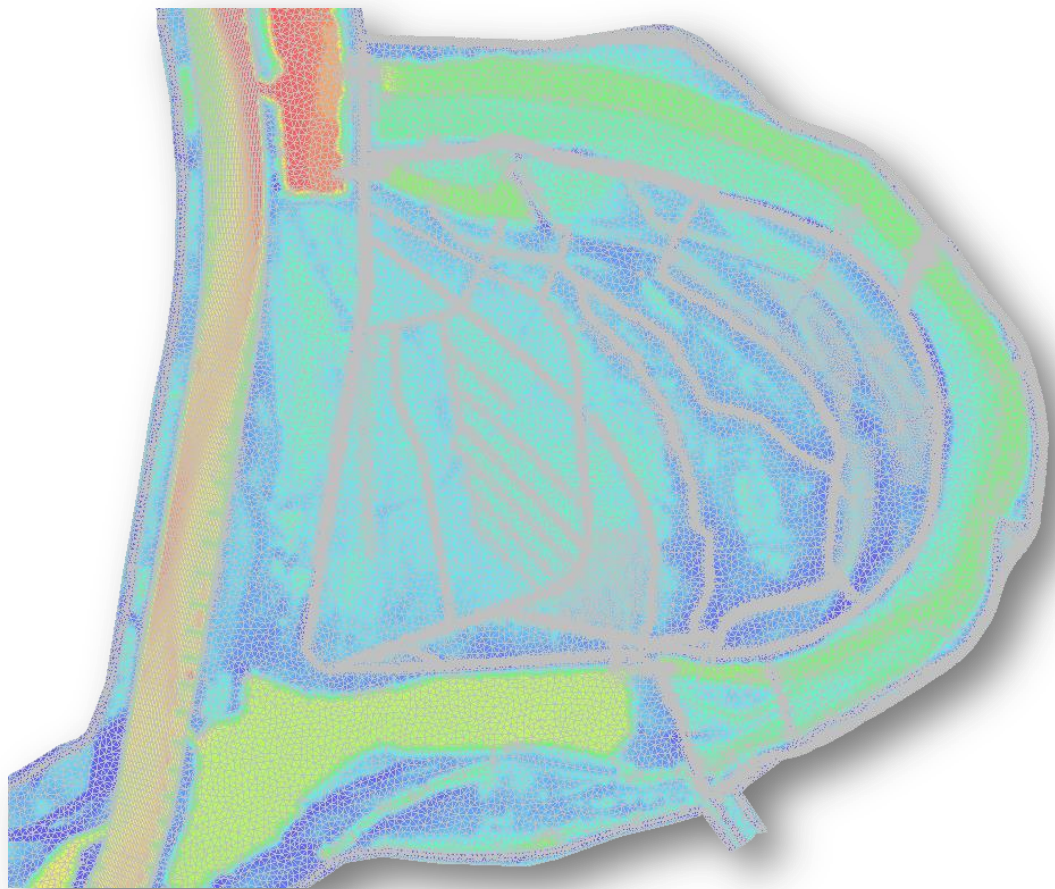


Bericht zur Variantenuntersuchung

Rückhalteraum Elisabethenwört - 2D-Hydraulische Untersuchungen



Auftraggeber

Regierungspräsidium Karlsruhe, Referat 53.1

Aachen, März 2018

Wir danken allen Beteiligten für die Hilfestellungen bei der Bearbeitung und die jederzeit freundliche und kooperative Zusammenarbeit.

Projektbearbeitung

Dipl.-Ing. (FH) Andreas Förster
Dr.-Ing. Klaus Friedeheim
Dipl.-Geogr. Lisa Friedeheim
Dipl.-Kart. (FH) Susanne Friedeheim
Prof. Dr.-Ing. Alpaslan Yörük

Redaktion

M.A. Geogr. Birgitt Charl

Das Titelbild zeigt einen Ausschnitt aus dem hydraulischen 2D-Modell (Hydrotec).

Aachen, März 2018

(Prof. Dr.-Ing. Alpaslan Yörük)

(Dipl.-Geogr. Lisa Friedeheim)

© Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH
Bachstraße 62-64
D-52066 Aachen

Jegliche anderweitige, auch auszugsweise, Verwertung des Berichtes, der Anlagen und ggf. mitgelieferter Projekt-Datenträger außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Zustimmung des Auftraggebers unzulässig. Dies gilt insbesondere auch für Vervielfältigungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

| | |
|---------------------------|--------------|
| Projektnummer | P1723 |
| Anzahl der Ausfertigungen | 2 |
| Ausfertigungsnummer | 2 - 1 |
| Auflage | 1 |

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| Abbildungsverzeichnis | V |
| Tabellenverzeichnis | VIII |
| Abkürzungsverzeichnis | IX |
| Anlagenverzeichnis | XI |
| 1 Einleitung | 1 |
| 2 Planungsraum | 3 |
| 3 Datengrundlagen | 5 |
| 4 Modellerstellung | 6 |
| 4.1 Verwendete Software..... | 6 |
| 4.2 Datengrundlagen Modellerstellung..... | 7 |
| 4.2.1 Auswahl der Höheninformationen | 7 |
| 4.2.2 Auswahl der Abflüsse..... | 8 |
| 4.2.3 Aufbau des Modellnetzes | 8 |
| 4.2.3.1 Erstellung des Flussschlauchnetzes | 8 |
| 4.2.3.2 Erstellung des Vorlandnetzes | 9 |
| 4.2.3.3 Besonderheiten..... | 10 |
| 4.2.4 Rauheiten und Landnutzung..... | 12 |
| 4.3 Kalibrierung | 14 |
| 4.3.1 Abflüsse Kalibrierung | 15 |
| 4.3.2 Pegel Maxau | 16 |
| 4.3.3 Pegel Speyer..... | 16 |
| 4.3.4 Fixierungswasserspiegel | 17 |
| 4.3.4.1 Fixierungswasserspiegel stationäre Berechnungen | 17 |
| 4.3.4.2 Fixierungswasserspiegel instationäre Berechnung HW 06/2013_1inst..... | 18 |
| 4.3.5 Auswertung und Fazit | 20 |
| 4.4 Validierung | 21 |
| 4.4.1 Abflüsse Validierung | 21 |
| 4.4.2 Auswertung und Fazit | 23 |
| 5 Variantenuntersuchung | 25 |
| 5.1 Abflüsse Variantenuntersuchung | 25 |
| 5.1.1 Instationäre Rechenläufe | 26 |
| 5.1.1.1 Abflusstreppe..... | 26 |
| 5.1.1.2 Abflusstreppe, Stufe 4..... | 26 |
| 5.1.1.3 Aktualisiertes Modell-HW 1988 (Modell-HW_D59)..... | 26 |
| 5.1.2 Stationäre Rechenläufe..... | 28 |

