schnitтарbeiten an.

Diese Gestaltungsvariante ist die kostengünstigste der betrachteten Varianten, erhält also den Teilindex 5,0 für das Segment Kosten.

Segment Naherholung:

Bezüglich des Naherholungswerts sind in der Gestaltungsvariante keine Änderungen im Sinne des Teilindex im Vergleich zum IST-Zustand eingeplant, daher ergibt sich ein Wert von 1,8 für das Segment Naherholung.

4.2.2 Bewertung der Gestaltungsvariante ‚Maximierung der Biotopqualität‘

Segment Hochwasserschutz

Bei der in Kapitel 4.1.2 beschriebenen Gestaltungsvariante zur Maximierung der Biotopqualität sind nur wenige Veränderungen des Reliefs vorgesehen. Die Effektivität hinsichtlich des Hochwasserschutzes ist geringer als im IST-Zustand. Es ergibt sich der Indexwert von 1,7 für das Segment Hochwasserschutz.

Segment Biotopqualität

In der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Biotopqualität‘ finden sich elf unterschiedliche Biotoptypen im HRB Retentionsraum Mühlenau (Tab. 17). Während die Biotoptypen ‚Offenes Wasserrückhaltebecken mit Dauerstau‘ und ‚unbefestigte Straße/Feld- und Forstweg‘ geringe Biotopwerte aufweisen (1,4 und 1,0), weisen die restlichen Biotoptypen deutlich höhere Werte auf. Die höchsten Biotopwerte finden sich bei den Biotoptypen ‚(Weiden-)Gebüsch der Auen‘ mit 4,2 und ‚Waldfreie, oligo- bis mesotrophe Niedermoore und Sümpfe‘ mit 4,3. Unter Berücksichtigung der Flächenanteile der Biotoptypen ergibt sich ein Habitatwert von 2,9 für das HRB Retentionsraum Mühlenau. Dieser Wert wird durch das Vorhandensein von insgesamt elf verschiedenen Biotoptypen aufgewertet, so dass sich für das HRB ein Habitatwert von 3,9 ergibt. Da die Variante ‚Maximierung Biotopqualität‘ den maximal möglichen Zustand des HRB Retentionsraum Mühlenau in Bezug zur Biotopqualität darstellt, gilt der Wert von 3,9 als maximal erreichbarer Habitatwert. In dem verwendeten fünfstufigen Teilindex des EUFRI wird der Wert somit mit einem Wert von 5,0 ersetzt.

Tab. 17: Bewertung der Biotopqualität der Variante ‚Maximierung Biotopqualität‘. Die Klassifikation der Biotoptypen sowie Angaben zu GW, RL, FFH, GS und RE folgen Finck et al. (2017). Die Klassifizierung der Auenbindung der Biotoptypen beruht auf eigener Einschätzung. Aufwertung (+1) oder Abwertung (-1) des Habitatwertes bei einer höheren bzw. niedrigeren Anzahl verschiedener Biotoptypen im Vergleich zur Variante ‚Minimierung Unterhaltungskosten‘ (IST-Zustand).

Biotoptyp	GW	RL	FFH	GS	RE	AB	Biotopwert	Fläche [m ²]	Flächen-gewichteter Biotopwert	Habitatwert	Bonus/Malus [+1/-1]
Offenes Wasserrückhaltebecken mit Dauerstau	3	1	1	1		1	1,4	6789	9504,6	2,9	3,9
(Weiden-)Gebüsch der Auen	3	5	5	5	2	5	4,2	3085	12853,8		
unbefestigte Straße/Feld- und Forstweg	1	1	1	1		1	1,0	1057	1056,8		
Feldgehölz nasser bis feuchter Standorte	5	3	1	1	2	1	2,2	535	1159,9		
Rohrglanzgrasröhricht	3	3	5	5	1	1	3,0	3627	10879,9		
Rohrkolbenröhricht	3	3	5	5	1	1	3,0	2662	7986,0		
Artenreiche, frische Mähwiese in tieferen Lagen	3	5	5	5	3	1	3,7	4328	15869,4		
Waldfreie, oligo- bis mesotrophe Niedermoore und Sümpfe	5	5	5	5	5	1	4,3	1577	6832,6		
sonstiges extensives Feucht- und Nassgrünland in tieferen Lagen	5	5	1	5	3	1	3,3	2904	9681,6		
Naturnaher extensiv oder nicht genutzter Flutrasen	3	5	1	5	1	1	2,7	225	598,9		
Mesotropher Tümpel	3	5	5	5	1	1	3,3	344	1145,2		
GW = Grundwasserabhängigkeit, RL = Gefährdung/Seltenheit, FFH = FFH-Status, GS = Gesetzlicher Schutz in Deutschland, RE = Regenerierbarkeit und AB = Auenbindung											

Segment Bodenwasserretention

In der Gestaltungsvariante zur Maximierung der Biotopqualität findet eine leichte Verkleinerung der Uferböschung statt. Dadurch verringert sich der Teilindex des Segments Bodenwasserretention auf 3,0.

Segment Stoffretention

Die Röhrichtfläche unter Dauerstau wird auf 40 % verkleinert, wodurch sich ein Teilindex von 2,5 für das Segment Stoffretention ergibt.

Segment Kosten

Zur Bestimmung des Teilindex „Unterhaltungskosten“ für das Szenario ‚Maximierung Biotopqualität‘ sind die notwendigen Maßnahmen und deren Kosten in Tab. 18 aufgelistet.

Tab. 18: Kosten der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Biotopqualität‘ bei einem Abschreibungszeitraum von 80 Jahren.

	Anzahl Einheiten	Einheit	Kosten pro Einheit [€]	Kosten pro Maßnahme [€]	Häufigkeit Maßnahme pro Jahr	Kosten pro Jahr [€]
Unterhaltungsmaßnahmen						
Gewässerunterhaltung	260	m	4,50	1.170,00	1,00	1.170,00
Mahd Retentionsfläche	9.621	m ²	0,10	962,07	1,00	962,07
Mahd (per Hand)	5.292	m ²	0,40	2.116,60	1,00	2.116,60
Gehölzschnitt	2.957	m ²	11,44	33.828,08	0,10	3.382,81
Schlammabtrag (belastet Z2)	2.314	m ³	200,00	462.700,00	0,10	46.270,00
Herstellungsmaßnahmen						
Bodenabtrag (unbelastet)	112	m ³	45,00	5.017,50		62,72
Bodenauftrag	1.054	m ³	33,36	35.161,44		439,52
Durchlass	1	Stück	25.000,00	25.000,00		312,50
Summe						54.716,22

Durch Erdarbeiten wird eine profiliertere Fläche geschaffen und es werden Mulden angelegt. Zur wasserbaulichen Steuerung wird ein zusätzliches Durchlassbauwerk benötigt. Bei den regelmäßigen Unterhaltungsmaßnahmen werden, wie im IST-Zustand, 1.170 € für die allgemeine Unterhaltung veranschlagt. Die Mahd ist jährlich (mosaikartig) durchzuführen, wobei insbesondere die Teilfläche mit den Mulden per Hand gemäht werden muss, wodurch etwas höhere Kosten entstehen. Bezüglich der Entschlammungskosten ist bei einem Entschlammungsintervall von zehn Jahren jeweils mit ca. 2.300 m³ Schlammvolumen zu rechnen. Auf den knapp 3.000 m² großen Gehölzflächen sollten die Gehölze alle zehn Jahre auf den Stock gesetzt werden.

Für diese Gestaltungsvariante ergibt sich ein Kostenwert von 54.716,22 € pro Jahr, was einem Teilindex von 3,4 entspricht.

Segment Naherholung

Bezüglich des Naherholungswerts sind in der Gestaltungsvariante im Sinne des Teilindex keine wesentlichen Veränderungen im Vergleich zum IST-Zustand vorgesehen, daher ergibt sich ein Wert von 1,8 für das Segment Naherholung.

4.2.3 Bewertung der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Stoffretention‘

Segment Hochwasserschutz

Für die Gestaltungsvariante zur Maximierung der Stoffretention werden ca. 17.000 m³ Material abgetragen. Trotz Bewuchs durch Röhricht ergibt sich damit im Vergleich zum IST-Zustand ein großer Gewinn an Stauraum für den Hochwasserfall. So wird das Segment Hochwasserschutz für diese Gestaltungsvariante mit einem Teilindex von 3,7 bewertet.

Segment Biotopqualität

In der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Stoffretention‘ finden sich drei unterschiedliche Biotoptypen im HRB Retentionsraum Mühlenau (Tab. 19). Die enthaltenen Biotoptypen weisen mit Werten von 3,7 (Schilfröhricht und Artenreiche, frische Mähwiese in tieferen Lagen) und 4,3 (Waldfreie, oligo- bis mesotrophe Niedermoore und Sümpfe) hohe Biotopwerte auf. Unter Berücksichtigung der Flächenanteile der Biotoptypen ergibt sich ein Habitatwert von 3,7 für das HRB Retentionsraum Mühlenau. Dieser Wert wird jedoch durch das Vorhandensein von lediglich drei verschiedenen Biotoptypen abgewertet, so dass sich für das HRB Retentionsraum Mühlenau ein Habitatwert von 2,7 ergibt. Im Verhältnis zum maximal erreichbaren Habitatwert im HRB (siehe Kapitel 4.2.2) ergibt sich für das Szenario ‚Maximierung Stoffretention‘ ein ortsspezifischer Habitatwert von 3,5.

Tab. 19: Bewertung der Biotopqualität des Szenarios ‚Maximierung Stoffretention‘. Die Klassifikation der Biotoptypen sowie Angaben zu GW, RL, FFH, GS und RE folgen Finck et al. (2017). Die Klassifizierung der Auenbindung der Biotoptypen beruht auf eigener Einschätzung. Aufwertung (+1) oder Abwertung (-1) des Habitatwerts bei einer höheren bzw. niedrigeren Anzahl verschiedener Biotoptypen im Vergleich zum Szenario ‚Minimierung Unterhaltungskosten‘ (IST-Zustand).

Biototyp	GW	RL	FFH	GS	RE	AB	Biotopwert	Fläche [m ²]	Flächen- gewichteter Biotopwert	Habitatwert	Bonus/Malus [+1/-1]
Schilfröhricht	3	5	5	5	3	1	3,7	24901	91302,2	3,7	2,7
Waldfreie, oligo- bis mesotrophe Niedermoore und Sümpfe	5	5	5	5	5	1	4,3	209	903,9		
Artenreiche, frische Mähwiese in tieferen Lagen	3	5	5	5	3	1	3,7	617	2262,2		

GW = Grundwasserabhängigkeit, RL = Gefährdung/Seltenheit, FFH = FFH-Status, GS = Gesetzlicher Schutz in Deutschland, RE = Regenerierbarkeit und AB = Auenbindung

Segment Bodenwasserretention

In dieser Gestaltungsvariante wird eine optimale Ausnutzung der Wasserretention umgesetzt. Das Substrat der gesamten Uferböschung wird durch ein sandiges-humoses Substrat ausgetauscht, wodurch die Infiltration, Versickerung und die kurzzeitige Speicherung von Wasser erhöht wird. Dieses Szenario wird mit dem höchsten Teilindex von 5,0 bewertet.

Segment Stoffretention

Zur Maximierung der Stoffretention wird die Beckensohle mit 100 % Röhricht bewachsen und steht im Jahresverlauf mit 20–50 cm unter Dauerstau. Für dieses Bewertungssegment wird der höchste Teilindex von 5,0 angesetzt.

Segment Kosten

Zur Bestimmung des Teilindex „Unterhaltungskosten“ für die Gestaltungsvariante ‚Maximierung Stoffretention‘ sind die notwendigen Maßnahmen in Tab. 20 aufgelistet:

Tab. 20: Kosten der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Stoffretention‘ bei einem Abschreibungszeitraum von 80 Jahren.

	Anzahl Einheiten	Einheit	Kosten pro Einheit [€]	Kosten pro Maßnahme [€]	Häufigkeit Maßnahme pro Jahr	Kosten pro Jahr [€]
Unterhaltungsmaßnahmen						
Gewässerunterhaltung	260	m	4,50	1.170,00	1,00	1.170,00
Schlammabtrag (belastet Z2)	4.938	m ³	200,00	987.636,00	0,10	98.763,60
Herstellungsmaßnahmen						
Bodenabtrag (unbelastet)	15.350	m ³	45,00	690.750,00		8.634,38
Schlammabtrag (belastet Z2)	1.700	m ³	200,00	340.000,00		4.250,00
Bodenauftrag	212	m ³	33,36	7.072,32		88,40
Summe						112.906,38

Zur Erreichung einer hohen Stoffrückhaltefähigkeit ist eine große Schilf/Röhricht-Fläche unter Dauerstau vorgesehen, wozu 15.350 m³ Boden und 1.700 m³ Schlamm abgetragen werden müssen. Bei den regelmäßigen Unterhaltungsmaßnahmen ist neben der in allen Varianten vorgesehenen Gewässerunterhaltung eine regelmäßige Entschlammung notwendig. Aufgrund der gewollt hohen Akkumulationsraten in dieser Variante lagern sich jeweils knapp 5.000 m³ Schlamm in einem Zeitraum von zehn Jahren an. Die hohen Entschlammungskosten sind auch der Grund dafür, dass dieses Szenario mit einem Kostenwert von 112.906,38 € das kostenintensivste darstellt. Daraus ergibt sich ein EUFRI-Wert von 1,0.

Segment Naherholung

Bezüglich des Naherholungswerts sind in der Gestaltungsvariante im Sinne des Teilindex keine Änderungen im Vergleich zum IST-Zustand vorgesehen, daher ergibt sich ein Wert von 1,8 für das Segment Naherholung.

4.2.4 Zusammenfassung und Diskussion der EUFRI-Bewertungen der fachspezifischen Gestaltungsvarianten

Die EUFRI-Bewertungen aller Segmente bezüglich der beschriebenen Gestaltungsvarianten sind in Tab. 21 aufgeführt und in Abb. 29 bis Abb. 31 dargestellt.

Es wird ersichtlich, dass die Kosten im IST-Zustand bereits verhältnismäßig gering und damit schwierig zu reduzieren sind, alle anderen Segmente aber Potenzial zur Optimierung aufweisen. Gleichzeitig zeigt sich, dass sich ein effektiver Hochwasserschutz und eine hohe ökologische Wertigkeit nicht ausschließen.

Die Maximierung des Hochwasserschutzes stellt die kostengünstigste Gestaltungsvariante für das HRB Retentionsraum Mühlenau dar, die Maximierung von Stoff- und Bodenwasserretention dagegen die teuerste. Die hohen Kosten werden hier durch den Austausch des Substrates in den Böden der Uferböschung generiert.

Das Segment Biotopqualität weist insgesamt die besten Teilindizes auf. Die schlechtesten Bewertungen hat das Segment Naherholung, da es keine Berücksichtigung in den Gestaltungen gefunden hat. So bleiben die Werte ausgehend vom IST-Zustand immer gleich. Das am zweit schlechtesten bewertete Segment ist die Stoffretention. Das Optimum ist hier ein flächendeckender Röhrichtbestand in einer dauerhaft eingestauten Fläche. Diese Kombination steht im Gegensatz zu den Optima der anderen Gestaltungsvarianten (hohe Biotopqualität oder Trockenbecken) und wird daher im Verhältnis schlecht bewertet. Eine gleichzeitige Optimierung mehrerer Segmente ist aber möglich.

Bei gleichwertiger Betrachtung aller Segmente weist die Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ insgesamt die größte Verbesserung im Vergleich zum IST-Zustand auf, während sich bei der Maximierung der Biotopqualität hier eine minimale Verschlechterung zeigt. Die Verbesserung bei der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Stoffretention‘ ist relativ hoch und lässt sich darauf zurückführen, dass bei dieser Variante, wie bei der Maximierung des Hochwasserschutzes, die besten Werte für zwei Segmente (Stoffretention und Bodenwasserretention) erreicht werden.

Da in dieser Untersuchung der Fokus einerseits auf der Optimierung des Hochwasserschutzes liegt und andererseits die Biodiversität verbessert werden und die Funktion des HRB Retentionsraum Mühlenau als ökologische Ausgleichsmaßnahme nicht verloren gehen soll, wurde zur Erfassung des EUFRI folgende Wichtung vorgenommen. Als vorrangig betrachtete Segmente werden Hochwasserschutz und Biotopqualität mit einem Faktor von 0,25 versehen. So auch das Segment Kosten, da diese für die zuständigen Dienststellen das größte Problem darstellen (siehe Kapitel 4.3). Die Segmente Stoffretention und Naherholung werden mit 0,1 und Bodenwasserretention mit 0,05 multipliziert. Letztere bietet im Vergleich zum Stauraum nur minimalen Wasserrückhalt und wird deshalb vernachlässigt. So ergibt sich folgende Rechnung.

$\text{Hochwasserschutz} \times 0,25 + \text{Biotopqualität} \times 0,25 + \text{Stoffretention} \times 0,1 + \text{Bodenwasserretention} \times 0,05 + \text{Kosten} \times 0,25 + \text{Naherholung} \times 0,1 = \text{Gewichteter EUFRI.}$

Durch die Wichtung wird die Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ stark gesteigert, während für die ‚Maximierung Biotopqualität‘ eine leichte Aufwertung und für die Maximierung der Stoffretention eine Minderung resultiert (Tab. 21).

Tab. 21: EUFRI-Bewertungen inkl. der Teilindizes aller Gestaltungsvarianten.

EUFRI-Segment	Gestaltungsvarianten				Durchschnitt
	IST-Zustand	Maximierung HW-Schutz	Maximierung Biotopqualität	Maximierung Stoffretention	
Hochwasserschutz	1,8	5,0	1,7	3,7	3,1
Biotopqualität	3,4	4,3	5,0	3,5	4,1
Bodenwasserretention	3,5	3,0	3,5	5,0	3,8
Stoffretention	3,5	1,0	2,0	5,0	2,9
Kosten	4,2	5,0	3,4	1,0	3,4
Naherholung	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
EUFRI	3,0	3,4	2,9	3,3	3,2
EUFRI gewichtet	3,1	4,0	3,1	3,0	3,3

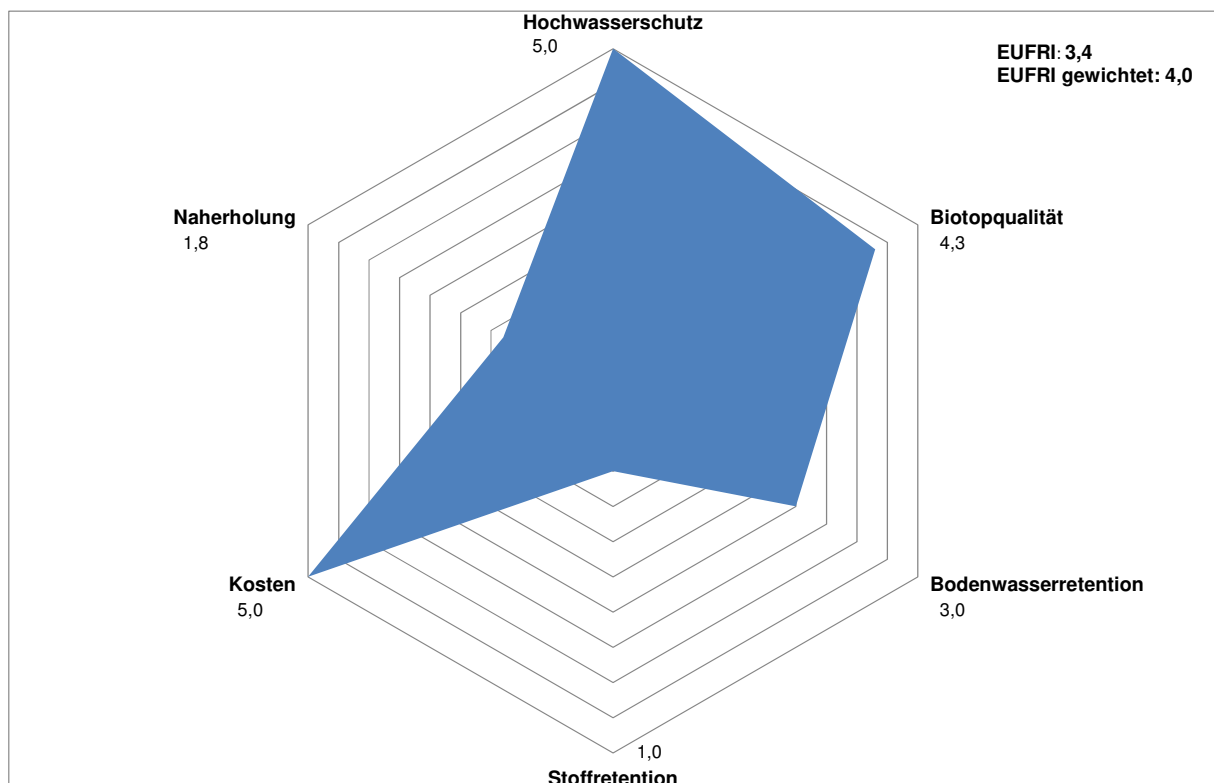


Abb. 29: EUFRI-Bewertung der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘.

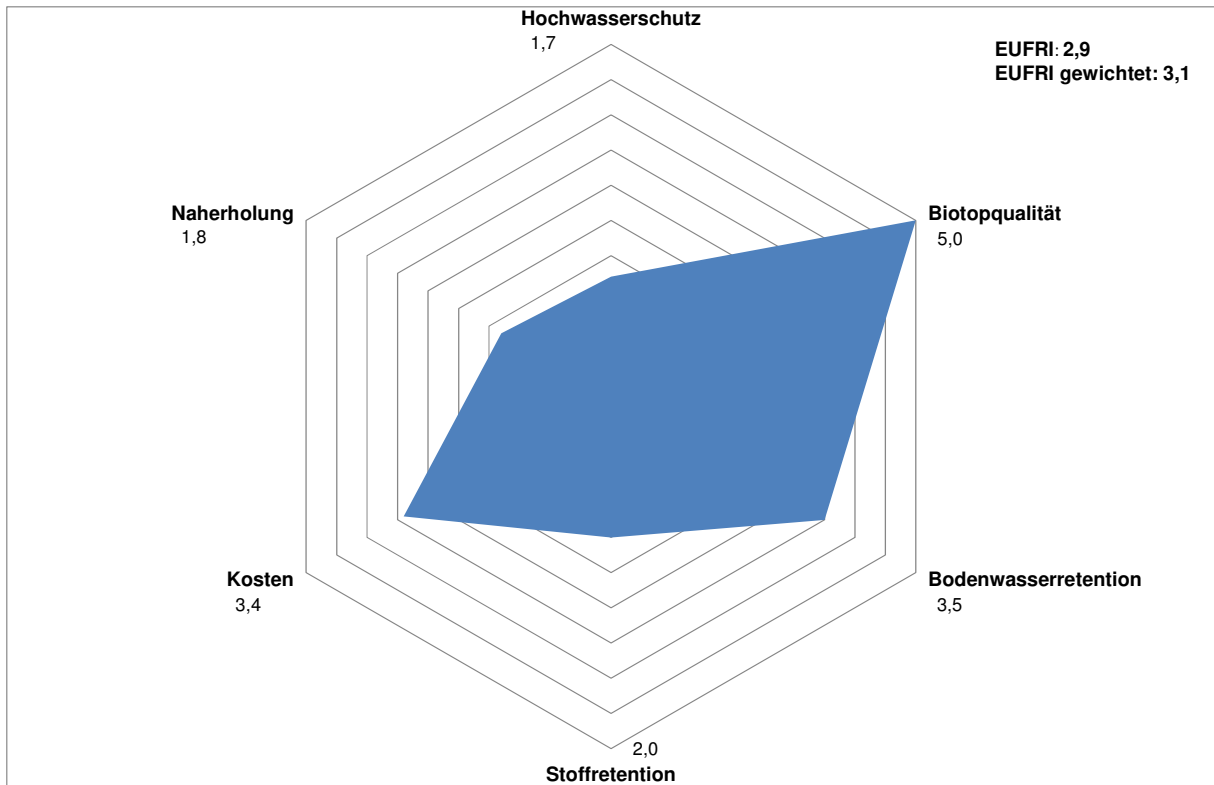


Abb. 30: EUFRI-Bewertung der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Biotopqualität‘.

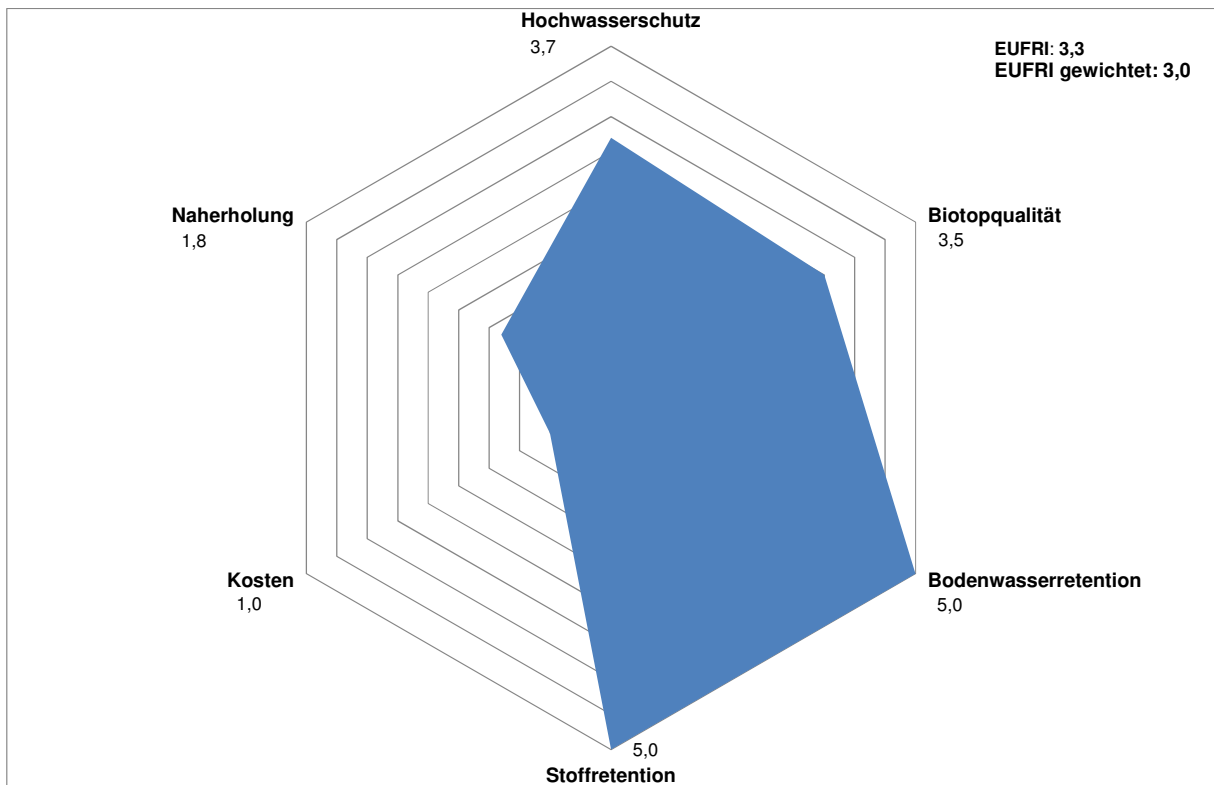


Abb. 31: EUFRI-Bewertung der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Stoffretention‘.

4.3 Hinweise aus Gesprächen mit zuständigen Dienststellen und anderen Fachexperten

In der Synthese der Gestaltungsvarianten werden Randbedingungen so kombiniert, dass alle betrachteten Segmente möglichst verbessert werden. Um diese Kombinationsvariante zu optimieren, findet über die gesamte Laufzeit der Untersuchung eine Einbindung, Kommunikation und Abstimmung mit zuständigen Dienststellen, Naturschutzverbänden und weiteren Fachexperten statt. Die so gewonnenen Hinweise werden zusätzlich berücksichtigt. Nicht zuletzt werden durch die Kommunikation auch Möglichkeiten zur Finanzierung ersichtlich.