| | | |
|----------|---|-----------|
| 5.2 | Übersicht Varianten | 28 |
| 5.2.1 | Istzustand..... | 29 |
| 5.2.2 | D_k_04 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI und Flutmulde) | 32 |
| 5.2.3 | D_k_05 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, Flutmulde und durchgängige Schluten) | 33 |
| 5.2.4 | D_k_06 (Dammrückverlegung klein mit Komplettabtrag HWD XXXI) | 35 |
| 5.2.5 | D_k_08 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, optimierten Schluten und BW02 verschoben) | 36 |
| 5.2.6 | D_m_04 (Dammrückverlegung mittel mit Komplettabtrag HWD XXXI).... | 38 |
| 5.2.7 | D_g_03 (Dammrückverlegung groß mit Komplettabtrag HWD XXXI)..... | 40 |
| 5.2.8 | P_k_02 (Polder klein)..... | 43 |
| 5.2.9 | P_k_03 (Polder klein und Sanierung der Sommerdämme)..... | 45 |
| 5.2.10 | P_k_04 (Polder klein und Vergrößerung des BW01 (doppelte Breite)).... | 47 |
| 5.2.11 | P_k_05 (Polder klein und Einbau maximal optimierte Schluten) | 49 |
| 5.2.12 | P_k_06 (Polder klein, Einbau maximal optimierter Schluten, Vergrößerung der Bauwerke BW01 und BW02) | 51 |
| 5.2.13 | P_k_07 (Polder klein, Einbau der Schluten im Waldgebiet und Sanierung des östlichen Sommerdamms)..... | 52 |
| 5.2.14 | P_k_08 (Polder klein mit optimierten Schluten und BW02 verschoben) .. | 54 |
| 5.2.15 | P_m_02 (Polder mittel)..... | 56 |
| 5.2.16 | P_g_02 (Polder groß)..... | 58 |
| 5.2.17 | DP_k_01 (DRV/Polder-Variante klein) | 61 |
| 5.2.18 | DP_k_02 (DRV/Polder-Variante klein, Trenndamm verschoben und Schluten identisch zu P_k_08 bzw. D_k_08)..... | 63 |
| 5.2.19 | DP_m_01 (DRV/Polder-Variante mittel) | 65 |
| 5.3 | Ergebnisdarstellung | 67 |
| 6 | Auswertung Modellergebnisse | 71 |
| 6.1 | Einzelauswertung der Varianten | 71 |
| 6.1.1 | D_k_04 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI und Flutmulde) | 71 |
| 6.1.2 | D_k_05 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, Flutmulde und durchgängigen Schluten) | 72 |
| 6.1.3 | D_k_06 (Dammrückverlegung klein mit Komplettabtrag HWD XXXI) | 73 |
| 6.1.4 | D_k_08 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, optimierten Schluten und BW02 verschoben) | 74 |
| 6.1.5 | D_m_04 (Dammrückverlegung mittel mit Komplettabtrag HWD XXXI).... | 75 |
| 6.1.6 | D_g_03 (Dammrückverlegung groß mit Komplettabtrag HWD XXXI)..... | 75 |
| 6.1.7 | P_k_02 (Polder klein)..... | 76 |
| 6.1.8 | P_k_03 (Polder klein und Sanierung der Sommerdämme)..... | 77 |
| 6.1.9 | P_k_04 (Polder klein und Vergrößerung des BW01 (doppelte Breite)).... | 78 |
| 6.1.10 | P_k_05 (Polder klein und Einbau maximal optimierte Schluten) | 79 |
| 6.1.11 | P_k_06 (Polder klein, Einbau maximal optimierter Schluten, Vergrößerung der Bauwerke BW01 und BW02) | 80 |
| 6.1.12 | P_k_07 (Polder klein, Einbau der Schluten im Waldgebiet und Sanierung des östlichen Sommerdamms)..... | 80 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 6.1.13 | P_k_08 (Polder klein mit optimierten Schluten und BW02 verschoben) .. | 81 |
| 6.1.14 | P_m_02 (Polder mittel)..... | 83 |
| 6.1.15 | P_g_02 (Polder groß)..... | 83 |
| 6.1.16 | DP_k_01 (DRV/Polder-Variante klein) | 85 |
| 6.1.17 | DP_k_02 (DRV/Polder-Variante klein, Trenndamm verschoben und Schluten identisch zu P_k_08 bzw. D_k_08)..... | 86 |
| 6.1.18 | DP_m_01 (DRV/Polder-Variante mittel) | 86 |
| 6.2 | Variantenvergleich | 87 |
| 6.2.1 | Vergleich Varianten D_k_06 und D_k_04 (Dammrückverlegung klein mit Komplettabtrag bzw. Teilabtrag HWD XXXI)..... | 87 |
| 6.2.2 | Vergleich Varianten D_k_04 und D_k_05 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, Flutmulde und ohne bzw. mit durchgängigen Schluten)..... | 88 |
| 6.2.3 | Vergleich Varianten D_k/m/g (Dammrückverlegung klein, mittel, groß)... | 89 |
| 6.2.4 | Vergleich Varianten P_k/m/g (Polder klein, mittel bzw. groß) | 89 |
| 6.2.5 | Vergleich Varianten D_k und P_k (Dammrückverlegung klein und Polder klein) | 91 |
| 6.2.6 | Vergleich Varianten P_k_02 und P_k_05 (Einfluss maximal optimierter Schluten)..... | 91 |
| 6.2.7 | Vergleich Varianten P_k_06 und P_k_05 (Einfluss Verbreiterung Ein- und Auslaufbauwerk) | 92 |
| 6.2.8 | Vergleich P_k_05 und P_k_08..... | 92 |
| 6.2.9 | Vergleich D_k_08, P_k_08 und DP_k_02..... | 93 |
| 7 | Zusatzuntersuchungen | 95 |
| 7.1 | Stauinhaltskurven | 95 |
| 7.2 | Hydraulische Untersuchung zur Polder-Befüllung..... | 97 |
| 7.3 | Hydraulische Untersuchung zur Polder-Durchströmung..... | 97 |
| 7.4 | Polderentleerung | 97 |
| 7.5 | Varianteneinfluss auf den Rheinwasserspiegel..... | 102 |
| 8 | Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse | 103 |
| 9 | Literatur | 108 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|-----------------|---|----|
| Abbildung 2-1: | Planungsraum Elisabethenwört (RP Karlsruhe 2016)..... | 3 |
| Abbildung 2-2: | Modellgebiet Oberflächengewässer (Quelle: ESRI, ©Openstreetmap contributors)..... | 4 |
| Abbildung 4-1: | Gegenüberstellung Peilungsdaten minus DGM-W mit Abweichungen in m (Ausschnitt)..... | 7 |
| Abbildung 4-2: | Exemplarische Darstellung der Längsstrukturen (braun) und der Querprofile (grün)..... | 8 |
| Abbildung 4-3: | Generierter Flussschlauch, Darstellung in SMS (3D-Ansicht)..... | 9 |
| Abbildung 4-4: | Digitalisierte Bruchkanten (schwarz) im Bereich Elisabethenwört | 9 |
| Abbildung 4-5: | Fehlende DGM-W-Daten in Abschnitt 1..... | 10 |
| Abbildung 4-6: | Darstellung Abschnitt 1 im 2D-Modell..... | 10 |
| Abbildung 4-7: | Fehlende DGM-W-Daten in Abschnitt 2..... | 11 |
| Abbildung 4-8: | Darstellung Abschnitt 2 im 2D-Modell..... | 11 |
| Abbildung 4-9: | Gemessene Abflussganglinie am Pegel Maxau für das HW 06/2013_1inst | 16 |
| Abbildung 4-10: | Darstellung der W-Q-Beziehung am Pegel Speyer für die instationäre Berechnung HW 06/2013_1inst | 17 |
| Abbildung 4-11: | Fixierungswasserspiegel für den Rheinabschnitt von Leimersheim bis Speyer (FKM 370 bis 401) und 51 Ereignisse..... | 17 |
| Abbildung 4-12: | Fixierungspunkte für das HW 06/2013_1inst | 19 |
| Abbildung 4-13: | Kalibrierungsergebnisse der Hochwasser HW 04/2013, HW 06/2013_2 und 06/2013_1inst - Gegenüberstellung der 2D-Ergebnisse und Fixierungspunkte/HW-Marken..... | 20 |
| Abbildung 4-14: | Kalibrierungsergebnisse des Hochwassers 06/2013_1inst - Gegenüberstellung berechnete / gemessene Abflusskurve am Pegel Speyer..... | 21 |
| Abbildung 4-15: | Validierungsergebnisse des Hochwassers HW 08/2007inst - Gegenüberstellung der 2D-Ergebnisse und HW-Marken (zur Einordnung sind die Kalibrierungsergebnisse mit dargestellt) | 23 |
| Abbildung 4-16: | Validierungsergebnisse des Hochwassers 08/2007inst - Gegenüberstellung berechnete / gemessene Abflusskurve am Pegel Speyer..... | 24 |
| Abbildung 5-1: | Zuflussganglinie Treppe | 26 |
| Abbildung 5-2: | Ganglinie Modell-HW D59 03/1988 (Quelle: HVZ) | 27 |
| Abbildung 5-3: | DGM Rückhalteraum mit Geländeschnittlinien..... | 29 |
| Abbildung 5-4: | DGM-Schnitt 1 | 30 |
| Abbildung 5-5: | DGM-Schnitt 2 | 30 |
| Abbildung 5-6: | Dammrückverlegung klein (D_k_04) | 32 |
| Abbildung 5-7: | links: Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke; rechts: Flutmulde BW01 D_k_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)..... | 32 |
| Abbildung 5-8: | Dammrückverlegung klein D_k_05..... | 33 |
| Abbildung 5-9: | links: Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke; rechts: Flutmulde BW01 D_k_05 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)..... | 33 |
| Abbildung 5-10: | Dammrückverlegung klein D_k_06..... | 35 |
| Abbildung 5-11: | Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke D_k_06 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 35 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 5-12: Dammrückverlegung klein (D_k_08) | 36 |
| Abbildung 5-13: Flutmulde BW01 D_k_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 36 |
| Abbildung 5-14: Dammrückverlegung mittel D_m_04 | 38 |
| Abbildung 5-15: Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke D_m_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 38 |
| Abbildung 5-16: Auslassbresche BW04 mit Flutbrücke D_m_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 39 |
| Abbildung 5-17: Dammrückverlegung groß D_g_03 | 40 |
| Abbildung 5-18: Einlassbresche BW03 D_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 40 |
| Abbildung 5-19: Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke D_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 41 |
| Abbildung 5-20: Auslassbresche BW04 mit Flutbrücke D_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 41 |
| Abbildung 5-21: Auslassbresche BW06 mit Flutbrücke D_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 41 |
| Abbildung 5-22: Neubau der Flutbrücke RNK D_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 42 |
| Abbildung 5-23: Polder klein P_k_02 | 43 |
| Abbildung 5-24: Bauwerk BW01 P_k_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 43 |
| Abbildung 5-25: Bauwerk BW02 P_k_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 44 |
| Abbildung 5-26: Polder klein P_k_03 | 45 |
| Abbildung 5-27: Bauwerk BW01 P_k_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 45 |
| Abbildung 5-28: Bauwerk BW02 P_k_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 46 |
| Abbildung 5-29: Polder klein P_k_04 | 47 |
| Abbildung 5-30: Bauwerk BW01 P_k_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 47 |
| Abbildung 5-31: Bauwerk BW02 P_k_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 48 |
| Abbildung 5-32: Polder klein P_k_05 | 49 |
| Abbildung 5-33: Bauwerk BW01 P_k_05 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 49 |
| Abbildung 5-34: Bauwerk BW02 P_k_05 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 50 |
| Abbildung 5-35: Polder klein P_k_06 | 51 |
| Abbildung 5-36: Polder klein P_k_07 | 52 |
| Abbildung 5-37: Bauwerk BW01 P_k_07 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 52 |
| Abbildung 5-38: Bauwerk BW02 P_k_07 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 53 |
| Abbildung 5-39: Polder klein P_k_08 | 54 |
| Abbildung 5-40: Bauwerk BW01 P_k_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 54 |
| Abbildung 5-41: Bauwerk BW02 P_k_08 (Ausschnitt 2D-Modell) | 55 |

| | |
|---|-----|
| Abbildung 5-42: Polder mittel P_m_02..... | 56 |
| Abbildung 5-43: Bauwerk BW01 P_m_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 56 |
| Abbildung 5-44: Bauwerk BW02 P_m_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 57 |
| Abbildung 5-45: Bauwerk BW04 P_m_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 57 |
| Abbildung 5-46: Polder groß P_g_02..... | 58 |
| Abbildung 5-47: Bauwerk BW03 P_g_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 58 |
| Abbildung 5-48: Bauwerk BW02 P_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 59 |
| Abbildung 5-49: Bauwerk BW04 P_g_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 59 |
| Abbildung 5-50: Flutbrücke BW06 P_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 59 |
| Abbildung 5-51: Neubau der Flutbrücke RNK P_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 60 |
| Abbildung 5-52: Kombination Dammrückverlegung und Polder DP_k_01 | 61 |
| Abbildung 5-53: Bauwerk/Flutmulde BW01 (Ausschnitt 2D-Modell) | 62 |
| Abbildung 5-54: Bauwerk BW02 (Ausschnitt 2D-Modell)..... | 62 |
| Abbildung 5-55: Kombination Dammrückverlegung und Polder DP_k_02 | 63 |
| Abbildung 5-56: Bauwerk/Flutmulde BW01 (Ausschnitt 2D-Modell) | 64 |
| Abbildung 5-57: Bauwerk BW02 (Ausschnitt 2D-Modell)..... | 64 |
| Abbildung 5-58: Kombination Dammrückverlegung und Polder DP_m_01 | 65 |
| Abbildung 5-59: Flutmulde BW01 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)..... | 65 |
| Abbildung 5-60: Bauwerk BW04 DP_m_01 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen) | 66 |
| Abbildung 5-61: Variante P_k_03 Stufe 6 Überflutungshöhen | 67 |
| Abbildung 5-62: Variante P_k_03 Stufe 6 Strömungsverhältnisse | 68 |
| Abbildung 5-63: Variante P_k_03 Stufe 6 Wasserspiegellagen | 69 |
| Abbildung 5-64: Variante P_k_03 Stufe 6 Überflutungsdauer | 70 |
| Abbildung 7-1: Stauinhaltskurven Poldervariante Klein, Mittel und Groß | 95 |
| Abbildung 7-2: Stauinhaltskurven Poldervariante Klein, Mittel, Groß und DRV/Polder-Variante mittel..... | 96 |
| Abbildung 7-3: Stauinhaltskurven Poldervariante Klein und DRV/Polder-Variante klein | 96 |
| Abbildung 7-4: Geländeschnitt mit Wasserspiegel (WSPL) am Auslaufbauwerk..... | 98 |
| Abbildung 7-5: Totwasserbereiche ohne Geländeanpassungen (Tiefen in m) | 98 |
| Abbildung 7-6: Totwasserbereiche mit Geländeanpassungen (Tiefen in m) | 99 |
| Abbildung 7-7: Dynamische Entleerung P_k_05 nach Modell-HW | 100 |
| Abbildung 7-8: Vergleich Restentleerung D_k_08 (links), P_k_08 (mitte) und DP_k_02 (rechts)..... | 100 |
| Abbildung 7-9: Wasserspiegelganglinien im RHR..... | 101 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|--------------|--|-----|
| Tabelle 4-1: | Verwendete Rauheitsklassen (Manning/Strickler) für die 2D-Modellierung | 12 |
| Tabelle 4-2: | Übersicht über Modellparameter der Kalibrierungsrechenläufe | 15 |
| Tabelle 4-3: | Abflüsse und Wasserspiegel für die stationären Kalibrierungsrechenläufe für die W-Q-Beziehung am Pegel Speyer | 16 |
| Tabelle 4-4: | Stationäre Zuflüsse ermittelt aus Fixierungswasserspiegeln und der Abflusskurve am Pegel Maxau..... | 18 |
| Tabelle 4-5: | Übersicht über Modellparameter des Validierungsrechenlaufs | 22 |
| Tabelle 5-1: | Gegenüberstellung der Abflussstufen zu Wasserständen an den Pegeln Maxau und Speyer (www.hvz.baden-wuerttemberg.de) | 25 |
| Tabelle 5-2: | Abflüsse der Stufen | 28 |
| Tabelle 8-1: | Übersicht der untersuchten Varianten | 103 |