Während der Untersuchungen zur Optimierung des HRB Retentionsraum Mühlenau findet ein regelmäßiger Austausch mit Vertretern des Sachgebiets Wasserwirtschaft des Bezirksamtes Eimsbüttel statt, das für das HRB Retentionsraum Mühlenau zuständig ist. Durch Gespräche mit Herrn Stephan Schneider (Abschnittsleitung) können zunächst Hintergrundinformationen zu der Erstellung und dem Aufbau des aktuellen HRB gewonnen werden. Außerdem finden Geländebegehungen statt, durch die der derzeitige Zustand erfasst wird und Hinweise durch die Praktiker der Unterhaltung vermittelt werden können, die wichtig für die Untersuchung sind. Darüber hinaus finden Begehungen weiterer HRB in Hamburg statt. So wurden die HRB am Steinwiesenweg (Mühlenau), Kronsaalsweg (Düngelau) und der Pulverhofteich (Wandse) näher betrachtet. Auch hier werden zu beachtende Faktoren deutlich. Beispielsweise sollte das Gewässer neben den allgemeinen Schutzvorkehrungen so abgesichert sein, dass kein Einfluss auf den Gewässerverlauf durch Passanten bzw. spielende Kinder genommen werden kann (Dammbauten, etc.). Trotzdem besteht ein Interesse an der Erlebbarkeit der Wasserfläche. Das Einbringen von Neophyten zieht umfangreiche Beseitigungsarbeiten nach sich und soll bestmöglich vermieden werden.

Außerdem wird ein Austausch mit Vertretern der Gewässerunterhaltung aus allen Bezirksämtern gepflegt, durch den zusätzlich Hinweise zur Unterhaltung von HRB in der Praxis generiert werden. Es wird ersichtlich, dass Hinweise zur Gestaltung und Unterhaltung, sowie zur Finanzierung von HRB sehr gewünscht sind. Oft scheitert die optimale Nutzung eines HRB an der Finanzierung der Unterhaltungsmaßnahmen und die Bezirke sind auf ehrenamtliche Helfer, wie Naturschutzverbände angewiesen. Daher müssen Argumente gegenüber der Politik angebracht werden, um das Unterhaltungsbudget zu erhöhen. Zusätzlich muss ein HRB mit möglichst geringen Folgekosten erstellt werden. Das beinhaltet eine gute Erreichbarkeit der zu unterhaltenden Flächen, ein geringes Gehölzwachstum, um Laubeintrag zu verhindern, durch das das HRB schneller verschlammt. Dauerhafte Wasserbereiche sind attraktiv für die Anwohner, bieten ein zusätzliches ökologisches Potenzial und werden aus Sicht der Landschaftsplanung bevorzugt. Sie werden allerdings auch vermehrt zur „Müllentsorgung“ durch die Anwohner verwendet. Dies ist wiederum mit steigenden Unterhaltungskosten verbunden. Ein nachweislich verbesserter ökologischer Zustand ist förderlich für die Akzeptanz von Veränderungen eines HRB und wird unterstützt.

In Gesprächen mit den Naturschutzverbänden NABU und BUND (03.12.2018, 01.07.2019) wurden weitere Hinweise für und Ansprüche an ein HRB im Sinne des Naturschutzes deutlich. So muss eine ökologische Durchgängigkeit des Gewässers gewährleistet werden. Flachgewässer sollten vermieden werden, da sich diese bei hohen Temperaturen schnell erwärmen und damit keinen guten Lebensraum für Fische bieten. Um eine hohe Biodiver-

sität zu erreichen, sollen möglichst viele unterschiedliche Habitate hergestellt werden. Der Gehölzsaum im HRB Retentionsraum Mühlenau stellt beispielsweise ein wertvolles Habitat für Vögel dar und soll erhalten bleiben. Die Krautschicht muss dafür regelmäßig entfernt werden. Durch eingebrachte Totholzelemente können zusätzlich kleine Habitate geschaffen werden.

Neben regionalen Gesprächspartnern werden außerdem auch national Erfahrungsaustausche mit Experten durchgeführt. In der Stadt Münster werden HRB als Trockenbecken angelegt und gute Erfahrungen mit der Unterhaltung dieser gemacht. Daher ist ein Austausch mit Vertretern des zuständigen Tiefbauamtes Münster für die Planung hilfreich. Die Begehungen von HRB in Münster liefern weitere wichtige Erkenntnisse für die Gestaltung. Zu berücksichtigende Hinweise sind zum Beispiel folgende: Die Zugänglichkeit des Geländes muss klar sein und eine entsprechende Anpassung vorgenommen werden. So kann durch Zäune eine beidseitige Schutzfunktion erreicht werden. Zum einen wird verhindert, dass die Flora und Fauna durch Hunde beeinflusst oder gestört wird, zum anderen wird der Zutritt zum Wasser für den Menschen eingeschränkt. Dadurch wird die Möglichkeit begrenzt, dass Menschen am Wasser in Gefahr geraten, aber auch, dass sie Einfluss auf den Gewässerlauf oder anderes nehmen (Dammbauten von Kindern, etc.). Mulden sollten mit einer Tiefe von 80 cm angelegt werden, um eine Verlandung und Durchfrieren im Winter zu vermeiden. Für eine effektive Stoffretention sollten die Röhrichtflächen im durchströmten Bereich liegen. Die Böschungsvegetation sollte nicht angesät werden, sondern sich durch Sukzession von selbst einstellen. Problemherde sollten schon im Vorhinein berücksichtigt werden, zum Beispiel muss Totholz so abgesichert werden, dass es im Hochwasserfall nicht weggeschwemmt wird. Eine mosaikartige Mahd wird empfohlen, ist aber schwierig umzusetzen, weil meist der gleiche, nasse Bereich stehen bleibt, der schlecht betreten werden kann. Deshalb muss vor Ort genau besprochen und überprüft werden, wo gemäht werden soll.

Neben den ausführenden Dienststellen findet außerdem weiterer Austausch mit Fachexperten statt. Diese liefern ähnliche Hinweise: Die Unterhaltung soll möglichst nicht die Anreicherung von Biomasse fördern, da diese zu Verschlammung führt. Daher ist Werkzeug zu empfehlen, mit dem das Mahdgut aus dem Raum entnommen werden kann.

Im Gespräch mit Vertretern der Behörde für Umwelt und Energie über die Umsetzung der Planungen werden Finanzierungsmöglichkeiten thematisiert. Es wird deutlich, dass sich Projekte wie dieses durch ihre Aktualität in andere Großprojekte mit ähnlicher Zielsetzung, wie zum Beispiel „Natürlich Hamburg!“, eingliedern können. Außerdem besteht die Möglichkeit auf Fördermittel wie den „Naturcent“ und das „Sondervermögen Naturschutz“ zuzugreifen.

4.4 Definition der Erhaltungs- und Entwicklungsziele

Zur konkreten Formulierung der Erhaltungs- und Entwicklungsziele der Umgestaltung des HRB Retentionsraum Mühlenau mit dem Ziel der hydrologischen und ökologischen Optimierung werden auf Grundlage der fachspezifischen Gestaltungsvarianten Mindestanforderungen an sogenannte Kombinationsvarianten gestellt. Folgende Anforderungen werden ausgewiesen, um eine Optimierung des HRB bezüglich der Zielsetzung zu erreichen.

Hinsichtlich des Hochwasserschutzes soll der mit der Umgestaltung des aktuell bestehenden HRB geschaffene Effekt auf die Absenkung des Scheitelabflusses am Pegel Vogt-Kölln-Straße von derzeit fünf Prozent mindestens verdoppelt werden.

Um den ökologischen Zustand zu optimieren, sollen mindestens folgende Ziele umgesetzt werden:

- Im Gewässerlauf soll eine ökologische Durchgängigkeit gewährleistet werden.
- Es wird eine hohe Heterogenität an Standortbedingungen und Vegetationstypen angestrebt. Dafür muss unter anderem kleinflächig stehendes Wasser (temporär und dauerhaft) vorhanden sein.
- Röhrichtbereiche sollten entlang des Gerinnes, zumindest aber im Bereich des Einlasses gesetzt werden, um eine Nähr- und Schadstoffretention zu erreichen.
- Das Kleinseggenried dagegen darf nicht im Bereich des Gerinnes, zumindest aber nicht im Bereich des Einlasses gesetzt werden, um die Stoffanreicherung dort zu vermeiden. Zusätzlich muss im Bereich des Kleinseggenrieds zwingend der Oberboden abgetragen werden, sodass nährstoffärmere Bodenhorizonte die neue Geländeoberfläche bilden. Es darf kein Boden aufgetragen werden.
- Es dürfen keine Ansaaten und Anpflanzungen vorgenommen werden. So wird die Anpassung standorttypischer Arten an regionale Umweltbedingungen gefördert und das natürliche Artenspektrum und die genetische Vielfalt unterstützt. Die Pflanzengesellschaften sollen sich über die Überschwemmungen einstellen.
- Die Krautschicht muss jährlich gemäht und das Mahdgut entfernt werden, sowie Gehölze regelmäßig (ca. alle zehn Jahre) auf den Stock gesetzt werden, um die nährstoffarmen Bodenbedingungen zu erhalten.

Unter der Annahme, dass in das HRB Retentionsraum Mühlenau jährlich 100 t TS Feststoffe als Schwebstoff eingetragen werden, dass innerhalb der strömungsberuhigten Röhrichtbereiche $12,5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{a})$ sedimentieren können und weitere Sedimentation im offenen Flach- und Tiefwasser ($5 \text{ kg}/(\text{m}^2 \times \text{a})$) stattfindet¹, ergeben sich folgende Mindestanforderungen. Die gesamte Röhrichtfläche sollte mindestens 6.600 m^2 betragen, wenn die Wasserfläche 3.500 m^2 nicht unterschreitet. Sie soll teilweise im langsam durchströmten Dauerstaubereich liegen, um eine wirksame Sedimentation auch bei niedrigen Abflussraten zu begünstigen. Dies spricht für eine Anordnung im Auslassbereich. Die übrigen Röhrichtflächen könnten entlang des Gerinnes und im Uferbereich der Dauerstaupläche liegen. Es sollte möglichst vermieden werden, dass im Lastfall Wasser durch offene Bereiche direkt vom Einlass zum Auslass strömen kann. Diese Annahmen berücksichtigen

¹ Der Feststoffeintrag in das Becken wurde aus der kartierten und gemessenen Sedimentmasse (677 t TS) und dem Alter (9 a) unter der Annahme bestimmt, dass aktuell der Rückhalt 75 % beträgt.

Der potentielle Rückhalt in Schilfflächen entspricht dem oberen Bereich der Messergebnisse von Schilfflächen unterschiedlicher Becken, der Rückhalt im Flach- und Tiefwasser den Mittelwerten aus dem Einzugsgebiet der Mühlenau.

nicht, dass auch auf den nicht von Röhricht bestandenen, im Dauerstau nicht überfluteten Flächen eine gewisse Ablagerung von Sedimenten stattfinden wird.

Zusammenfassend ergeben sich folgende Erhaltungs- und Entwicklungsziele.

4.4.1 Erhaltungsziele

Da die Fläche in der Vergangenheit als ökologische Ausgleichsmaßnahme entsprechend umgestaltet wurde, darf der ökologische Zustand nicht verschlechtert werden. Eine Umgestaltung zugunsten des Hochwasserschutzes soll hier stattdessen auch die ökologische Situation verbessern.

Die vorhandene Wasserfläche soll weiterhin erhalten bleiben, da sie Lebensraum für Vögel und Amphibien bietet und so als zusätzliches Habitat fungiert, sowie im Landschaftsbild einen positiven Effekt für die Naherholung der Passanten bietet. Der Gewässerlauf im HRB muss erhalten bleiben, da er planfestgestellt ist. Auch das Relief soll trotz Veränderungen (siehe Kap. 4.4.2) ansatzweise aufrechterhalten werden.

Röhrichte und Seggen sind nach § 30.2.2 BNatSchG (2019) geschützte Biotope. Um eine erhebliche Beeinträchtigung zu vermeiden, sind weiterhin große Röhrichtflächen in der Vorzugsvariante geplant.

4.4.2 Entwicklungsziele

Das langfristige Entwicklungsziel ist ein ökologisch hochwertiges HRB. Die Etablierung einer mosaikartigen Habitatstruktur in einem terrassenartigen Relief soll dabei die Biodiversität fördern und durch mehr Volumen im HRB der Wasserrückhalt erhöht werden. Dafür soll die Wirkung des HRB im IST-Zustand mindestens verdoppelt werden. Die Wirkung wird anhand des resultierenden Scheitelabflusses am Pegel Vogt-Kölln-Straße verglichen.

Um zusätzlich, wie in der Wasserrahmenrichtlinie gefordert, den Stoffeintrag in den Vorfluter zu verringern, sollen mindestens 6.600 m² Röhrichtfläche im HRB garantiert werden, in der sich Schwebstoffe absetzen und bei regelmäßiger Entnahme aus dem Wasserkreislauf entnommen werden können. Diese Flächen sollten entsprechend am langsam durchströmten Dauerstaubereich und am Auslassbereich des Beckens liegen. Außerdem entlang des Gerinnes und im Uferbereich. Es sollte vermieden werden, dass das Wasser ohne eine Filterung aus dem Becken herausströmen kann.

Die Naherholungsfunktion des HRB soll verbessert werden, ohne die hydrologischen und ökologischen Funktionen einzuschränken. Daher wird eine Methode angestrebt, die einen attraktiven Zugang zum Becken für die Passanten gewährleistet. Dies soll in Form einer Aussichtsplattform erreicht werden. Dabei sollen naturnahes Lernen und Wissensvermittlung gefördert werden, indem Schautafeln aufgestellt werden.

4.5 Optimierte Gestaltungsvariante mit komplexer Zielsetzung

Der Entwurf der Kombinationsvariante sieht vor, dass die Habitate aus der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Biotopqualität‘ erhalten werden und trotzdem erheblich mehr Stauraum durch Absenkung des Geländes geschaffen wird. Folgender Zustand wird dafür geplant.

Laut Erläuterungsbericht liegt der Überlauf zum Kollau Wanderweg bei NHN +9,87 m. Entsprechend wird die Nordostgrenze des Gebiets einheitlich so definiert. Im übrigen Grenzbereich werden die Höhen aus dem DGM des IST-Zustandes übernommen. Böschungsbereiche werden schmal gehalten und mit einer maximalen Steigung von 1:2 eingerichtet.

Der Normalwasserstand der Mühlenau liegt an der Mündung zur Kollau bei ca. NHN +840 cm. Der Dauerwasserstand im Becken liegt 5 cm darüber, um einen Rückstau zu vermeiden. Die Wasserfläche hat eine Tiefe von mindestens 80 cm, um ein Durchfrieren im Winter zu verhindern und so die aquatischen Fauna zu schützen. Das bedeutet, dass die Gewässersohle an ihrem tiefsten Punkt bei NHN +7,60 m liegt. Zum leichten Ausstieg aus der Tiefwasserzone werden sogenannte Kinderschutzbermen eingebaut. Für die Vegetation wird von einem Grundwasserstand entsprechend des Dauerwasserstandes von NHN +845 cm ausgegangen. Davon abgeleitet werden die Vegetationszonen auf den Höhen entsprechend ihrer Kennwerte (Tab. 14) eingerichtet. Die Abstände zwischen den Höhenstufen der Vegetationszonen werden so gering wie möglich gehalten. Einen großen Teil der Vegetation bildet der Bereich mit Röhricht (ca. NHN +8,25 m) mit ca. 6.600 m² Fläche als Grundlage für die Stoffretention. Er säumt den Großteil des Gerinnes sowie den gesamten Dauerstaubereich bis hin zum Auslass. Für eine bessere Bewirtschaftung sollen diese Röhrichtflächen gut erreichbar sein. Daher werden zusätzliche Arbeitswege angelegt. Um eine Durchnässung der Arbeitswege zu vermeiden, liegen sie 0,6 m über dem Dauerwasserstand und somit auf NHN +9,05 m. Sie sind ca. 4 m breit. Neben dem vorhandenen Arbeitsweg entlang der westlichen Grenzen des Flurstücks werden zusätzlich ein Weg an der nordöstlichen Grenze und ein Verbindungsweg zur Insel angelegt. So kann ein guter Zugang zu den Röhrichtflächen ermöglicht werden. Am Ende des Arbeitsweges entlang der südwestlichen Grenze wird eine Wendemöglichkeit für Fahrzeuge bis 9 m Länge angelegt (ca. 9 x 15,5 m).

Die Insel in der Mitte des HRB wird verkleinert. Ihr höchster Punkt liegt bei NHN +10,3 m, um weiterhin einen Schutz für Fauna bei Überschwemmung der Fläche zu bieten. Durch den Verbindungsweg wird die Fläche in zwei Bereiche geteilt. Im Nordosten liegt der Dauerstaubereich mit einer großen Röhrichtfläche. Im Südwesten des Verbindungswegs zur Insel liegen die neuen Vegetationsbereiche. Dabei handelt es sich um Kleinseggenried (ca. NHN +8,5 m) und Feuchtwiese (ca. NHN +8,6 m) mit kleinräumigen Flächen Flutrasen (ca. NHN +8,8 m), sowie drei Temporärgewässern. Die Sohlen dieser sogenannten Mulden liegen 80 cm tiefer als ihre Umgebung. Die Zonen der Vorzugsvariante sind in Abb. 32 skizziert. Für eine vielseitigere Habitatgestaltung können zusätzlich Totholzelemente eingebracht werden.



Abb. 32: Vegetationszonen und Gestaltungselemente der Vorzugsvariante für das HRB Retentionsraum Mühlenau (Kartengrundlage LGV 2017).

Der Abstand zwischen dem Arbeitsweg und dem Kollauwanderweg liegt bei mindestens 10 m, damit sich ein Gehölzsaum als Sichtschutz etablieren kann. Ein kleiner Bereich an der nordöstlichen Grenze soll frei bleiben, um eine Sichtachse für Fußgänger in das Gebiet zu haben. Dort soll eine Aussichtsplattform angelegt werden. Durch Schaukästen kann dieses Objekt zusätzlich aufgewertet werden, indem es naturnahes Lernen ermöglicht.

Das Gewässer wird hinter dem Einlass in Richtung Nordwesten verschwenkt, sodass es das Zentrum des HRB durchströmt und Platz für einen Gehölzsaum an der südöstlichen Grenze geschaffen wird. Um entlang des Gewässers am höher als NHN +8,45 m liegenden Einlassbereich auch die Etablierung von Ufer- und Gewässervegetation zu ermöglichen, werden entsprechende Flächen angelegt, die 5 cm über der Gewässersohle liegen. Vom

Wendehammer trennt ein kleiner Damm den Bereich zwischen Gewässerpflanzen am Einlass und Feuchtwiese.

Das Gefälle der Gewässersohle verändert sich von NHN +8,70–8,80 m am Einlass, über NHN +7,60 m im Dauerstaubereich zu NHN +8,20 m am Auslass. Die Gewässersohle fällt bis zum Dauerstaubereich gleichmäßig ab.

Die Ein- und Auslassbauwerke des HRB Retentionsraum Mühlenau der Vorzugsvariante entsprechen den Bauwerken der Gestaltungsvariante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘ (siehe Kapitel 4.1.1).

Es wird ein festes Wehr als Zulauf- und Abflussbauwerk des HRB installiert. Im Zulaufbauwerk ist ein Durchlass mit DN 100 und im Abflussbauwerk mit DN 130 vorgesehen, um eine Zu- und Entwässerung des HRB bei einem Dauerwasserstand von ca. NHN +845 cm sicher zu stellen. Der ungestörte Abfluss durch die Durchlässe ist mit Rückstauklappen und mehrstufigen Rechen zu gewährleisten, um Verklausungen entgegen zu wirken. Die Bauwerke sind in Abb. 33 und Abb. 34 dargestellt. Die Bauwerke befinden sich außerhalb des Beckens. Am Einlassbauwerk ist eine Breite von 10 m am obersten Punkt (NHN +9,8 m, NHN +10,3 m) ausreichend. Am Auslass muss das Bauwerk ca. 12 m breit sein.

Die Gestaltung von Ein- und Auslassbauwerk bewirkt für die geplante Vegetation Überschwemmungshäufigkeiten, die in Abb. 35 dargestellt sind.

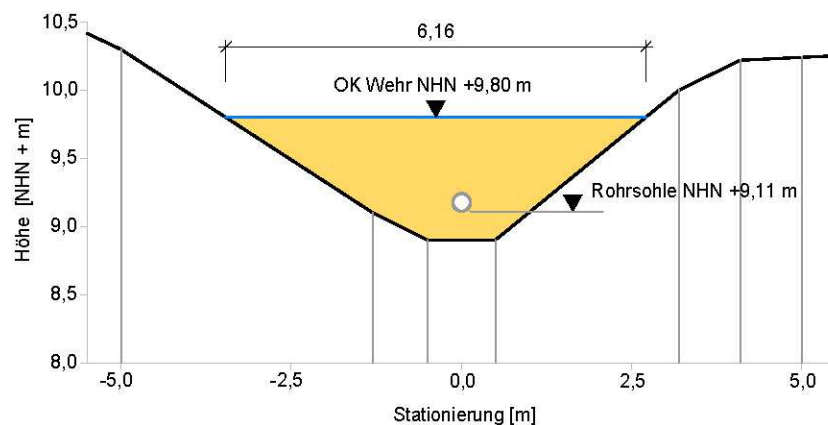


Abb. 33: Querschnitt Einlassbauwerk.

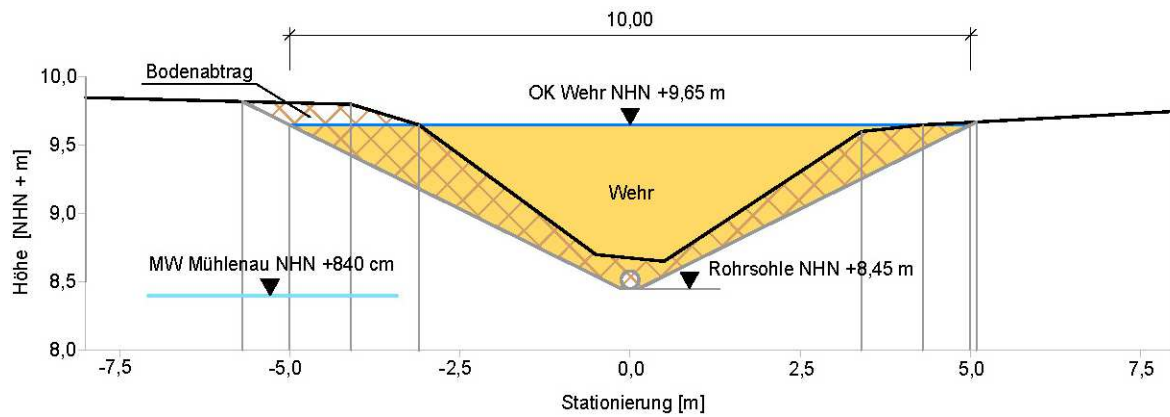


Abb. 34: Querschnitt Auslassbauwerk.

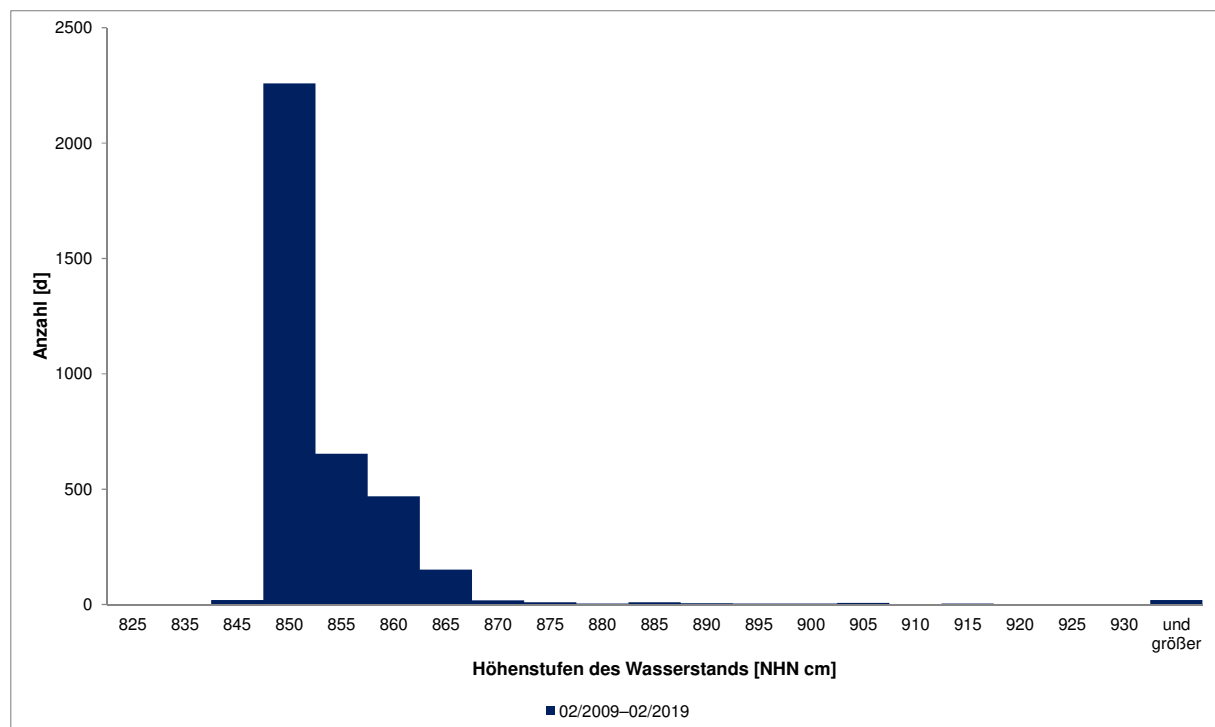


Abb. 35: Einstauhäufigkeiten der Vorzugsvariante im HRB Retentionsraum Mühlenau für den Zeitraum 02/2009-02/2019

Insbesondere vor und nach einem Hochwasserereignis sind die Durchlässe der Bauwerke zu kontrollieren und Totholz, ggf. auch im Gewässerverlauf oberhalb, zu entfernen. Ansaaten werden vermieden, sodass sich die standorttypische Vegetation durch die Überschwemmungen des vielfältiger gestalteten Reliefs einstellt. Die Unterhaltung findet mosaikartig statt und erfolgt immer unterschiedlich, um keine klaren Grenzen zu verursachen. Zusätzlich wird dabei durch eine gezielte Störungsaktivität die Artenvielfalt gefördert. Dieses Phänomen wird mit der ‚Intermediate Disturbance Hypothese‘ beschrieben (Connell, 1978). Die Fläche wird einmal im Jahr zu verschiedenen Zeiten in den Wintermonaten (Oktober bis März) gemäht, wobei das Mahdgut vollständig entnommen wird. Die Gehölze werden ca. alle zehn Jahre auf den Stock gesetzt.

Eine Entschlammung findet nach Bedarf, spätestens aber alle 30 Jahre statt.

Momentan ist das HRB eingezäunt, damit die Flora und Fauna nicht durch Hunde der angrenzenden Hundewiese gestört wird. Dies sollte beibehalten und bei Möglichkeit durch eine natürliche Alternativen, wie Hecken ersetzt werden.

Für die Prüfung der Wirksamkeit des HRB werden Kontrollgänge zu Beobachtung von Ausspülungen, Formentwicklung, Pflanzenwachstum, etc. durchgeführt und dokumentiert, um eventuelle Maßnahmen gegen eine Entwicklung entgegen der Planung einzuleiten, bzw. eine Verschlechterung des Gebiets zu verhindern und die Unterhaltung entsprechend anzupassen. Des Weiteren ist ein Betriebstagebuch über Daten und Ablauf eines Hochwasserereignisses, Steuerungseingriffe und Unterhaltungsmaßnahmen zu führen. Dafür wird ein Schreibpegel in der offenen Wasserfläche des HRB nahe des Auslasses installiert.

4.6 EUFRI-Bewertung der Vorzugsvariante

Segment Hochwasserschutz

Für die im vorangegangenen Kapitel erläuterte Vorzugsvariante ergibt sich ein Stauvolumen von 29.692 m³ bis zum Notüberlauf auf der Höhe von NHN +9,87 m. So werden 9.001 m³ Stauvolumen im Vergleich zum IST-Zustand (20.693 m³) gewonnen. Dieser Gewinn hat deutliche Auswirkungen auf den Scheitelabfluss am Pegel Vogt-Kölln-Straße. Damit wird die für den Hochwasserschutz gestellte Mindestanforderung erfüllt. In Tab. 22 ist die Absenkung der Scheitelabflüsse für verschiedene Ereignisse für den IST-Zustand und die Vorzugsvariante jeweils im Verhältnis zur ursprünglichen Situation ohne Becken dargestellt. Nach dem EUFRI-Index ergibt sich eine Bewertung von 4,2 für den Hochwasserschutz in der Vorzugsvariante. Sie weist damit eine deutliche Steigerung gegenüber 1,7 im IST-Zustand auf.