Abkürzungsverzeichnis

| Kürzel | Beschreibung |
|--------------------|---|
| AG | Auftraggeber |
| ALK | Automatisierte Liegenschaftskarte |
| ATKIS | Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem |
| BfG | Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz |
| BHQ | Bemessungshochwasser |
| D_g_... | Dammrückverlegung groß |
| D_k_... | Dammrückverlegung klein |
| D_m_... | Dammrückverlegung mittel |
| DP_k_... | Kombination aus Dammrückverlegung und Polder klein |
| DP_m_... | Kombination aus Dammrückverlegung und Polder mittel |
| DGM | Digitales Geländemodell |
| DRV | Dammrückverlegung |
| E/A | Einlass-/Auslass-Bauwerk |
| FFH | Fauna-Flora-Habitat |
| FKM | Flusskilometer |
| HVZ | Hochwasservorhersagezentrale Baden-Württemberg, Karlsruhe |
| HW 04/2013 | Hochwasserereignis am Rhein, April 2013 erfasst durch Wasserspiegellagenfixierung am 22.04.2013 (verwendet für Kalibrierung) |
| HW 06/2013_1 | Hochwasserereignis am Rhein, Juni 2013 Abflussscheitel 4223 m ³ /s am 02.06.2013 (verwendet für Kalibrierung) |
| HW 06/2013_1instat | Hochwasserereignis am Rhein, Juni 2013 Abflussscheitel 4223 m ³ /s am 02.06.2013 (verwendet für Kalibrierung), instationäre Berechnung |
| HW 06/2013_2 | Hochwasserereignis am Rhein, Juni 2013 erfasst durch Wasserspiegellagenfixierung vom 12./13.06.2013 (verwendet für Kalibrierung) |

| Kürzel | Beschreibung |
|----------------|---|
| HW 08/2007 | Hochwasserereignis am Rhein, August 2007 Abflussscheitel 4046 m ³ /s am 10.08.2007 (verwendet für Validierung), instationäre Berechnung |
| Modell-HW | Bemessungshochwasser abgeleitet aus dem Ereignis HW 03/1988, das auf einen Bemessungsabfluss von 5.000 m ³ /s skaliert wurde. |
| Modell-HW-D59 | Wie Modell-HW, lediglich mit verlängertem Zeitraum und angepasster Steuerung der Bauwerke im Oberlauf. |
| IKSR | Internationale Kommission zum Schutz des Rheins |
| IRP | Integriertes Rheinprogramm |
| LSG | Landschaftsschutzgebiet |
| LUBW | Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe |
| LUWG | Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz, Mainz |
| OT | Ortsteil |
| P_g_... | Polder groß |
| P_k_... | Polder klein |
| P_m_... | Polder mittel |
| PNP | Pegelnullpunkt |
| RHR, RHR Elisa | Rückhalteraum, Rückhalteraum Elisabethenwört |
| RP | Regierungspräsidium |
| SMS | Surface-water Modeling System |
| SPA | Special Protection Areas, z. B. Vogelschutzgebiete |
| WSV | Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes |

Anlagenverzeichnis

- Anlage 1: Modellkalibrierung HW 06/2013
- Anlage 2: Karten Istzustand
Wasserspiegellagen, Überflutungshöhen, Fließgeschwindigkeiten für die Berechnungsstufen 2, 3, 4, 5, 6, BHQ und für das Modellhochwasser
- Anlage 3: Karten Maßnahmenübersichten der Varianten
- Anlage 4: Karten Dammrückverlegungsvarianten (DRV-Varianten)
Wasserspiegellagen, Überflutungshöhen, Fließgeschwindigkeiten und Überflutungsdauer für die Berechnungsstufen 2, 3, 4, 5, 6, BHQ und für das Modellhochwasser
- Anlage 5: Karten Poldervarianten
Wasserspiegellagen, Überflutungshöhen, Fließgeschwindigkeiten und Überflutungsdauer für die Berechnungsstufen 2, 3, 4, 5, 6, BHQ
- Anlage 6: Übersicht über die Rechenläufe
- Anlage 7: Karte Dammrückverlegung klein, Stufe 4, verlängert
Berechnungsstufe 4 (lang)
- Anlage 8: Karten Wasserspiegeldifferenzen im Rhein für BHQ, Istzustand und Varianten

1 Einleitung

Der Ausbau des Oberrheins zwischen Basel und Iffezheim durch Staustufen führte u.a. zu einem Verlust von 130 km² Überschwemmungsflächen mit der Folge, dass Rheinhochwasser heute schneller und höher ablaufen und sich zudem ungünstiger mit den Hochwasserswellen der Nebenflüsse überlagern. Während für die ausgebaute Rheinstrecke oberhalb Iffezheim aufgrund des für die baulichen Anlagen ausgewählten Bemessungshochwassers ein sehr hoher Hochwasserschutz erreicht wurde, hat sich für die Rheinanlieger unterhalb von Iffezheim die Situation wesentlich verschlechtert.

Zur Wiederherstellung eines Schutzniveaus gegen ein 200-jährliches Hochwasserereignis am Pegel Karlsruhe-Maxau bzw. ein 220-jährliches Ereignis am Pegel Worms, wie es vor dem Ausbau des Oberrheins bestand, wurde das Integrierte Rheinprogramm (IRP), bestehend aus 13 Rückhalteräumen mit einem gesamten Rückhaltevolumen von 167,3 Mio. m³ im Januar 1996 vom Kabinett des Landes Baden-Württemberg beschlossen (Ministerium für Umwelt und Verkehr 1996). Das IRP beinhaltet die umweltverträgliche Wiederherstellung des Hochwasserschutzes und möglichst gleichrangig die Erhaltung und Renaturierung der Auenlandschaft am Oberrhein.

Einer der 13 Rückhalteräume ist der Raum Elisabethenwört (Landkreis Karlsruhe und Landkreis Gernersheim). Die Insel „Elisabethenwört“ (Rhein-km 380,8 bis 383,4) wird vom Rhein und dem Rußheimer Altrhein umschlossen und wurde ca. 1935 durch Dämme vom Rhein getrennt. Sie wird intensiv land- und forstwirtschaftlich genutzt. Hier soll auf einer Fläche von minimal 396 ha bis maximal 590 ha ein Rückhaltevolumen von mindestens 11,9 Mio. m³ geschaffen werden. Vorhabenträger ist das Regierungspräsidium Karlsruhe (RP Karlsruhe), Landesbetrieb Gewässer, Referat 53.1 - Gewässer I. Ordnung, Hochwasserschutz, Planung.

Hydrotec wurde am 21.05.2015 durch das RP Karlsruhe beauftragt, die hydraulischen Berechnungen für das Oberflächenwasser auf Basis von zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen (2D-)Modellen durchzuführen.

Die 2D-Berechnungen erfolgen mit dem Programm HYDRO_AS-2D 4.1 (Hydrotec/Nujić), das schwerpunktmäßig für die Berechnung von Dammb Brüchen und Flutwellenausbreitungen entwickelt wurde.

Ziel der hydraulischen Berechnungen ist die möglichst gute Abbildung der hydraulischen Verhältnisse der oberirdischen Gewässer – besonders des Rheins, des Rußheimer Altrheins und der Abflussvorgänge im Bereich der Insel Elisabethenwört. Die Ergebnisse dienen als Grundlage für die Wasserbauplanung (z.B. Dammhöhen), die grundwasserhydraulischen Berechnungen sowie die ökologischen Bewertungen.

Die hydraulischen Berechnungen wurden zuerst für den aktuellen Zustand durchgeführt und anschließend für die verschiedenen, im Planungsprozess bisher untersuchten Varianten. Die Untersuchungen wurden auf der Grundlage der aktuellen wasserbaulichen Objektplanung und unter Berücksichtigung der Belange der anderen am Planungsprozess Beteiligten abgestimmt.

Ermittelt wurden die Überflutungsflächen und –höhen, die Wasserspiegellagen sowie die Strömungsverhältnisse/Fließgeschwindigkeiten und die Überflutungsdauer im Rückhalteraum bei verschiedenen Abflusszuständen im Rhein. Basis der Untersuchungen sind dabei hydraulische Modelle, die auf möglichst aktuellen Eingangsdaten beruhen (vgl. Kapitel 3).

Der aktuelle Zustand wird als **Istzustand** bezeichnet. Die Modellaufstellung für den Istzustand ist in Kapitel 4.2 nachzulesen. Der Istzustand wird an verschiedenen Abflussereignissen geeicht bzw. kalibriert. Das Ziel der **Kalibrierung** ist hierbei eine minimale Abweichung zwischen gemessenen und simulierten Abflussvorgängen. Das Vorgehen bei der Kalibrierung ist Kapitel 4.3 zu entnehmen.