Tab. 22: Scheitelabflüsse am Pegel Vogt-Kölln-Straße bei den betrachteten Ereignissen im IST-Zustand und in der Vorzugsvariante im Vergleich zur Situation ohne HRB

	T5		T30		T100		Juli 2002	
	Scheitelabfluss [m ³ /s]	Absenkung [%]	Scheitelabfluss [m ³ /s]	Absenkung [%]	Scheitelabfluss [m ³ /s]	Absenkung [%]	Scheitelabfluss [m ³ /s]	Absenkung [%]
IST-Zustand	2,85	5,3	4,47	5,1	5,54	4,8	3,82	2,1
Vorzugsvariante	2,47	17,9	3,58	24	4,86	16,4	3,25	16,5

Segment Biotopqualität

In der Vorzugsvariante finden sich neun unterschiedliche Biotoptypen im HRB Retentionsraum Mühlenau (Tab. 23). Niedrige Biotopwerte finden sich für die Biotoptypen ‚Offenes Wasserrückhaltebecken mit Dauerstau‘ (1,4) und ‚Feldgehölz nasser bis feuchter Standorte‘ (2,2). Die weiteren Biotoptypen weisen deutlich höhere Werte auf, wobei die höchsten Biotopwerte die Biotoptypen ‚(Weiden-) Gebüsch der Auen‘ mit 4,2 und ‚Waldfreie, oligo- bis mesotrophe Niedermoore und Sümpfe‘ mit 4,3 aufweisen. Unter Berücksichtigung der

Flächenanteile der Biotoptypen ergibt sich ein Habitatwert von 2,9 für das HRB Retentionsraum Mühlenau. Dieser Wert wird zudem durch das Vorhandensein von neun verschiedenen Biotoptypen aufgewertet, so dass sich für das HRB Retentionsraum Mühlenau ein Habitatwert von 3,9 ergibt. Im Verhältnis zum maximal erreichbaren ortsspezifischen Habitatwert ergibt sich für die Vorzugsvariante ein Habitatwert von 5,0.

Tab. 23: Bewertung der Biotopqualität der Vorzugsvariante. Die Klassifikation der Biotoptypen sowie Angaben zu GW, RL, FFH, GS und RE folgen Finck et al. (2017). Die Auenbindung der Biotoptypen werden nach eigener Einschätzung klassifiziert. Aufwertung (+1) oder Abwertung (-1) des Habitatwertes bei einer höheren bzw. niedrigeren Anzahl verschiedener Biotoptypen im Vergleich zum Szenario ‚Minimierung Unterhaltungskosten‘ (IST-Zustand).

Biotyp	GW	RL	FFH	GS	RE	AB	Biotopwert	Fläche [m ²]	Flächen-gewichteter Biotopwert	Habitatwert	Bonus/Malus [+1/-1]
Offenes Wasserrückhaltebecken mit Dauerstau	3	1	1	1		1	1,4	8153	11413,8	2,9	3,9
Schilfröhricht	3	5	5	5	3	1	3,7	2464	9032,9		
Waldfreie, oligo- bis mesotrophe Niedermoore und Sümpfe	5	5	5	5	5	1	4,3	1933	8375,2		
sonstiges extensives Feucht- und Nassgrünland in tieferen Lagen	5	5	1	5	3	1	3,3	3975	13249,7		
Naturnaher extensiv oder nicht genutzter Flutrasen	3	5	1	5	1	1	2,7	1250	3332,2		
Artenreiche, frische Mähwiese in tieferen Lagen	3	5	5	5	3	1	3,7	5122	18778,9		
Feldgehölz nasser bis feuchter Standorte	5	3	1	1	2	1	2,2	1781	3858,8		
(Weiden-)Gebüsch der Auen	3	5	5	5	2	5	4,2	1176	4900,0		
Mesotropher Tümpel	3	5	5	5	1	1	3,3	816	2720,0		
GW = Grundwasserabhängigkeit, RL = Gefährdung/Seltenheit, FFH = FFH-Status, GS = Gesetzlicher Schutz in Deutschland, RE = Regenerierbarkeit und AB = Auenbindung											

Segment Bodenwasserretention

In der Vorzugsvariante wird im Vergleich zum IST-Zustand die Uferböschung etwas verkleinert. Die sandig-lehmigen Substrateigenschaften bleiben erhalten. Insgesamt verringert sich damit der Wert für die Bodenwasserretention im Vergleich zum IST-Zustand auf 3.

Segment Stoffretention

Im IST-Zustand sind 60 % der Beckensohle von Röhricht bewachsen. Die Vorzugsvariante sieht eine Verkleinerung der Röhrichtflächen im Sohlenbereich auf 50 % vor. Wie auch im IST-Zustand werden die Röhrichtflächen in der Vorzugsvariante am Einlauf, Auslass und in den Uferbereichen angesiedelt wodurch ein durchströmen dieser Bereiche gewährleistet ist. Durch die Verkleinerung der Röhrichtfläche wird in der Vorzugsvariante ein Indexwert von 3 angesetzt.

Segment Kosten:

Zur Bestimmung des Teilindexwerts „Unterhaltungskosten“ für die Vorzugsvariante sind die notwendigen Maßnahmen in Tab. 24 aufgelistet.

Tab. 24: Kosten der Vorzugsvariante bei einem Abschreibungszeitraum von 80 Jahren.

	Anzahl Einheiten	Einheit	Kosten pro Einheit [€]	Kosten pro Maßnahme [€]	Häufigkeit Maßnahme pro Jahr	Kosten pro Jahr [€]
Unterhaltungsmaßnahmen						
Gewässerunterhaltung	260	m	4,50	1.170,00	1,00	1.170,00
Mahd Retentionsfläche	9.621	m ²	0,10	962,07	1,00	962,07
Mahd (per Hand)	5.292	m ²	0,40	2.116,60	1,00	2.116,60
Gehölzschnitt	2.957	m ²	11,44	33.828,08	0,10	3.382,81
Schlammabtrag (belastet Z2)	3.350	m ³	180,00	603.000,00	0,03	15.678,00
Herstellungsmaßnahmen						
Bodenabtrag (unbelastet)	15.737	m ³	45,00	708.149,25		8.851,87
Bodenauftrag	290	m ³	33,36	9.665,39		120,82
Schlammabtrag (belastet Z2)	1.700	m ³	200,00	340.000,00		4.250,00
Wehr Auslass	1	Stück	25.000,00	25.000,00		312,50
Wehr Einlass	1	Stück.	25.000,00	25.000,00		312,50
Durchlass	1	Stück	7.500,00	7.500,00		93,75
Schautafel	1	Stück	1.000,00	1.000,00		12,50
Plattform	1	Stück	50.000,00	50.000,00		625,00
Summe						37.888,42

Die notwendigen Unterhaltungsmaßnahmen (Gewässerunterhaltung, Mahd, Gehölzschnitt, Entschlammung) entsprechen aufgrund der nahezu identischen Gestaltung denen der Variante ‚Maximierung Biotopqualität‘. Bei den Entschlammungskosten wird jedoch von niedrigeren Kosten (180 €/m³ statt 200 €/m³) ausgegangen, da in der Vorzugsvariante ein Arbeitsweg vorgesehen ist, welcher eine bessere Befahrbarkeit erlaubt.

Für die Herstellung sind Erdarbeiten (inkl. Entschlammung) notwendig, wobei die Menge des abzutragenden Bodens die Menge des aufzutragenden Bodens deutlich übersteigt. Die wasserbaulichen Steuerelemente (Einlass, Auslass) entsprechen kostenmäßig denen der Variante ‚Maximierung Hochwasserschutz‘.

In der Vorzugsvariante sind außerdem eine informative Schautafel sowie eine Holzplattform vorgesehen. Die Plattform soll einen Blick über das Gelände ermöglichen, was die Aufenthaltsqualität erhöht. Mit kalkulatorischen Gesamtkosten von 37.888,42€ pro Jahr erreicht die Vorzugsvariante einen EUFRI-Wert von 4,1.

Segment Naherholung:

Der Fall, dass keine Betonbauwerke im HRB vorhanden sind, wird in der Vorzugsvariante beibehalten. Die Errichtung der Holzplattform wird zusätzlich mit 0,8 Punkten berücksichtigt, sodass sich ein EUFRI-Wert von 2,6 für die Naherholungsfunktion ergibt.

Insgesamt ergibt sich damit ein EUFRI-Wert von 3,7, beziehungsweise 4,0 nach der in Kapitel 4.2.4 beschriebenen Wichtung. Der Vergleich der Teilindexbewertung vom IST-Zustand und der Vorzugsvariante des HRB Retentionsraum Mühlenau ist in Abb. 36 dargestellt.

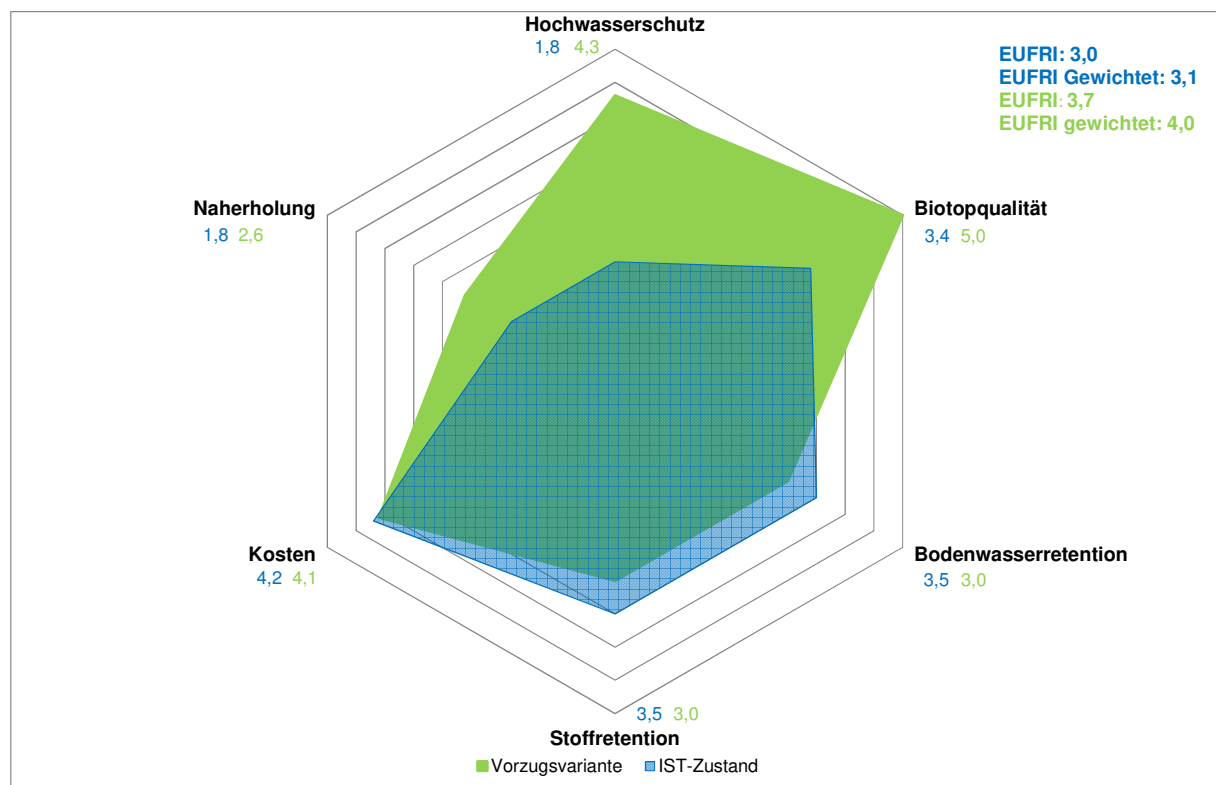


Abb. 36: EUFRI-Bewertung des IST-Zustandes und der Vorzugsvariante des HRB Retentionsraum Mühlenau.

5 Diskurs

Zur Optimierung eines HRB hat sich ein interaktives Vorgehen als vorteilhaft erwiesen. Der EUFRI bietet dabei eine gute Vergleichsgrundlage zwischen verschiedenen Gestaltungsvarianten eines HRB. Dies zeigt sich am Beispiel des HRB Retentionsraum Mühlenau. Der Index stellt die Entscheidungsgrundlage bei der Analyse zur Entwicklung einer optimalen Gestaltung des HRB dar. Das System des EUFRI ist bei entsprechender ortsspezifischer Anpassung der besten und schlechtesten Werte seiner Segmente auf andere HRB übertragbar. Außerdem lässt es sich bei Bedarf um weitere Segmente ergänzen und kann so, je nach Untersuchungsziel, auch andere Eigenschaften von HRB berücksichtigen. Die Ermittlung der EUFRI-Klassen, sowie die Konzeption der unterschiedlichen Gestaltungsvarianten und ihrer wasserwirtschaftlichen Steuerungselemente erfordern iterative Prozesse.

Am Beispiel des HRB Retentionsraum Mühlenau zeigt sich, dass alle betrachteten Segmente optimiert werden können (Kapitel 4.2.4). Im Vergleich durch den EUFRI wird deutlich, dass nicht jede Segmentverbesserung zwangsläufig zu einer ganzheitlichen Optimierung des HRB führt. Das zeigt sich in diesem Fall beim Segment Bodenwasserretention. Die Verbesserung dieses Segments ist mit hohen Kosten verbunden und stellt gleichzeitig störenden Eingriff in das Ökosystem dar, während nur in geringem Ausmaß zu einer höheren Wasserretention beitragen wird. Für eine ganzheitliche Optimierung ist eine Vernachlässigung dieses Segments zu empfehlen und eine Wichtung der EUFRI-Segmente sinnvoll. In diesem Fall wurde das Segment Bodenwasserretention für die Konzeption der Kombinationsvariante vernachlässigt und der aktuelle Zustand der Uferböden in der Vorzugsvariante beibehalten. Hier wird deutlich, dass eine flexible Nutzung einer Wichtung entsprechend der Zielsetzung der Gestaltung des HRB zielführend ist.

Bei der Erarbeitung der verschiedenen Gestaltungsvarianten wird deutlich, dass die Möglichkeiten der Gestaltung vielfältig sind und je nach Priorisierung der Planer sehr unterschiedlich ausfallen können. Daher stellt die Formulierung von Mindestanforderungen einen entscheidenden Punkt in der Untersuchung dar. Auf Grundlage der Potenzialanalyse der Eigenschaften des HRB sind sie entscheidend für die Definition der Erhaltungs- und Entwicklungsziele und geben einen klaren Rahmen für die Gestaltung vor.