Ist das Ergebnis der Kalibrierung gut, erfolgt eine Überprüfung bzw. **Validierung** des Modells an einem weiteren Abflussereignis. Die Validierung wird in Kapitel 4.4 näher beschrieben. Das kalibrierte und validierte 2D-Modell wird im Anschluss herangezogen, um die geplanten Varianten abzubilden und die hydraulischen Parameter zu berechnen.

Die zu berechnenden Varianten lassen sich in zwei Variantengruppen, die ungesteuerten **Dammrückverlegungsvarianten** (DRV-Varianten) und die gesteuerten **Poldervarianten** gliedern. Sowohl für die DRV-Varianten als auch für die Poldervarianten gibt es eine kleine, eine mittlere und eine große Ausprägung. Bei den kleinen Varianten umfasst der Rückhalte-raum die Insel Elisabethenwört von den Planungen betroffen, bei den mittleren Varianten kommt der nördliche Teil des Rußheimer Altrheins dazu, die großen Varianten enthalten den Rußheimer Altrhein vollständig. Zu diesen sechs Grundvarianten gibt es teilweise Untervarianten, die sich in den Details unterscheiden. Die untersuchten Varianten werden detailliert in Kapitel 5.2 beschrieben.

Die für die hydraulischen Berechnungen verwendeten **Abflüsse** umfassen die für die Auenstufen wichtigen Rheinabflüsse in acht Abstufungen und zusätzlich die Berechnung des Bemessungshochwassers (BHQ) mit einem Abflussscheitel von 5.000 m³/s. Insgesamt handelt es sich um die Abflüsse 1.250 m³/s, 1.550 m³/s, 1.850 m³/s, 2.140 m³/s, 2.630 m³/s, 2.850 m³/s, 3.340 m³/s, 4.000 m³/s und 5.000 m³/s (BHQ).

Die Berechnungen wurden teilweise stationär, teilweise instationär durchgeführt. Bei der stationären Berechnung wird mit einem konstanten Abfluss gerechnet, während bei der instationären Berechnung eine sogenannte „Abflussganglinie“ mit zeitlich veränderlichen Abflusswerten angesetzt wird.

Instationär wurden Istzustand, Polder- und die DRV-Varianten berechnet; stationäre Berechnungen wurden zusätzlich für die Poldervarianten angesetzt. Die instationären Berechnungen sind relevant für die Beurteilung des Retentionseffektes der Varianten und werden auch für die Kopplung an das Grundwassermodell benötigt. Weiteres zu den verwendeten Abflüssen kann den Kapiteln 5.1, 4.3.1 (Abflüsse Kalibrierung) und 4.4.1 (Abflüsse Validierung) entnommen werden.

Die Auswirkungen der im Rahmen der Variantenuntersuchung berechneten Modellvarianten werden einzeln (Kapitel 6.1) und im Vergleich (Kapitel 6.1.18) beschrieben und verglichen.

Neben der eigentlichen Variantenuntersuchung wurden Zusatzuntersuchungen durchgeführt, die in Kapitel 7 beschrieben sind.

Die Zusammenfassung der Arbeiten erfolgt in Kapitel 8.

2 Planungsraum

Der Planungsraum befindet sich überwiegend im Landkreis Karlsruhe (Baden-Württemberg). Ein Teilgebiet im Nordwesten liegt im Landkreis Germersheim (Rheinland-Pfalz). Betroffen sind Gemarkungsflächen der Gemeinde Dettenheim (OT Rußheim) sowie der Städte Philippsburg und Germersheim.

Planungsrechtlich ist die Insel „Elisabethenwört“ mit dem umschließenden Rußheimer Altrhein in beiden Bundesländern jeweils als Naturschutzgebiet ausgewiesen und befindet sich innerhalb Europäischer Schutzgebiete des Natura 2000-Netzes (Fauna-Flora-Habitat Gebiete (FFH) und Vogelschutzgebiete (Special Protection Areas, SPA)). In der Waldfunktionenkartierung der Landesforstverwaltung sind die Wälder im NSG „Elisabethenwört“ als Wasserschutzwald ausgewiesen. Am Südrand des Planungsraumes grenzt ferner das Landschaftsschutzgebiet (LSG) „Rheinaue nördlich von Karlsruhe“ an. Auf rheinland-pfälzischem Gebiet besteht das LSG „Pfälzische Rheinauen“.

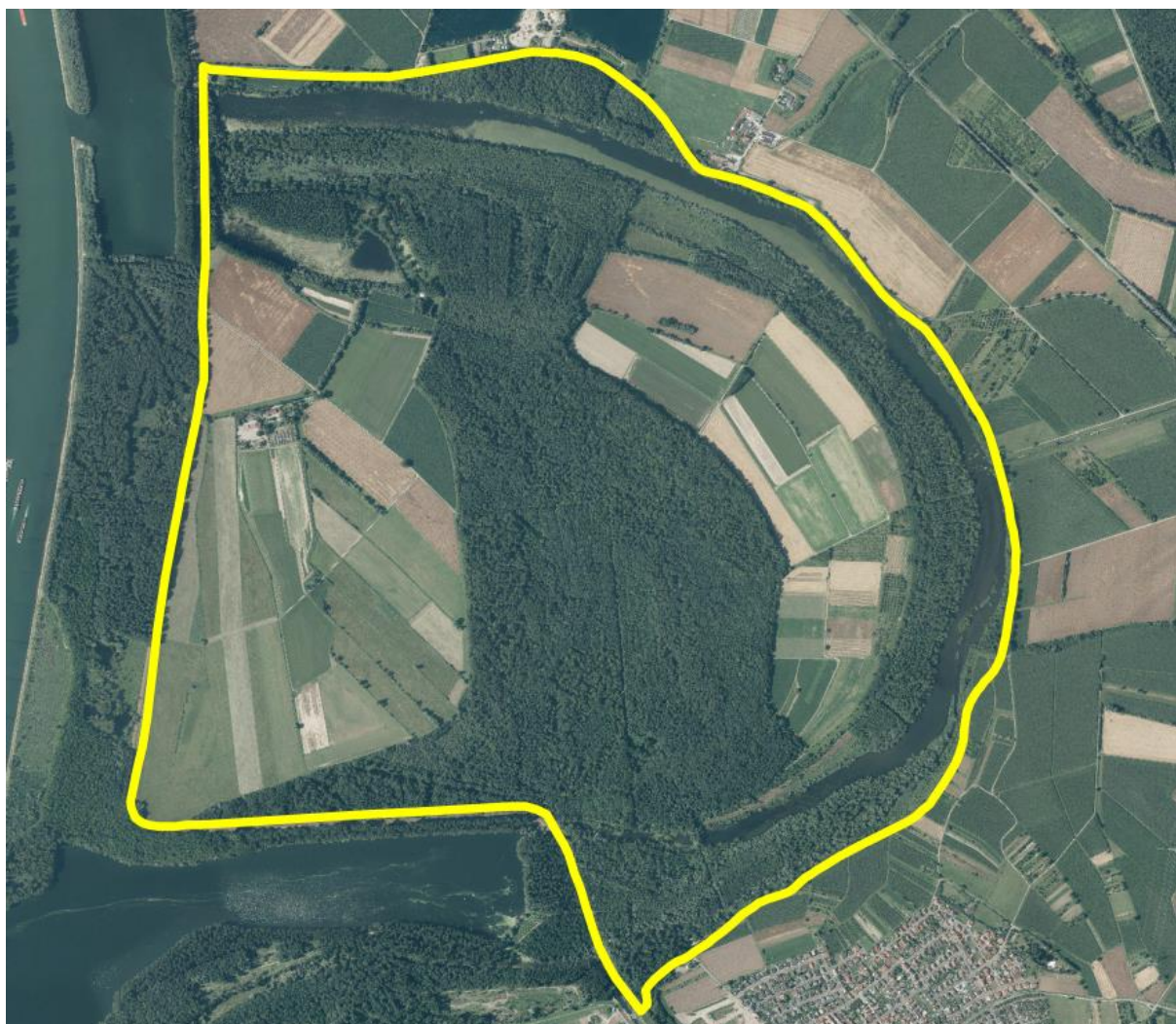


Abbildung 2-1: Planungsraum Elisabethenwört (RP Karlsruhe 2016)

Die aktuelle Nutzung des Planungsraumes ist aus dem Luftbild ersichtlich. Der östliche und westliche Teil wird landwirtschaftlich genutzt. Der mittlere Streifen ist Forstgebiet.

Für die hydraulische Untersuchung des Rückhalteraaumes wurde ein 2D-Modell erstellt. Das Modellgebiet erstreckt sich von Rhein Flusskilometer (FKM) 370.6 bei Leimersheim über den geplanten Rückhalteraum Elisabethenwört (FKM 380.6 bis 383.6) bis zum Rheinpegel

Speyer bei FKM 400.6. Entlang des Modellgebiets liegen die Ortschaften Leimersheim (FKM 373), Germersheim (FKM 384), Philippsburg (FKM 390) und Speyer (FKM 400).

Der Rhein wird im Modellgebiet von der Bahntrasse sowie der Bundesstraße 35 bei Germersheim und der Bundesstraße 39 bei Speyer überquert. Im Modell ist neben dem zu untersuchenden Rückhalteraum Elisabethenwört der bestehende Polder Rheinschanzinsel enthalten. Das Modellgebiet umfasst den Rhein und die Vorländer bis kurz hinter den Dämmen (vgl. Abbildung 2-2).



Abbildung 2-2: Modellgebiet Oberflächengewässer (Quelle: ESRI, ©Openstreetmap contributors)

3 Datengrundlagen

Im Rahmen der Untersuchungen wurden neben den in Kapitel 9 aufgeführten Literaturstellen nachstehende Unterlagen zur Verfügung gestellt:

- 1m x 1m Raster DGM-W (Bundesanstalt für Gewässerkunde 2004-2011)
- 1m x 1m Raster Laserscandaten, Bereich Elisabethenwört (RP Freiburg)
- Peilungsdaten (txt-Datei) (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2014)
- Datenübersicht DGM-W (shp-Datei) (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2014)
- Wasserspiegellagenfixierung (txt-Dateien) (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes 2002-2015)
- Wasserstandsganglinien für die Pegel Leimersheim, Philippsburg und Sondernheim (LUBW bzw. Aquantec)
- Wasserstands- und Abflussganglinien für die Pegel Maxau und Speyer (LUBW bzw. Aquantec und HVZ, 2006-2015)
- Pegelabflusskurven für die Pegel Maxau und Speyer (RP Karlsruhe, gültig ab 2009)
- ATKIS- und ALK-Daten für Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg (RP Karlsruhe)
- Vermessungsdaten Rußheimer Altrhein (Vermessungsbüro Weber 1991)
- Wasserspiegelfixierungen für Hochwasser (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes)
- Ganglinien Bemessungshochwasser und Modellhochwasser (HVZ)

4 Modellerstellung

4.1 Verwendete Software

Das Ziel der vorliegenden Untersuchung ist, den Istzustand sowie definierte Planzustände mit einem zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen (2D-) Modell abzubilden. 2D-Modelle werden heute im praktischen Wasserbau für viele Fragestellungen eingesetzt. Sie haben sich zu unverzichtbaren Werkzeugen in der Praxis entwickelt und ermöglichen dem Ingenieur die Wirkung von Maßnahmen effektiv zu bewerten.