Die Analyse mittels EUFRI und die Aufstellung der Mindestanforderungen haben unter anderem gezeigt, dass, entgegen der Erwartung, Dauerstaubereiche einen wichtigen Bestandteil eines strukturreichen und artenreichen HRB ausmachen. Dies wurde auch im Austausch mit den Projektpartnern des Instituts für Bodenkunde und der Abteilung für Angewandte Pflanzenökologie der Uni Hamburg und den Naturschutzverbänden deutlich. Deshalb sollte nach Möglichkeit immer ein Dauerstaubereich in entsprechenden Flächen eingeplant werden. Am effektivsten im Sinne des Hochwasserschutzes ist dieser, wenn die Wasseroberfläche annähernd auf Sohlhöhe angesetzt wird, sodass kein Stauraum verloren geht, so wie es in diesem Fall geplant wurde. Für den langfristigen Erhalt des großen Stauraums müssen außerdem die Bedingungen zur Entschlammung verbessert werden. So kann zum Beispiel durch eine bessere Erreichbarkeit von Röhrichtflächen, bei denen am meisten Sedimentation stattfindet, die Unterhaltung kostengünstiger gestaltet werden.

Diese und weitere Maßnahmen wurden in der Vorzugsvariante für das HRB Retentionsraum Mühlenau umgesetzt. Der Vergleich zwischen IST-Zustand und Vorzugsvariante an-

hand des EUFRI zeigt eine deutliche Verbesserung des HRB Retentionsraum Mühlenau. Er beweist, dass eine gleichzeitige Optimierung von Hochwasserschutz und Biotopqualität möglich ist, während sich der Kostenaufwand nur gering verändert (Tab. 25). Die Mindestanforderungen, die an die Vorzugsvariante gestellt wurden, werden mehr als erfüllt.

Die Mindestanforderung im Sinne des Hochwasserschutzes war es, die aktuelle Wirkung des HRB Retentionsraum Mühlenau auf das Gewässer mindestens zu verdoppeln. Alle Ergebnisse verschiedener Rechenläufe zeigen bei der Vorzugsvariante eine Minderung des Hochwasserscheitels im Vorfluter, die mindestens dreimal so hoch ist wie im IST-Zustand.

Die Biotopqualität erreicht den ortsspezifisch maximal erreichbaren Habitatwert. Es ergeben sich mehr Flächen für unterschiedliche Habitate durch die Reduzierung der Röhrlichtfläche. Dadurch wird die Stoffretention und Bodenwasserretention im Vergleich zum IST-Zustand zwar verringert, entspricht aber den Mindestanforderungen. Bei der Bewertung der Bodenwasserretention wurde nicht berücksichtigt, dass sich der Grundwasserstand bei der Vorzugsvariante verändert hat und so das Porenvolumen verringert wurde. Ursprünglich sollte dies berücksichtigt werden, wird aber als vernachlässigbar angesehen, da diese Speicherung im Boden im Vergleich zum gewonnenen Stauraum nur minimal ist.

Der Unterhaltungsaufwand verändert sich, da zum Erhalt der vielfältigeren Vegetationsstruktur häufiger Unterhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden müssen. Durch eine bessere Flächenerreichbarkeit ist die Unterhaltung allerdings auch weniger aufwändig. Deshalb steigen die Kosten für das HRB insgesamt nur gering. Die neue Unterhaltungsroutine ist notwendig, da sich bei einer natürlichen Sukzession ohne Unterhaltungsmaßnahmen langfristig eine einseitige Vegetation einstellen würde. Dadurch würden andere Pflanzen verdrängt und die Biodiversität verringert. Im HRB Retentionsraum Mühlenau würde sich dementsprechend wieder eine große Röhrlichtfläche einstellen, so wie es im IST-Zustand der Fall ist. Hinweise zur Herstellung und Unterhaltung des HRB Retentionsraum Mühlenau sind in einem Maßnahmen-Management-Plan festgehalten (LSBG, 2020c).

Nicht nur bei der Gestaltung, sondern auch bei den Unterhaltungsmaßnahmen wird deutlich, dass diese vielseitig sind und von ortsspezifischen Bedingungen abhängen. Im Allgemeinen zeigt sich, dass durch eine zugänglichkeitsfördernde Gestaltung die Unterhaltungskosten verringert werden können. Dadurch können die zusätzlichen Kosten durch häufiger durchzuführende Unterhaltungsmaßnahmen ausgeglichen werden. Die Unterhaltung sollte demnach schon Berücksichtigung in der Gestaltungsplanung bekommen.

Es hat sich herausgestellt, dass Expertengespräche und allgemeiner Austausch für die Festlegung der Art der Unterhaltung von großer Bedeutung sind. Durch Hinweise aus der Praxis können Reaktionen oder Eigenschaften des Beckens berücksichtigt werden, die aus der Theorie nicht sofort ersichtlich werden. Im Austausch mit den Dienststellen der FHH, die für die Unterhaltung von HRB zuständig sind, zeigten sich unterschiedliche Auffassungen zur Mahd. Generell ist eine Mahd nur außerhalb der Vegetations- und Brutzeit im Zeitraum von Oktober bis einschließlich Februar gestattet. Im Gegensatz dazu bestehen Ansätze, dass durch eine frühe Mahd im Juli Frühblüher zweimal zur Blüte kommen. Dies käme auch Insekten wie Bienen zu Gute, wodurch die Habitatqualität weiter aufgewertet werden kann. Die Zeiträume für eine optimale Mahd müssten spezifisch an die Vegetationstypen und die jeweilige Umgebung eines HRB angepasst werden.

Um eine Umsetzung der ermittelten Vorzugsvariante zu erreichen, sollten aber auch die Anforderungen der zuständigen Dienststellen, sowie der Anwohner in die Planung einbe-

zogen werden. Es muss vermittelt werden, dass die Umgestaltung mit dem Ziel der Optimierung von Hochwasserschutz und Ökologie in diesem Fall einen Mehrwert für viele Stakeholder bildet. Neben der Wasserwirtschaft profitieren auch der Naturschutz und die Anlieger und Spaziergänger von der Umgestaltung. Dementsprechend sollte nicht nur aus Hochwassersicht die Unterhaltung des HRB finanziert werden, sondern zum Beispiel zum Erhalt der Biodiversität auch ein Beitrag aus dem Bereich des Naturschutzes geleistet werden. Zusätzlich bietet sich die Möglichkeit der Einbindung in Projekte und Fördermittel mit ähnlicher Zielsetzung.

Die Untersuchung zeigt, dass unter Anwendung des EUFRI eine optimale Gestaltung eines HRB erreicht werden kann, die mit entsprechender Unterhaltung neben dem Hochwasserschutz auch die Biotopqualität und die Naherholung in urbanen Räumen nachhaltig steigert.

Tab. 25: Bewertung der EUFRI-Segmente des IST-Zustandes und der Vorzugsvariante.

EUFRI-Segment	Gestaltungsvarianten	
	IST-Zustand	Vorzugsvariante
Hochwasserschutz	1,8	4,3
Biotopqualität	3,4	5,0
Bodenwasserretention	3,5	3,0
Stoffretention	3,5	3,0
Kosten	4,2	4,1
Naherholung	1,8	2,6
EUFRI	3,0	3,7
EUFRI gewichtet	3,1	4,0

6 Ausblick

Für das HRB Retentionsraum Mühlenau sind die Gestaltungsmöglichkeiten weiterhin vielfältig. Um das Gesamtbild des HRB noch weiter zu optimieren, kann beispielsweise in Betracht gezogen werden, den anliegenden Kollau-Wanderweg mit in die Planung einzubeziehen. So würde das HRB vergrößert, der Weg könnte als Steg angelegt werden und den Spaziergängern eine bessere Erlebbarkeit der Biotope geboten werden.

Im Ausblick auf zukünftige Klimaveränderungen wurde für das HRB Retentionsraum Mühlenau ein Zukunftsszenario gerechnet, das zeigt, dass die Bauwerke an Ein- und Auslass angepasst werden müssen, um den geplanten Zustand in Zukunft zu erhalten. Durch die Einflüsse des Klimawandels auf die Niederschlagsbedingungen werden stärkere Niederschlagsintensitäten prognostiziert. Eine durch den Klimawandel hervorgerufene Erhöhung der Niederschlagsintensitäten wird durch einen Aufschlag von 15 % für die nähere Zukunft (2035) simuliert. Im Weiteren wurde das bereits in der ersten Phase des Projektes Stuck ausgearbeitete Landnutzungsszenario (L2035) für die Quantifizierung der Auswirkungen herangezogen (LSBG, 2020a).

Bei zukünftig zu erwartenden Folgen des Klimawandels und einer veränderten Landnutzung kann die Wehrkrone im Einlass des Beckens angepasst werden, um eine effektive Nutzung des HRB zu ermöglichen. So wurde berechnet, dass bei einer Erhöhung der Niederschlagsintensität von 15 % die Wehroberkante, sowie die Oberkante des Notüberlaufs auf eine Höhe von ca. NHN +9,98 m gesetzt werden muss, um einen Überlauf des HRB bei einem 100-jährlichen Niederschlagsereignis zu vermeiden. Dafür muss ein Damm gezogen werden. Der Zufluss erfolgt dann erst ab einem Schwellenwert von $1 \text{ m}^3/\text{s}$ in den HRB und der Stauraum wird später genutzt, um den Hochwasserscheitel abzusenken. Gleichzeitig ist auch der Durchlass zur alten Mühlenau auf eine Abflussleistung von $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ anzupassen. Die Durchlassbreite muss in dem Fall auf 1,75 m verbreitert werden. Es wird daher empfohlen, dass die Wehrkrone zum HRB und die Durchlassbreite zur alten Mühlenau für zukünftige Veränderungen z. B. mit Führungsschienen für Dammbalken angepasst werden kann (Stichwort „Klimawehr“).

Eine Alternative bietet die in der Variante ‚Maximierung Hochwasserschutz 2‘ angedachte, aber aus Kostengründen für die Umsetzung vernachlässigte (vorhersagebasierte) Steuerung der Bauwerke.

Für eine Umsetzung der im Projekt Stuck entwickelten Optimierung des HRB Retentionsraum Mühlenau muss ein Konzept zur dauerhaften Finanzierung einer entsprechenden Unterhaltung gefunden werden.

7 Zusammenfassung

Während in urbanen Gebieten die Flächenversiegelung zunimmt, bieten HRB Schutz vor Hochwasser und Potenzial für die Verbesserung des ökologischen Zustandes.

Dieses Potenzial kann genutzt werden, ohne die Hochwasserschutzfunktion des HRB einzuschränken. Wie am Beispiel der Umgestaltung des HRB Retentionsraum Mühlenau ersichtlich wird, können Hochwasserschutz und Ökologie sogar gleichzeitig verbessert werden. Dabei zeigt sich, dass wechselfeuchte HRB mit dauerhaften Wasserbereichen eine höhere Biodiversität aufweisen als reine Trockenbecken ohne Wasserbereich.

Um ein HRB multifunktional zu optimieren, müssen viele unterschiedliche Aspekte berücksichtigt werden. Diese effektiv zu kombinieren stellt, eine große Herausforderung dar.

Durch die Entwicklung des EUFRI ist es gelungen, eine umfassende Bewertung verschiedener Gestaltungsvarianten eines HRB zu ermöglichen. Der EUFRI beinhaltet dafür verschiedene Segmente, die die elementaren Eigenschaften des HRB widerspiegeln (Hochwasserschutz, Biotopqualität, Kosten, etc.). Im Index werden die ortsspezifischen Potenziale der Eigenschaften des HRB erfasst, anhand derer eine vergleichbare Bewertung verschiedener Varianten des HRB stattfinden kann. Dadurch bietet der Index eine Entscheidungsgrundlage für die Planung. Zusätzlich kann eine gewichtete Bewertung vorgenommen werden, falls bei einer Untersuchung oder Planung bestimmte Schwerpunkte gesetzt bzw. fachspezifische Ziele umgesetzt werden sollen.

Die Methodik zur Erarbeitung einer optimalen Gestaltung eines HRB, inklusive der individuellen Anpassung des EUFRI, kann anhand eines Leitfadens nachvollzogen und angewendet werden (LSBG, 2020b). Dieser Leitfaden beinhaltet außerdem allgemeine Hinweise zur optimalen Gestaltung, die im Laufe der Untersuchung als allseitig fördernd erarbeitet wurden. Sie sind in Anhang 1 aufgeführt.

Die entwickelte Methodik wurde erfolgreich auf das HRB Retentionsraum Mühlenau angewendet. Die Bewertung der erarbeiteten Vorzugsvariante zeigt eine merkliche Steigerung der Hochwasserschutzfunktion des HRB. Außerdem konnte das ökologische Potential durch die neue Gestaltung komplett ausgeschöpft werden. Der erarbeitete Maßnahmen-Management-Plan des HRB Retentionsraum Mühlenau bietet eine Grundlage für die Praxis (LSBG, 2020c).

Während des Arbeitsprozesses hat sich gezeigt, dass die Kommunikation der Umgestaltung eine wichtige Komponente der Untersuchung darstellt. Außerdem wird deutlich, dass sich der zeitliche Mehraufwand in der Analyse der Machbarkeit für die (Um-)Gestaltung eines HRB lohnt, um dessen komplettes Potential so gut wie möglich auszuschöpfen. So kann ein HRB nachweislich hydrologisch und ökologisch optimiert und aus Sicht der Naherholung attraktiv aufgewertet werden.

8 Literatur

- AIGNER, D., 2008. Überfälle. In: H.B. HORLACHER, Hg. Aktuelle Forschungen im Wasserbau 1993 - 2008. Zum Geburtstag von Herrn Hans-B. Horlacher, S. 166-176.
- BNatSchG, 2009. Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege - Bundesnaturschutzgesetz. Fassung: 29.07.2009. Fundstelle: 791-9 [Zugriff am: 28.08.2019]. Verfügbar unter: https://www.gesetze-im-internet.de/bnatschg_2009/BNatSchG.pdf.
- BUE (BEHÖRDE FÜR UMWELT UND ENERGIE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG), 2018. Biotopkataster Hamburg. Verfügbar unter: <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/biotopkataster-hamburg1?forceWeb=true>.
- BUE (BEHÖRDE FÜR UMWELT UND ENERGIE DER FREIEN UND HANSESTADT HAMBURG), Hg., 2015. Richtlinie für die Unterhaltung der Hamburger Gewässer. Band I: Rechtliche Grundlagen, Vorgaben und Maßnahmen für die Gewässerunterhaltung [Zugriff am: 08.08.2016]. Verfügbar unter: <http://www.hamburg.de/contentblob/4595512/e1f86425742e820ac0a1331869c3fc93/data/d-richtliniegewaesserunterhaltung-band1.pdf>.
- BWK (BUND DER INGENIEURE FÜR WASSERWIRTSCHAFT, ABFALLWIRTSCHAFT UND KULTURBAU E.V.), Hg., 2009. Hydraulische Berechnung von naturnahen Fließgewässern. Teil 1: Stationäre Berechnung der Wasserspiegellinie unter besonderer Berücksichtigung von Bewuchs- und Bauwerkseinflüssen. 3. Auflage. BWK-Regelwerk, Merkblatt BWK-M1.
- CARSTENS, F., 2018. Urban stormwater ponds and their relevance for the north German avifauna. Master Thesis.
- CONNELL, J. H., 1978. Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs. *Science*, 199(4335), 1302-1310.
- EINFALT, T., S. HELLMERS & A. JASPER-TÖNNIES, 2019. Urban Flood Prevention Based on Ensemble Precipitation Forecasts. In: RHONE-ALPS RESEARCH GROUP ON INFRASTRUCTURE AND WATER und INSA LYON, Hg. Proceedings of the 10th International Conference Novatech [Zugriff am: 16.12.2019]. Verfügbar unter: <http://www.novatech.graie.org/documents/auteurs/2B52-158EIN.pdf>.
- FINCK, P., et al., 2017. Rote Liste der gefährdeten Biotoptypen Deutschlands. Dritte fortgeschriebene Fassung 2017. *Naturschutz und biologische Vielfalt*, 156.
- FISCHER, C., et al., 2018. Analysis and evaluation of regulating ecosystem services "habitat provision". ESP Europe, 2018 Regional Conference [Zugriff am: 27.08.2019]. Verfügbar unter: <https://drive.google.com/drive/folders/1e1d-wdRh61X3b6uaUB3kFn1I8bS0jmch>.
- GOSCH-SCHREYER-PARTNER INGENIEURGESELLSCHAFT MBH, 2006. Herstellung von Gewässern II. Ordnung. Hochwasserschutz für die Mühlenau und Kollau - Schaffung von Retentionsraum auf der Ausgleichsfläche der AKN im Zusammenhang mit der naturnahen Umgestaltung der Mühlenau. Genehmigungsunterlage gem. § 31 WHG in Verbindung mit § 48 und § 49 HWaG. Priewe, M.,
- HAMANN, K. & K. MÖLLER, 2011. Amphibien-Bestandserhebung und Maßnahmenplanung 2011.

HELLMERS, S. & P. FRÖHLE, 2019. Integrating real-time control functions of local and meso scale drainage measures in hydrological modelling. In: RHONE-ALPS RESEARCH GROUP ON INFRASTRUCTURE AND WATER und INSA LYON, Hg. Proceedings of the 10th International Conference Novatech [Zugriff am: 16.12.2019]. Verfügbar unter: <http://www.novatech.graie.org/documents/auteurs/3B72-032HEL.pdf>.

HWRM-RL, 2007. Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. Fassung: 23.10.2007. Fundstelle: 06.11.2007 [Zugriff am: 19.01.2016]. Verfügbar unter: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/hwrm_rl.pdf.

JÄGER, E.J., Hg., 2017. Rothmaler - Exkursionsflora von Deutschland. 21., durchgesehene Auflage.

JAHN, M., M.-C. RISCHE & A. RÖHLIG, 2019. Leitfaden zur Bewertung von Ökosystemleistungen. Ökologische Aspekte des Hochwassermanagements [Zugriff am: 27.08.2019]. Verfügbar unter: https://www.stuck-hh.de/fileadmin/Documents/Docs_AP6/LeitfadenOESLWebsite.pdf.

LAGA (LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT ABFALL), Hg., 2003. Anforderungen an die stoffliche Verwertung von mineralischen Abfällen. - Technische Regeln - Allgemeiner Teil. Mitteilung der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) 20.

LENZEWSKI, N., 2019. Plant biodiversity of urban stormwater ponds. in preparation.

LSBG (LANDESBETRIEB STRAßEN, BRÜCKEN UND GEWÄSSER), Hg., 2020a. BMBF-Projekt Stuck – Abschlussbericht 2015–2019. Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels – das BMBF-Forschungsprojekt Stuck. Ackermann, D., et al. Projektbericht Gewässer und Hochwasserschutz Nr. 1/2020.

LSBG (LANDESBETRIEB STRAßEN, BRÜCKEN UND GEWÄSSER), Hg., 2020b. Leitfaden zur Gestaltung von Hochwasserrückhaltebecken. Fischer, F., et al. Projektbericht Gewässer und Hochwasserschutz Nr. 4/2020.

LSBG (LANDESBETRIEB STRAßEN, BRÜCKEN UND GEWÄSSER), Hg., 2020c. Maßnahmen und Management hydrologisch und ökologisch wertvolle Trockenbecken. Sicherstellung der Entwässerung küstennaher, urbaner Räume unter Berücksichtigung des Klimawandels – das BMBF-Forschungsprojekt Stuck. Ackermann, D., et al. Projektbericht Gewässer und Hochwasserschutz Nr. 3/2020.

PODSCHUN, S. A., et al., 2018. RESI - Anwenderhandbuch. Ökosystemleistungen von Flüssen und Auen erfassen und bewerten. IGB-Berichte 31/2018.

POPPENDIECK, H.-H., H. BERTRAM, I. BRANDT, B. ENGELSCHALL & J. von PRONDZINSKI, Hg., 2010. Der Hamburger Pflanzenatlas. von a bis z. mit Roter Liste und CD-ROM. Verfügbar unter: <http://www.botanischerverein.de/aktuelle-informationen-detail/items/hamburger-pflanzenatlas.html>.

SCHOLLE, D. & J. SCHRAUTZER, 1993. Zur Grundwasserdynamik unterschiedlicher Niedermoor-Gesellschaften Schleswig-Holsteins. Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz, **2**, 87-98.

SCHOLZ, M., D. MEHL, C. SCHULZ-ZUNKEL, H.D. KASPERIDUS, W. BORN & K. HENLE, Hg., 2012. Ökosystemfunktionen von Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention, Nährstoffrückhalt, Kohlenstoffvorrat, Treibhausgasemissionen und Habitatfunktion: Ergebnisse des F+E-Vorhabens (FKZ 3508 850 100). Naturschutz und biologische Vielfalt, 124.

SCHRAUTZER, J., 2004. Niedermoore Schleswig-Holsteins: Charakterisierung und Beurteilung ihrer Funktion im Landschaftshaushalt. Mitteilungen der Arbeitsgemeinschaft Geobotanik in Schleswig-Holstein und Hamburg 63.

SCHWARZ, D., 2017. Kartierung von Hochwasser- und Regenrückhaltebecken in Hamburg. Universität Hamburg.

WAGENER, D., 2012. Retentionsraum Mühlenau.

WHG, 2009. Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz - WHG). Fassung: 29.03.2017. Fundstelle: BGBl. I S. 2585 [Zugriff am: 06.06.2017]. Verfügbar unter: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/whg_2009/gesamt.pdf.

WRRL, 2002. Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik [Zugriff am: 21.01.2016]. Verfügbar unter: http://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF.

9 Anhang

Anhang 1: Hinweise zur Gestaltung und Unterhaltung ökologisch wertvoller Hochwasserrückhaltebecken

Die folgenden Hinweise sind auf HRB im Nebenschluss ausgelegt. Ein hydrologisch und ökologisch optimal gestaltetes HRB beinhaltet sowohl Trockenflächen als auch Dauerstaubereiche. Damit sich die geplante Vegetation einstellen kann, müssen regelmäßig bestimmte Wasserstände erreicht werden.

Gestaltung

- Reliefierung des Geländes

Um eine hohe Retentionskapazität zu erreichen, werden Veränderungen des Reliefs vorgenommen. Dies geschieht unter Berücksichtigung der zu fördernden Flora und Fauna. Entsprechend ergibt sich ein tiefliegendes, flaches und treppenartiges Gelände, das wie folgt gestaltet und unterhalten wird.

- Vergrößerung des Stauraums und Dauerstauwasserbereiche als Biotop

Ein Dauerstauwasserbereich steigert die Biodiversität im HRB, da ein zusätzliches Habitat geschaffen wird. Um einen möglichst großen Stauraum zu gewinnen, wird der Wasserstand des Dauerstaubereichs auf eine Höhe festgelegt, die ca. 5 cm über dem Wasserstand des Vorfluters liegt. So wird ein Rückstau aus dem Vorfluter über die meiste Zeit des Jahres vermieden.

Damit ein ganzjährig nutzbarer Lebensraum für aquatische Fauna entsteht, muss eine Wassertiefe von mindestens 80 cm hergestellt werden. Dadurch wird das Durchfrieren des Gewässers vermieden. Zum leichten Ausstieg aus der Tiefwasserzone sollten sogenannte Kinderschutzbermen eingebaut werden. Die Böschungsneigung sollte 1:2 nicht übersteigen.

- Bauwerke

Jeweils ein festes Wehr wird als Einlass- und Auslassbauwerk des HRB hergestellt. Im Ein- und Auslassbauwerk sind jeweils Durchlässe nahe der Beckensohle vorgesehen. Dies stellt eine Be- und Entwässerung des HRB beim Dauerwasserstand sicher. Der ungestörte Abfluss durch die Durchlässe mit geringem Querschnitt ist ggf. mit zweistufigen Rechen zu gewährleisten. Im Auslassbauwerk ist der Durchlass mit einer Rückstauklappe zu versehen, damit bei höheren Wasserständen im Vorfluter kein Wasser aus diesem in das Becken strömt. Die Bauwerke, ihre Abmessungen, sowie Details ihrer Gestaltung müssen entsprechend der gewünschten Überflutungshäufigkeiten iterativ berechnet werden.

Zäune sind nicht zwangsläufig zu errichten, dienen aber dem Schutz der Flora und Fauna, sowie den Passanten. Barrieren können auch mit Vegetation gestaltet werden (Schilfgürtel, Hecken, etc.).

- Gestaltung der Vegetationszonen

Um das natürliche Artenspektrum und die genetische Vielfalt zu unterstützen, sind standorttypische Arten vorzusehen. Ausgehend vom Niveau des Dauerstaubereichs werden die Geländehöhen für die zu fördernde Vegetation eingerichtet. Grundlage dafür sind

die hydrologischen Kennwerte der verschiedenen Arten zum mittleren Flurabstand (Schrautzer, 2004). Unter Berücksichtigung dieser werden die Geländestufen in möglichst geringen Abständen festgelegt.

- Röhricht: 25 cm unter Dauerwasserstand
- Kleinseggenried: 5 cm über Dauerwasserstand
- Feuchtwiese: 15 cm über Dauerwasserstand
- Flutrasen: 25 cm über Dauerwasserstand

Durch Röhrichtbereiche unter Dauerstau wird die Stoffretention in der Beckensohle verstärkt. Um möglichst viele Stoffe aus dem Wasser zu sedimentieren, werden diese Bereiche an den Ufern des Gerinnes, am Einlass und am Auslass des Beckens platziert. Dieser Schilfgürtel stellt zusätzlich eine Barriere dar, die das Vordringen zur Wasseroberfläche erschwert und somit ungewollten Zugang zum Gewässer verhindert.

Innerhalb der wechselfeuchten Zonen können dauerhaft gefüllte Mulden und/oder Temporärgewässer mit einem Durchmesser von mehreren Metern zusätzliche Habitate für Amphibien darstellen. Um ein Trockenfallen und schnelles Verlanden zu verhindern, sollten die Mulden mindestens 80 cm tief sein. Temporärgewässer sollten außerhalb des Einflusses durch den Dauerstaubereich platziert werden.

Eine oder mehrere Inseln können eingerichtet werden, um der Fauna im Hochwasserfall Rückzugspunkte zu ermöglichen. Ist dies vorgesehen, sollte die Insel in Hinblick auf den Stauraum trotzdem möglichst klein gehalten werden.

In Randbereichen des Beckens bietet Gehölzvegetation mit ausgeprägter Krautschicht ein wichtiges zusätzliches Habitat für viele Vögel und gleichzeitig Schutz vor störenden Einflüssen durch die Umgebung. Allerdings werden dadurch auch der Laubeintrag und die damit verbundene Ansammlung von Biomasse verstärkt, die zu Verschlammung führt. Dies muss beim Einrichten der Gehölzvegetation berücksichtigt werden.

Totholz im Gelände kann zusätzlich Lebensraum für die Fauna bieten.

Allgemein ist es sinnvoll, sich bei der Planung an vorhandenen Geländestrukturen zu orientieren, um unnötige Bodenbewegungen zu vermeiden und die Herrichtung so kostengünstig wie möglich zu halten.

- Entwicklung der Vegetation

Grundsätzlich ist keine Einsaat vorzusehen. Die Pflanzengesellschaften sollen sich möglichst durch die natürlichen Überschwemmungen und aus der Samenbank einstellen. Für detailliert geplante, kleine Vegetationsbereiche mit sensitiven Pflanzen können Mahd- gutübertragungen von Spenderflächen der näheren Umgebung durchgeführt werden, falls sich die Vegetation nicht von alleine einstellen sollte.

- Anlage von Arbeitswegen

Eine gute Erreichbarkeit vereinfacht die Durchführung der Unterhaltungsmaßnahmen. Deshalb werden zusätzliche Arbeitswege angelegt, die möglichst alle Schilfflächen erreichen und vor Durchnässung geschützt sind. Letzteres wird durch eine Höhe erreicht, die 0,6 m über dem Dauerwasserstand des HRB liegt. Die Wege sollen ca. 4 m breit sein und

sind als Schotterrasenfläche zu befestigen. Zusätzlich wird eine Wendemöglichkeit am Ende des längsten Arbeitsweges eingerichtet (ca. 9 × 15,5 m).