Die 2D-Simulation basiert auf der Annahme, dass Geschwindigkeiten und Beschleunigungen in vertikaler Richtung null sind. Mit dieser Annahme lassen sich die gesuchten Parameter Fließgeschwindigkeit (zwei Komponenten in der Ebene) und Wassertiefe in jedem Berechnungsknoten über die Tiefe gemittelt für jeden Zeitschritt berechnen.

Die 2D-Berechnungen erfolgten mit dem Programm HYDRO_AS-2D 4.1 (Hydrotec/Nujić), das schwerpunktmäßig für die Berechnung von Dammb Brüchen und Flutwellenausbreitungen entwickelt wurde. Auf Basis der Finite-Volumen-Methode erfolgt die räumliche Diskretisierung unter Berücksichtigung von Bruchkanten und lokal erhöhter Netzauflösung mittels linearer Dreiecks- und Viereckselemente.

Das numerische Verfahren basiert auf der diskreten Lösung der 2D-tiefengemittelten Strömungsgleichungen, auch als Flachwassergleichung bekannt. Das explizite Zeitschrittverfahren sorgt für eine zeitgenaue Simulation des Wellenablaufs. In HYDRO_AS-2D werden folgende, für die Modellierung von Strömungs- und Abflussvorgängen wesentliche, Eigenschaften berücksichtigt:

- Massen- und Impulserhaltung,
- hohe Stabilität und Genauigkeit für ein breites Spektrum an Fließverhältnissen und
- zeitgenaue Simulation des Wellenablaufs.

Die Berechnung des Reibungsgefälles erfolgt nach der Formel von Darcy-Weisbach, wobei das Reibungsgefälle aus dem anzugebenden Manningwert (n) berechnet wird. Hierbei wird der hydraulische Radius gleich der Wassertiefe gesetzt.

$$\lambda = 6,34 \frac{2gn^2}{\sqrt[3]{d_{hy}}}$$

Die Turbulenz wird im Modell durch eine Kombination aus dem empirischen Viskositätsansatz und dem Ansatz einer über das Element konstanten Viskosität abgebildet.

$$\nu = \nu_0 + c_\mu hv$$

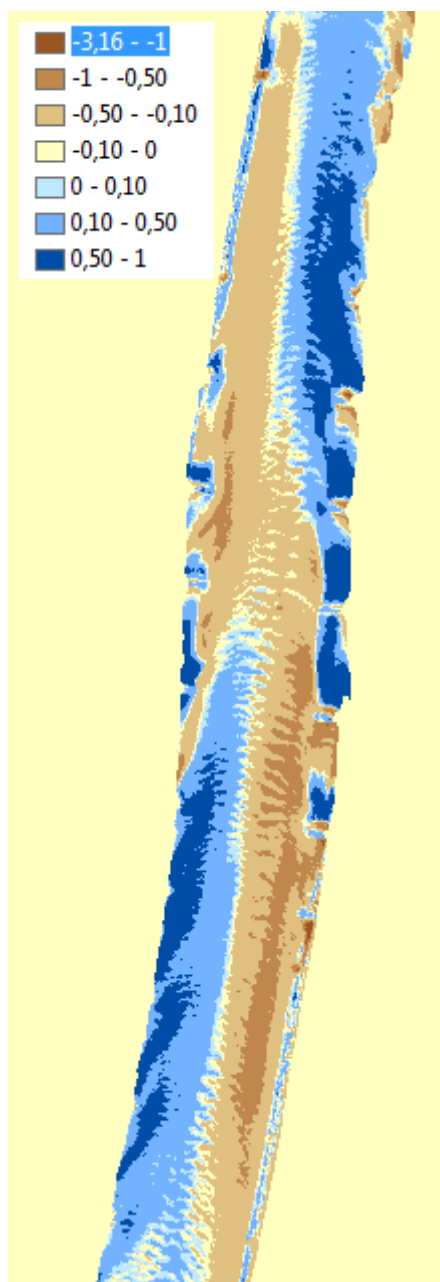
Auf Grundlage der Vermessungsdaten (Profile, Uferlinien und Böschungsoberkanten) wird das Flussschlauchmodell erstellt. Dabei wird für den Flussschlauch ein gesondertes Höhenmodell erstellt und der Flussschlauch im für die Berechnung notwendigen Maße diskretisiert.

4.2 Datengrundlagen Modellerstellung

Für die Aufstellung des hydraulischen Modells sind verschiedene Datengrundlagen notwendig. Die Auswahl der Daten und die Arbeitsschritte zur Modellerstellung werden im Folgenden kurz beschrieben.

4.2.1 Auswahl der Höheninformationen

Für die Erstellung des Modells lagen ein digitales Geländemodell (DGM-W) der BfG (2003-2010), Peilungsdaten für den aquatischen Bereich des Rheins (WSV 2014) und terrestrische Vermessungsunterlagen für den Bereich des Rußheimer Altrheins (Vermessungsbüro Weber 1991) vor. Zusätzlich gibt es ein DGM aus Laserscandaten der Landesvermessung Baden-Württemberg.



Das DGM-W ist ein aus Laserscandaten und ergänzenden terrestrischen Vermessungsdaten (Dämme, Querprofile) erstelltes 1m-Raster.

Der aquatische Bereich des Rheins war sowohl im DGM-W als auch in den Peilungsdaten vorhanden. Um zu entscheiden, welche Höheninformation verwendet werden sollte, wurden beide Datenbestände verglichen. Dazu wurden die Peilungsdaten in ein 1m-Raster überführt und dem DGM-W gegenübergestellt. Nachfolgend sind die Ergebnisse der Gegenüberstellung (Peilungsdaten minus DGM-W) exemplarisch dargestellt (siehe Abbildung 4-1). Die blau dargestellten Bereiche zeigen Eintiefungen der Sohle (Erosion), die braun dargestellten Bereiche Auflandungen.

Auf Grundlage der Gegenüberstellung wurde beschlossen, die aktuelleren Peilungsdaten zu verwenden. Für die Modellerstellung wurde das DGM-W mit den Peilungsdaten in ein DGM zusammengefügt.

Für die Insel Elisabethenwört wurden wegen der besseren Abbildung der vorhandenen Strukturen (Sommerdämme) die Geländemodelldaten (Laserscanbefliegung) der Landesvermessung übernommen.

Abbildung 4-1: Gegenüberstellung Peilungsdaten minus DGM-W mit Abweichungen in m (Ausschnitt)

4.2.2 Auswahl der Abflüsse

Die verwendeten Abflüsse wurden für neun Berechnungsstufen (stationäre Berechnung) auf Basis der Pegelstatistiken der Pegel Maxau und Speyer sowie Fixierungswasserspiegellagen vorgegeben.

Zusätzlich wurden instationäre Berechnungen mit einem Modellhochwasser und zwei Hochwasserwellen aus abgelaufenen Hochwasserereignissen durchgeführt. Näheres zu den verwendeten hydrologischen Grundlagen ist Kapitel 5.1 zu entnehmen.

4.2.3 Aufbau des Modellnetzes

Basis der hydraulischen Modellierung ist das auf Basis der Geländehöhen erstellte Modellnetz. Das Modellnetz kann aus Dreiecks- oder Viereckselementen bestehen oder es kann beide Elementformen enthalten. Die Netzgenerierung beinhaltet folgende Arbeitsschritte:

- Erstellung des Flussschlauchnetzes (hier für den Rhein)
- Erstellung des Vorlandnetzes (u.a. Insel Elisabethenwört)
- Zusammenfügen der beiden Netze

4.2.3.1 Erstellung des Flussschlauchnetzes

Für die Generierung des Flussschlauches werden Querprofile sowie Bruchkanten entlang des Rheinufers und der Buhnen benötigt.

Die Querprofile wurden mit der Software ArcGIS manuell erstellt. Ebenso wurden die Bruchkanten entlang des Ufers und der Buhnen produziert. Diese werden im Weiteren als „Längsstrukturen“ bezeichnet. Querprofile und Längsstrukturen wurden in der Software SMS zusammengefügt, bereinigt und diskretisiert. Den so entstandenen Strukturen wurden die Höhen aus dem DGM zugewiesen. In Abbildung 4-2 und Abbildung 4-3 sind exemplarisch die generierten Querprofile, Längsstrukturen und der generierte Flussschlauch dargestellt.

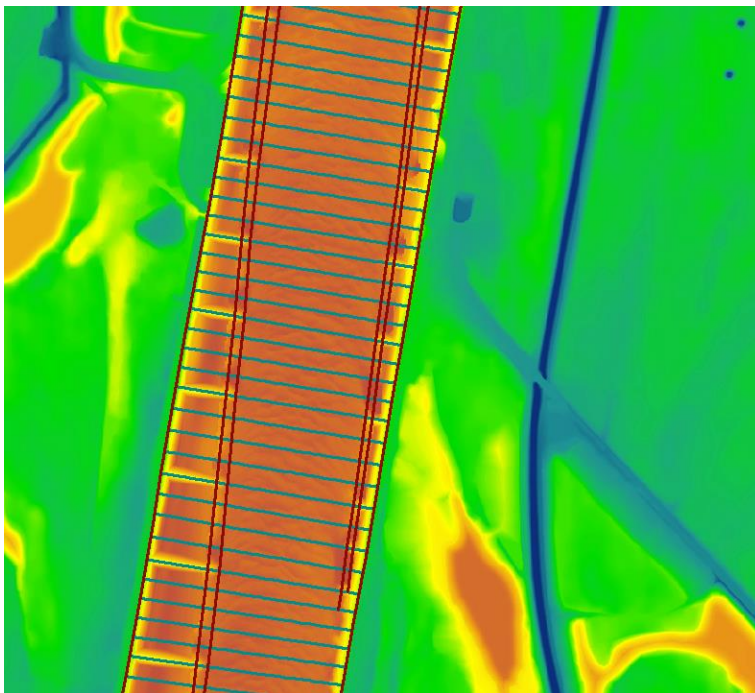


Abbildung 4-2: Exemplarische Darstellung der Längsstrukturen (braun) und der Querprofile (grün)