- Gestaltung im Bereich Naherholung

Eine Erlebbarkeit der naturnahen Fläche ist der Grundgedanke bei der Naherholungsfunktion der Fläche. Dabei sollte berücksichtigt werden, dass die Flora und Fauna im Gebiet durch diese Erlebbarkeit nicht eingeschränkt wird. Ein Betreten der Fläche sollte daher nur über Stege stattfinden und nicht in der gesamten Fläche möglich sein, um den Tieren einen Rückzug zu ermöglichen. Alternativ können am Rand der Fläche Aussichtspunkte auf die Fläche eingerichtet werden. Ausgestattet mit Bänken oder entsprechenden Objekten. Durch Infomaterial (Schaukästen) zum Gebiet und den Lebewesen darin kann ein naturnahes Lernen ermöglicht werden.

Unterhaltung

Eine Unterhaltung des HRB ist zwingend nötig, um den hergestellten Zustand und die positiven ökologischen Bedingungen zu erhalten. Das Zulassen der natürlichen Sukzession wird auf Flächen dieser Größe nicht empfohlen, da sich relativ schnell eine flächendeckende, homogene Vegetationsstruktur entwickeln und andere Arten verdrängt würden.

- Wartung der Wasserbauwerke

Insbesondere vor und nach einem Hochwasserereignis sind die Durchlässe zu kontrollieren und Totholz und Treibsel, ggf. auch im Gewässerverlauf oberhalb, zu entfernen, um Verkläuserung zu vermeiden.

- Durchführung der Mahd

Generell soll eine Mahd der Vegetation einmal im Jahr stattfinden. Große Flächen sind mit Balkenmähern und kleine Flächen händisch zu bearbeiten. Auf Freischneider sollte als Werkzeug in der Unterhaltung des HRB möglichst verzichtet werden, da die Entnahme des dadurch entstehenden sehr feinen Mahdguts schwierig ist.

Um Lebensraum für die Fauna zu sichern, findet die Mahd mosaikartig, ohne klare Grenzen und zu unterschiedlichen Zeiten statt. So bleibt immer ein Altbestand erhalten, der Schutz für die Fauna im Gebiet bietet. Außerdem werden gezielt Störungen des Bodens und der Vegetation in bestimmten Zonen hervorgerufen, die kleinräumig Sukzession ermöglichen und so zur Erhöhung der Biodiversität beitragen (Hypothese mittlerer Störungsintensität). Eine großflächige Sukzession im gesamten Gebiet sollte aber vermieden werden, um den geplanten Zustand zu erhalten.

Das Mahdgut ist aus dem HRB zu entfernen, um einen Nährstoffentzug zu erreichen.

Für die Mahd der Röhrichtflächen wird zusätzlich die Entnahme der Wurzeln empfohlen, um ein schnelles Wiederaufwachsen zu vermeiden.

- Umgang mit Gehölzen

Die Gehölze werden ca. alle zehn Jahre auf den Stock gesetzt. Der Gehölzrückschnitt erfolgt mosaikartig.

Die Gehölz- und Röhrichtpflege ist von Oktober bis einschließlich Februar, außerhalb der Vegetations- und Brutzeiten erlaubt.

- Entschlammung

Infolge der Sedimentation wird sich das Retentionsvolumen im HRB mittelfristig vermindern. Zur Sicherstellung des nötigen Speichervolumens sollte die Schlammablagerung in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden und auf dieser Basis Entscheidungen über die Entschlammung getroffen werden. In den Röhrichtbereichen ist im Vergleich zu den anderen Beckenbereichen mit höheren Akkumulationsraten zu rechnen.

Entschlammungen verursachen grundsätzlich hohe Kosten für Baggerarbeiten, Analytik sowie Entsorgung und sind mit einem Eingriff in das Ökosystem verbunden. Entschlammungen haben neben der Wiederherstellung der Wasserrückhaltfunktion aber den positiven Effekt, dass die an die Sedimentationspartikel assoziierten Schadstoffe aus dem HRB entfernt, entsorgt und somit dem Ökosystem entzogen werden.

Bei Anlage der Röhrichtflächen in leicht zugänglichen Bereichen kann es ausreichend sein, nur diese in kürzeren Abständen zu entschlammen. Eine Entschlammung des gesamten Beckens kann somit über einen längeren Zeitraum hinausgezögert oder ganz vermieden werden. So findet auch die Entschlammung mosaikartig statt.

Tab. 26: Gefäßpflanzenarten des HRB Retentionsraum Mühlenau im Sommer 2017 (Lenzewski, 2019) Nomenklatur der Arten folgt Jäger (2017).

<i>Acer pseudoplatanus</i>	<i>Epilobium hirsutum</i>	<i>Phragmites australis</i>
<i>Aegopodium podagraria</i>	<i>Epilobium montanum</i>	<i>Plantago lanceolata</i>
<i>Agrostis stolonifera</i>	<i>Epilobium palustre</i>	<i>Poa palustris</i>
<i>Ajuga reptans</i>	<i>Equisetum arvense</i>	<i>Poa pratensis</i>
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	<i>Equisetum palustre</i>	<i>Poa trivialis</i>
<i>Alliaria petiolata</i>	<i>Festuca gigantea</i>	<i>Potentilla anserina</i>
<i>Alnus glutinosa</i>	<i>Festuca rubra</i>	<i>Ranunculus acris</i>
<i>Alopecurus pratensis</i>	<i>Filipendula ulmaria</i>	<i>Ranunculus flammula</i>
<i>Arrhenatherum elatius</i>	<i>Fraxinus excelsior</i>	<i>Ranunculus repens</i>
<i>Artemisia vulgaris</i>	<i>Galeopsis tetrahit</i>	<i>Rorippa palustris</i>
<i>Berula erecta</i>	<i>Galium aparine</i>	<i>Rubus fruticosus</i> agg.
<i>Bromus inermis</i>	<i>Galium palustre</i>	<i>Rumex acetosa</i>
<i>Butomus umbellatus</i>	<i>Geum urbanum</i>	<i>Rumex crispus</i>
<i>Calamagrostis canescens</i>	<i>Glechoma hederacea</i>	<i>Rumex obtusifolius</i>
<i>Callitriche palustris</i> agg.	<i>Heracleum sphondylium</i>	<i>Rumex sanguineus</i>
<i>Calystegia sepium</i>	<i>Holcus lanatus</i>	<i>Salix cinerea</i>
<i>Cardamine hirsuta</i>	<i>Holcus mollis</i>	<i>Salix x rubens</i>
<i>Carex acuta</i>	<i>Humulus lupulus</i>	<i>Salix viminalis</i>
<i>Carex leporina</i>	<i>Iris pseudacorus</i>	<i>Schoenoplectus lacustris</i>
<i>Carex pseudocyperus</i>	<i>Juncus articulatus</i>	<i>Scirpus sylvaticus</i>
<i>Cerastium holosteoides</i>	<i>Juncus effusus</i>	<i>Scrophularia nodosa</i>
<i>Cirsium arvense</i>	<i>Lathyrus pratensis</i>	<i>Stachys palustris</i>
<i>Cirsium oleraceum</i>	<i>Lemna minor</i>	<i>Taraxacum sect. Ruderalia</i>
<i>Cornus sanguinea</i>	<i>Lotus pedunculatus</i>	<i>Typha angustifolia</i>
<i>Crataegus monogyna</i>	<i>Lycopus europaeus</i>	<i>Typha latifolia</i>
<i>Dactylis glomerata</i>	<i>Lysimachia nummularia</i>	<i>Urtica dioica</i>
<i>Deschampsia cespitosa</i>	<i>Lysimachia vulgaris</i>	<i>Valeriana excelsa</i>
<i>Dryopteris filix-mas</i>	<i>Lythrum salicaria</i>	<i>Veronica beccabunga</i>
<i>Eleocharis palustris</i>	<i>Mentha arvensis</i>	<i>Vicia cracca</i>
<i>Elymus repens</i>	<i>Myosotis scorpioides</i>	
<i>Epilobium ciliatum</i>	<i>Phalaris arundinacea</i>	

Tab. 27: Übersicht der Fauna der Zonen des HRB Retentionsraumes Mühlenau entsprechend dem Szenario ‚Maximierung Biotopqualität‘. Angegeben sind Tierarten, die im Retentionsraum in den aktuell bestehenden Zonen (Zone 1 bis 9) vorhanden sind (Hamann & Möller, 2011, Carstens, 2018, Schwarz, 2017), sowie Tierarten, die in den zu entwickelnden Zonen (Zone 10 bis 14) potentiell vorkommen könnten. Zielarten sind unterstrichen.

Nr.	Zone	Fauna (Bestand oder potentiell vorkommend)	Bestand oder Entwicklung
1	Dauerstau	<u>Grasfrosch</u> (<i>Rana temporaria</i>), <u>Graureiher</u> (<i>Ardea cinerea</i>), <u>Krickente</u> (<i>Anas crecca</i>), <u>Teichhuhn</u> (<i>Gallinula chloropus</i>), <u>Stockente</u> (<i>Anas platyrhynchos</i>), <u>Blässhuhn</u> (<i>Fulica atra</i>), <u>Kanadagans</u> (<i>Branta canadensis</i>)	Bestand
2	Ufervegetation	<u>Rohrhammer</u> (<i>Emberiza schoeniclus</i>), <u>Teichhuhn</u> (<i>Gallinula chloropus</i>), <u>Teichrohrsänger</u> (<i>Acrocephalus scirpaceus</i>)	Bestand
3	nordöstliche Böschung	Amsel (<i>Turdus merula</i>), Bachstelze (<i>Motacilla alba</i>), Blaumeise (<i>Parus caeruleus</i>), Buntspecht (<i>Dendrocopos major</i>), Dohle (<i>Coloeus monedula</i>), Fitis (<i>Phylloscopus trochilus</i>), Gimpel (<i>Pyrrhula pyrrhula</i>), Heckenbraunelle (<i>Prunella modularis</i>), Kohlmeise (<i>Parus major</i>), Mönchsgrasmücke (<i>Sylvia atricapilla</i>), Ringeltaube (<i>Columba palumbus</i>), Rotkehlchen (<i>Erithacus rubecula</i>), Singdrossel (<i>Turdus philomelos</i>), Zaunkönig (<i>Troglodytes troglodytes</i>), Zilpzalp (<i>Phylloscopus collybita</i>)	Bestand
4	Weg	Fasan (<i>Phasianus colchicus</i>), Bachstelze (<i>Motacilla alba</i>)	Bestand und Entwicklung
5	Insel	<u>Teichrohrsänger</u> (<i>Acrocephalus scirpaceus</i>), <u>Bachstelze</u> (<i>Motacilla alba</i>)	Bestand
6	Gerinne	<u>Neunstachliger Stichling</u> (<i>Pungitius pungitius</i>)	Bestand
7	Gehölzsaum	Amsel (<i>Turdus merula</i>), Bachstelze (<i>Motacilla alba</i>), Blaumeise (<i>Parus caeruleus</i>), Buntspecht (<i>Dendrocopos major</i>), Dohle (<i>Coloeus monedula</i>), Fitis (<i>Phylloscopus trochilus</i>), Gimpel (<i>Pyrrhula pyrrhula</i>), Heckenbraunelle (<i>Prunella modularis</i>), Kohlmeise (<i>Parus major</i>), Mönchsgrasmücke (<i>Sylvia atricapilla</i>), Ringeltaube (<i>Columba palumbus</i>), Rotkehlchen (<i>Erithacus rubecula</i>), Singdrossel (<i>Turdus philomelos</i>), Zaunkönig (<i>Troglodytes troglodytes</i>), Zilpzalp (<i>Phylloscopus collybita</i>)	Bestand
8	südöstliche Böschung	[unbekannt]	Bestand
9	Röhricht	<u>Rohrhammer</u> (<i>Emberiza schoeniclus</i>), <u>Teichhuhn</u> (<i>Gallinula chloropus</i>), <u>Teichrohrsänger</u> (<i>Acrocephalus scirpaceus</i>)	Bestand
10	Nord- und südwestliche Böschung	Fasan (<i>Phasianus colchicus</i>), Kleiner Fuchs (<i>Aglais urticae</i>)	Entwicklung

Nr.	Zone	Fauna (Bestand oder potentiell vorkommend)	Bestand oder Entwicklung
11	Kleinseggenried	<u>Bekassine (<i>Gallinago gallinago</i>), Rotschenkel (<i>Tringa totanus</i>), Zwergschnepfe (<i>Lymnocyptes minimus</i>), Uferschnepfe (<i>Limosa limosa</i>), Kanadagans (<i>Branta canadensis</i>)</u>	Entwicklung
12	Feuchtwiese	<u>Bekassine (<i>Gallinago gallinago</i>), Rotschenkel (<i>Tringa totanus</i>), Zwergschnepfe (<i>Lymnocyptes minimus</i>), Uferschnepfe (<i>Limosa limosa</i>), Bachstelze (<i>Motacilla alba</i>), Kanadagans (<i>Branta canadensis</i>)</u>	Entwicklung
13	Flutrasen	<u>Bekassine (<i>Gallinago gallinago</i>), Rotschenkel (<i>Tringa totanus</i>), Zwergschnepfe (<i>Lymnocyptes minimus</i>), Uferschnepfe (<i>Limosa limosa</i>), Kanadagans (<i>Branta canadensis</i>)</u>	Entwicklung
14	Temporärgewässer	<u>Plattbauchlibelle (<i>Libellula depressa</i>), Kleine Pechlibelle (<i>Ischnura pumilio</i>), Laubfrosch (<i>Hyla arborea</i>), Kreuzkröte (<i>Bufo calamita</i>)</u>	Entwicklung

10 Aufstellungsvermerk

Bearbeitet, fachtechnisch geprüft und aufgestellt von:

Dieter Ackermann, LSBG (Textbeiträge)

Friederike Fischer, LSBG (Textbeiträge und Grafiken)

Fred Hesser, LSBG (Textbeiträge)

Gabriele Gönnert, LSBG (Textbeiträge)

Sandra Hellmers, TUHH (Textbeiträge und Grafiken)

Malte Jahn, HWWI (Textbeiträge)

Sonja Peters, LSBG (Grafiken)

Marie Christin Rische, HWWI (Textbeiträge)

Nikola Lenzewski, UHH (Textbeiträge)

Kira Kalinski, UHH (Textbeiträge)

Hamburg, den 09.03.2020

elektronisch gezeichnet

G10 Gabriele Gönnert
(Fachbereichsleitung)

Freie und Hansestadt Hamburg
Landesbetrieb Straßen, Brücken und Gewässer
Sachsenfeld 3-5
20097 Hamburg

Titelbild: Retentionsraum Mühlenau am 14.11.2018,
Friederike Fischer