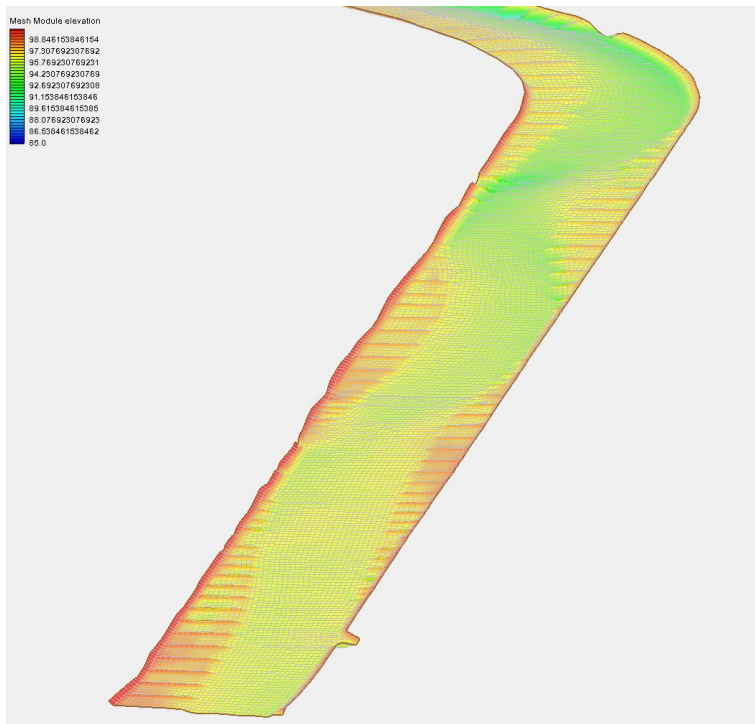


Abbildung 4-3: Generierter Flussschlauch, Darstellung in SMS (3D-Ansicht)

4.2.3.2 Erstellung des Vorlandnetzes

Für das Vorlandnetz wurden die maßgeblichen Bruchkanten manuell digitalisiert. Zu den maßgeblichen Bruchkanten gehören z.B. Dämme, Gräben, Brücken, Straßen in Hochlage und andere Längsstrukturen, die maßgeblich für die Hydraulik sind.



Abbildung 4-4: Digitalisierte Bruchkanten (schwarz) im Bereich Elisabethenwört

Die Bruchkanten wurden in ArcGIS aufbereitet und unter Berücksichtigung der Qualitätskriterien für ein 2D-Berechnungsnetz trianguliert. Dem entstandenen Netz wurden die Höhen aus dem DGM zugewiesen.

Im Anschluss wurden das Flussschlauchnetz und das Vorlandnetz zusammengefügt.

4.2.3.3 Besonderheiten

Für zwei Bereiche lagen für das Modell keine DGM-W-Daten vor. In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde auf eine Datennachforderung verzichtet, da es sich um keine relevanten Bereiche handelt. Sie konnten aus den umliegenden DGM und den Orthofotos ausreichend genau hergeleitet werden. Nachfolgend wird das Vorgehen zur Ergänzung des Modells um die fehlenden Bereiche beschrieben.

Zur Ergänzung der Höhendaten im Modell wurden bei der Vorlanderstellung Bruchkanten entlang der im Orthofoto erkennbaren Längsstrukturen generiert. Nach Zuweisung der vorhandenen Höhen aus dem DGM wurden die Höhen abgeschätzt und die beiden Bereiche manuell angepasst.

Abschnitt 1 enthält u.a. ein Stück des Rheindammes und liegt in einem Rückströmbereich des Rheins (Abbildung 4-5). Eine geringe Abweichung zwischen den abgeschätzten und den vorhandenen Höhen im Vorland wird als nicht relevant eingestuft.

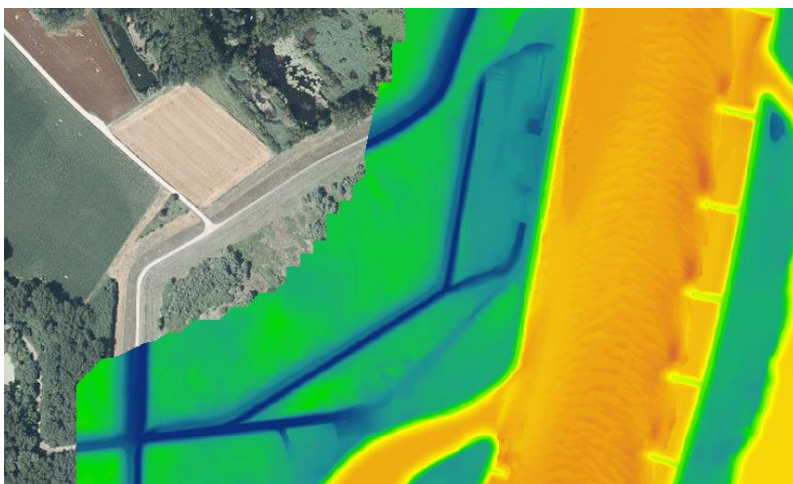


Abbildung 4-5: Fehlende DGM-W-Daten in Abschnitt 1

Die folgende Abbildung 4-6 zeigt den ergänzten Bereich im 2D-Modell.

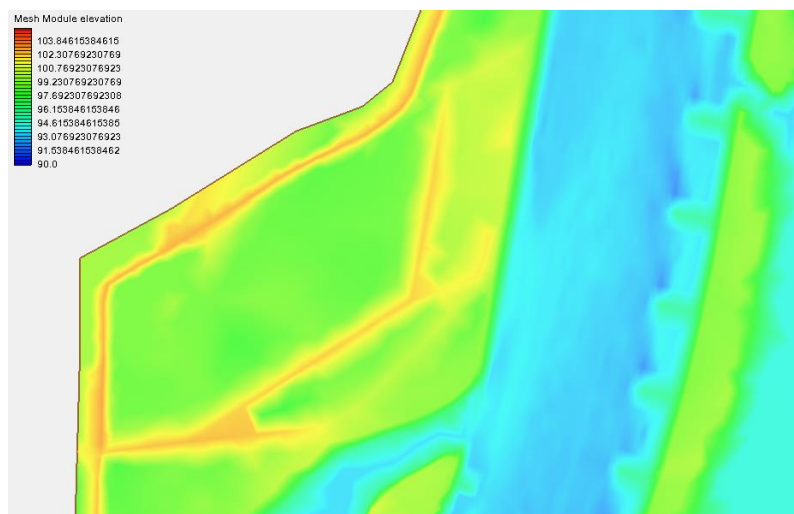


Abbildung 4-6: Darstellung Abschnitt 1 im 2D-Modell

Abschnitt 2 (Abbildung 4-7) liegt an einer Rückverlegung des Dammes bei Oberhausen-Rheinhausen. Im ergänzten 2D-Modell wird die Durchströmung des Vorlandes ausreichend abgebildet (vgl. Abbildung 4-8).

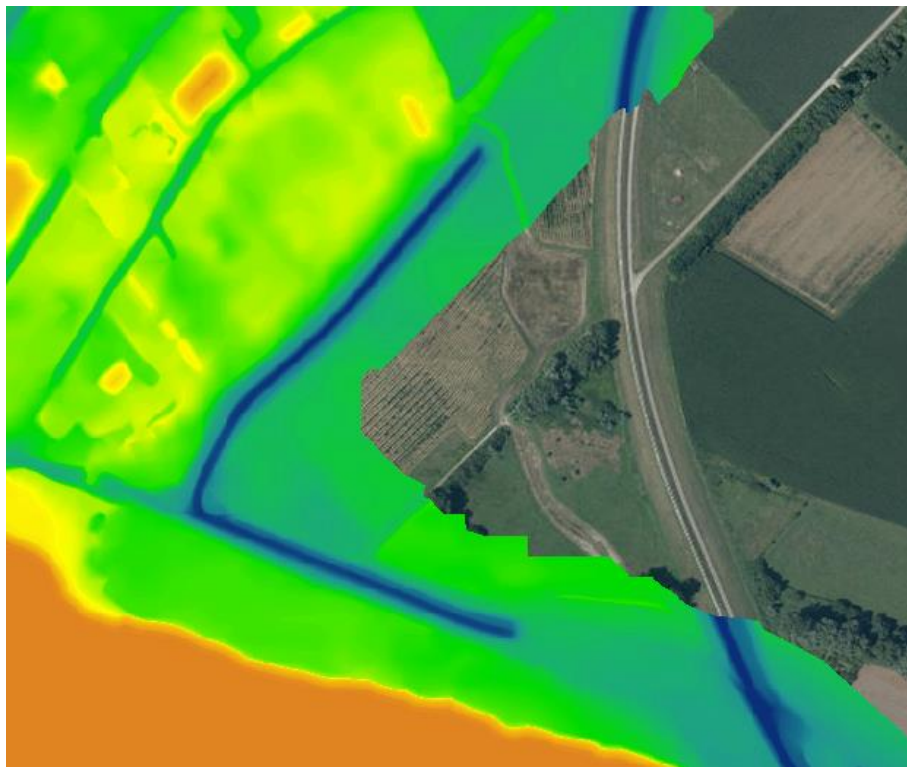


Abbildung 4-7: Fehlende DGM-W-Daten in Abschnitt 2

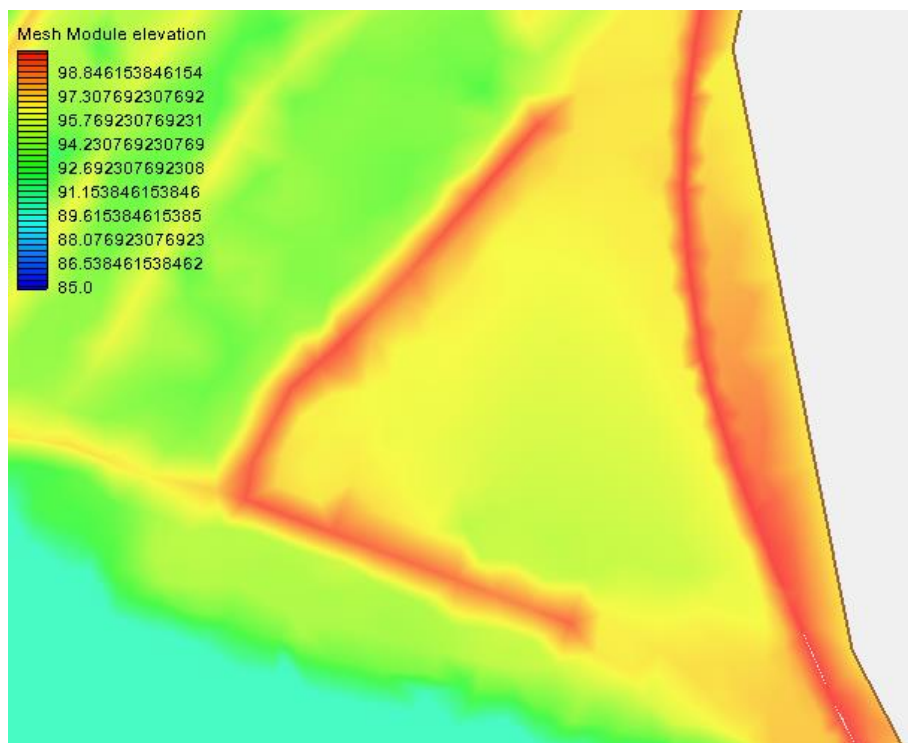


Abbildung 4-8: Darstellung Abschnitt 2 im 2D-Modell

Die beschriebene Ergänzung des 2D-Modells ist für die vorliegende Aufgabenstellung ausreichend.

4.2.4 Rauheiten und Landnutzung

Damit die hydraulische Modellierung möglich ist, müssen dem 2D-Modell flächenhafte Rauheitsparameter zugewiesen werden. Diese Rauheitsparameter sind abhängig von den Nutzungen im modellierten Gebiet. Die Berücksichtigung von Bewuchs erfolgt im 2D-Modell über die Zuweisung von entsprechenden Rauheitsbeiwerten.

Für die Zuweisung der Rauheitsparameter wurden die unterschiedlichen Nutzungsklassen in einer Datei in ArcGIS zusammengefügt und bereinigt.

Den aus ALK bzw. ATKIS stammenden Flächen mit gleicher Nutzung wurden auch gleiche Rauheitsparameter zugewiesen. Die gewählten Rauheitsparameter haben sich aus langjähriger Erfahrung bei hydraulischen Berechnungen als passend für die jeweilige Nutzung erwiesen (u. a. auch verwendet für die Berechnung der von Hydrotec bearbeiteten HWGK-Modelle in Baden-Württemberg). Die Zuweisung der Rauheitsparameter zum Berechnungsnetz erfolgt automatisch in SMS. Bei der 2D-Modellierung wird der Rauheitsansatz nach Manning/Strickler verwendet.

In Tabelle 4-1 sind die Rauheitsklassen mit den zugeordneten Rauheitsparametern aufgeführt.

Die Rauheitsklassen „Buhnen“, „Fluss_42“, „Fluss_40“, und „Fluss_38“ wurden erstellt, um im aquatischen Bereich eine Diversifizierung zwischen verschiedenen Sohlsubstraten und den Buhnen abzubilden.

Tabelle 4-1: Verwendete Rauheitsklassen (Manning/Strickler) für die 2D-Modellierung

| Nutzung (ALK/ATKIS) | Rauheitsbeiwert in $m^{1/3}/s$ |
|--|-----------------------------------|
| Ackerland | 25 |
| Altwasser | 25 |
| AX_FlaecheBesondererFunktionalerPraegung | 25 |
| AX_FlaecheGemischterNutzung | 25 |
| AX_Fliessgewaesser | 40 |
| AX_Flugverkehr | 35 |
| AX_Gehoelz | 8 (10) |
| AX_Hafenbecken | 30 |
| AX_IndustrieUndGewerbeflaeche | 20 |
| AX_Landwirtschaft | 20 |
| AX_Platz | 35 |
| AX_Schiffsverkehr | 30 |
| AX_SportFreizeitUndErholungsflaeche | 25 |
| AX_StehendesGewaesser | 30 |
| AX_Sumpf | 11 |
| AX_UnlandVegetationsloseFlaeche | 25 |

| Nutzung (ALK/ATKIS) | Rauheitsbeiwert in $m^{1/3}/s$ |
|---|-----------------------------------|
| AX_Wald | 8 (10) |
| AX_Wohnbauflaeche | 25 |
| Bach | 25 |
| Bahngelände | 35 |
| Bauplatz | 20 |
| Betriebsfläche Abbauand | 20 |
| Betriebsfläche Halde | 20 |
| Betriebsfläche Lagerplatz | 15 |
| Brachland | 20 |
| Buhnen | 32 |
| Fluss_38 | 38 |
| Fluss_40 | 40 |
| Fluss_42 | 42 |
| Gartenland | 20 |
| Gebäude- und Freifläche Erholung | 25 |
| Gebäude- und Freifläche Gewerbe und Industrie | 20 |
| Gebäude- und Freifläche Handel und Wirtschaft | 20 |
| Gebäude- und Freifläche Land- und Forstwirtschaft | 20 |
| Gebäude- und Freifläche Wohnen | 25 |
| Gebäude- und Freifläche zu Entsorgungsanlagen | 20 |
| Gebäude- und Freifläche zu Versorgungsanlagen | 20 |
| Gebäude- und Freifläche Öffentliche Zwecke | 20 |
| Gehölz | 8 (10) |
| Graben | 30 |
| Grünanlage | 25 |
| Grünland | 20 |
| Hafen | 25 |
| Heide | 20 |
| Kanal | 30 |

| Nutzung (ALK/ATKIS) | Rauheitsbeiwert in $m^{1/3}/s$ |
|---------------------|-----------------------------------|
| Laubwald | 8 (10) |
| Mischwald | 8 (10) |
| Platz | 35 |
| See | 30 |
| Sportfläche | 25 |
| Straße | 35 |
| Sumpf | 11 |
| Teich | 33 |
| Unland | 25 |
| Weg | 35 |

4.3 Kalibrierung

Das 2D-Modell wurde auf Basis einer sehr guten Datengrundlage erstellt. Trotzdem bleibt das Modell ein Abbild der Natur und muss daher zunächst kalibriert werden. Im Rahmen der Kalibrierung wird die Parametrisierung der Landnutzungsdaten, die zunächst auf Erfahrungswerten beruhen, im 2D-Modell derart angepasst, dass reale bzw. historische Hochwasserereignisse sehr gut mit dem Modell wiedergegeben werden. Somit werden im Rahmen der Kalibrierung die angesetzten Rauheitsparameter für das betrachtete Gewässer optimiert.

Die Kalibrierung bzw. Anpassung der Rauheitsparameter erfolgt in der Regel dadurch, dass mit dem Modell ein oder mehrere dokumentierte (bekannter Abfluss und bekannte Wasserspiegelhöhen) Hochwasserereignisse nachgerechnet werden. Das Ziel der Kalibrierung ist hierbei eine minimale Abweichung zwischen gemessenen und simulierten Werten zu erzielen. Daher werden im Rahmen der Kalibrierung die Rauheitsparameter immer wieder angepasst und ein neuer Rechenlauf durchgeführt, bis das Modell die natürliche Gegebenheit gut wiedergibt. Als Kalibrierungsereignisse werden vermessene (Abfluss und Wasserspiegel) historische Hochwasserereignisse herangezogen.

Messwerte liegen für den betrachteten Rheinabschnitt in unterschiedlicher Form vor:

- Wasserspiegelmessungen und tlw. Abflussmessungen an den Pegeln
- Fixierungspunkte (gemessene Wasserspiegellagen) nach häufigen Hochwasserereignissen (ca. 2 bis 3 Mal im Jahr) in einem Abstand von ca. 100 m
- Fixierungspunkte (Hochwassermarken) nach seltenen Hochwasserereignissen (z. B. Geschwemmsellinie oder markante Punkte mit höchstem Wasserstand nach einem Hochwasserereignis gemessen)

Das hier vorliegende 2D-Modell wurde an drei Hochwasserereignissen kalibriert. Es wurden zwei häufige bzw. bordvolle Hochwasser für die Kalibrierung des Flussnetzes und ein seltenes Hochwasser für die anschließende Kalibrierung des Vorlandnetzes verwendet.

Es wurden aktuelle Hochwasserereignisse verwendet, da wie in Kapitel 4.2.1 gezeigt, die Sohle des Rheins dynamisch ist.

Für die Kalibrierung standen Fixierungspunkte der Wasserspiegellagen für Hochwasserereignisse von 2002 bis 2015 zwischen den Pegeln Maxau (FKM 362,327) und Speyer (FKM 400,6) zur Verfügung. Die Fixierungspunkte liegen i.d.R. in der Rheinmitte (Aufnahme per Boot). Weitere einzelne Fixierungspunkte an den Dämmen lagen für das Hochwasser vom Juni 2013 vor.

Für die Kalibrierung wurden die folgenden Hochwasserereignisse ausgesucht:

- HW 04/2013 (stationär) (max. Abfluss 2.180 m³/s)
- HW 06/2013_2 (stationär) (max. Abfluss 2.660 m³/s)
- HW 06/2013_1 (stationär) (max. Abfluss 4.223 m³/s)
- HW 06/2013_1inst (instationär) (max. Abfluss 4.223 m³/s)

Um den Einfluss zwischen der stationären und der instationären Berechnung zu ermitteln, wurde das HW 06/2013_1 stationär und instationär (HW 06/2013_1inst) berechnet und ausgewertet.

Das Ergebnis des Wasserspiegellagenvergleichs für das Kalibrierungsereignis HW 06/2013_2 ist in Anlage 1 dargestellt.

4.3.1 Abflüsse Kalibrierung

Zur Übersicht über die verschiedenen Berechnungsläufe mit dem hydraulischen Modell sind in der folgenden Tabelle 4-2 einige maßgebliche Daten zu Modell und Abflüssen zusammengefasst.

Tabelle 4-2: Übersicht über Modellparameter der Kalibrierungsrechenläufe

| Parameter | HW 04/2013 | HW 06/2013_2 | HW 06/2013_1 | HW 06/2013_1inst |
|--|------------|--------------|--------------|------------------|
| Stationäre Berechnung | x | x | x | - |
| Instationäre Berechnung | - | - | - | x |
| Simulationszeit in sec. | 200000 | 200000 | 200000 | 1154700 |
| SMS-Zeitschritt in sec. | 7200 | 7200 | 7200 | 21600 |
| Q-Strg-Zeitschritt in sec. | 3600 | 3600 | 3600 | 3600 |
| Maximaler Abfluss in m ³ /s | 2180 | 2660 | 4223 | 4223 |
| Hochwasserscheitel bei ... sec. | - | - | - | 425700 |
| A _{min} in m ² | 2 | 2 | 2 | 2 |
| SCF | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Fixierung Pegel Maxau in müNN | 104,47 | 105,10 | 106,45 | 106,45 |
| Randbedingung Pegel Speyer in müNN | 94,08 | 94,95 | 97,04 | Abflusskurve |

4.3.2 Pegel Maxau

Der Pegel Maxau liegt bei FKM 362.327 und damit im Rhein oberhalb des Modellbeginns (Beginn bei FKM 370,6, Leimersheim).

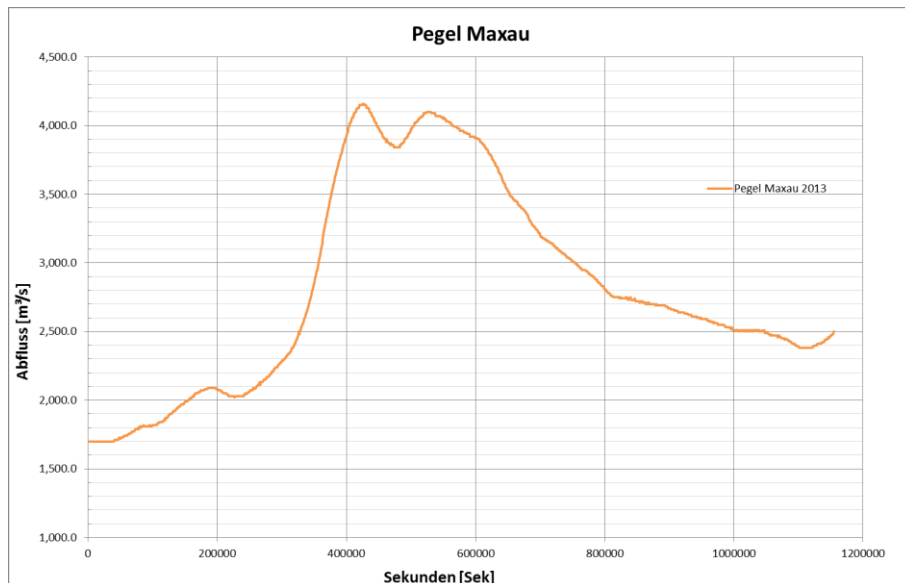


Abbildung 4-9: Gemessene Abflussganglinie am Pegel Maxau für das HW 06/2013_1inst

In Abstimmung mit dem AG wurde die am Pegel Maxau gemessene Abflussganglinie (Abbildung 4-9) als Zulauf für das 2D-Modell verwendet.

4.3.3 Pegel Speyer

Der Pegel liegt linksseitig am Auslauf des 2D-Modells bei FKM 400,6. Anhand der Pegelabflusskurve und der Fixierungswasserspiegellagen wurden die unterschiedlichen W-Q-Auslaufrandbedingungen (W = Wasserstand, Q = Abfluss) für das 2D-Modell ermittelt.

Der Pegelnullpunkt liegt bei 88,51 müNN.

Für die stationären Hochwasser wurden die Fixierungswasserspiegellagen als Auslaufrandbedingung verwendet. Die W-Q-Beziehung wurde so definiert, dass bei dem angegebenen Wasserstand der gesamte Abfluss aus dem Modell entnommen wird.

In der folgenden Tabelle 4-3 sind die Abflüsse und die Wasserspiegellagen für die stationären Berechnungsläufe aufgelistet.

Tabelle 4-3: Abflüsse und Wasserspiegel für die stationären Kalibrierungsrechenläufe für die W-Q-Beziehung am Pegel Speyer

| Kalibrierungsereignis | Abfluss | Wasserspiegel |
|-----------------------|------------|---------------|
| HW 04/2013 | 2.180 m³/s | 94,08 müNN |
| HW 06/2013_2 | 2.660 m³/s | 94,95 müNN |
| HW 06/2013_1 | 4.223 m³/s | 97,04 müNN |

Für die instationäre Berechnung HW 06/2013_1inst wurde die aktuelle Abflusskurve des Pegels Speyer (gültig ab dem 01.01.2010) als W-Q-Beziehung im 2D-Modell angesetzt (siehe Abbildung 4-10).

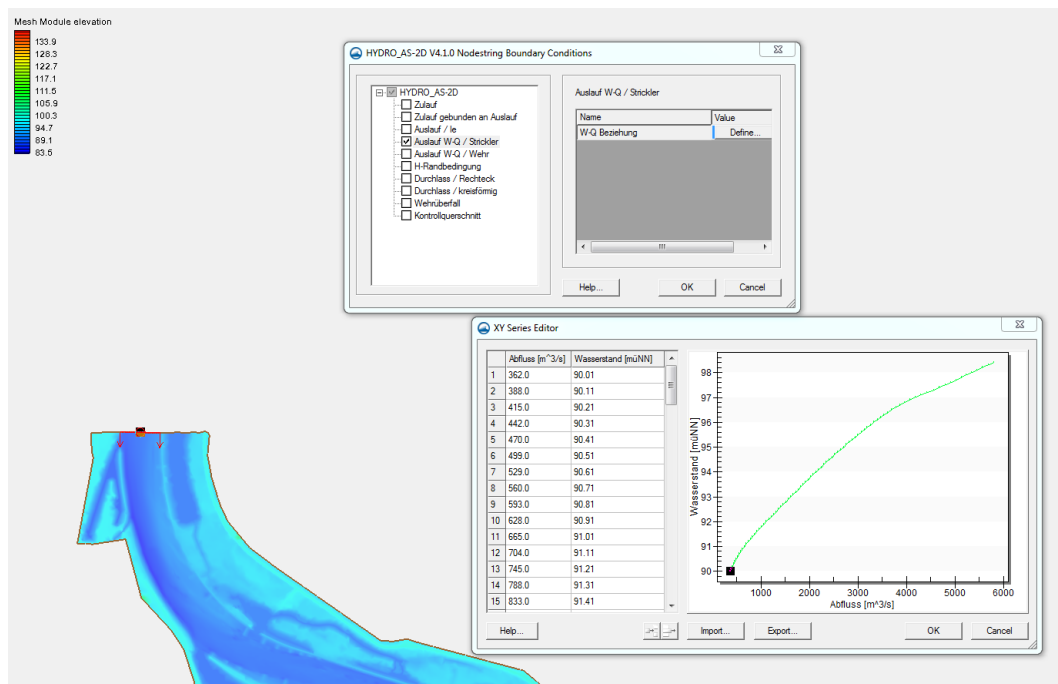


Abbildung 4-10: Darstellung der W-Q-Beziehung am Pegel Speyer für die instationäre Berechnung HW 06/2013_1inst

4.3.4 Fixierungswasserspiegel

4.3.4.1 Fixierungswasserspiegel stationäre Berechnungen

Die Wasserspiegellagenfixierungen für den Rheinabschnitt von Leimersheim bis Speyer lagen für den Zeitraum von 2002 bis 2015 als Text-Dateien vor. Insgesamt existieren Daten für 51 Ereignisse. Angegeben waren jeweils der FKM, Rechtswert, Hochwert und der Wasserspiegel. Diese Daten wurden in eine Excel-Tabelle übernommen und ausgewertet.

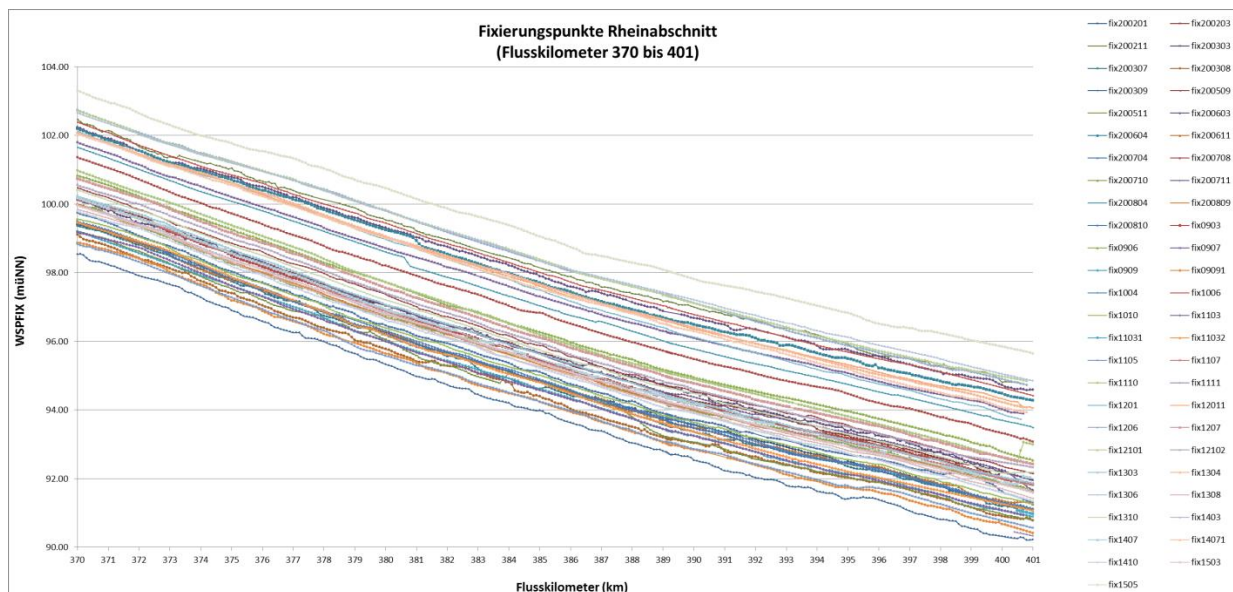


Abbildung 4-11: Fixierungswasserspiegel für den Rheinabschnitt von Leimersheim bis Speyer (FKM 370 bis 401) und 51 Ereignisse

Aus den Fixierungswasserspiegeln am Pegel Maxau wurden über die Pegelabflusskurve die Zuflüsse für die stationären Berechnungen ermittelt (siehe Tabelle 4-4).

Tabelle 4-4: Stationäre Zuflüsse ermittelt aus Fixierungswasserspiegeln und der Abflusskurve am Pegel Maxau

| Kalibrierungsereignis | Abfluss | Wasserspiegel |
|-----------------------|-------------------------|---------------|
| HW 04/2013 | 2.180 m ³ /s | 670 cm |
| HW 06/2013_2 | 2.660 m ³ /s | 734 cm |

4.3.4.2 Fixierungswasserspiegel instationäre Berechnung HW 06/2013_1inst

Für das HW 06/2013_1inst wurden vom AG Wasserspiegel für verschiedene Fixierungspunkte entlang der Rheindämme zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 4-12). Diese wurden für die Kalibrierung des instationären Rechenlaufs herangezogen und ausgewertet.

Das Ergebnis des Wasserspiegellagenvergleichs für das Kalibrierungsereignis HW 06/2013 ist in Anlage 1 dargestellt.

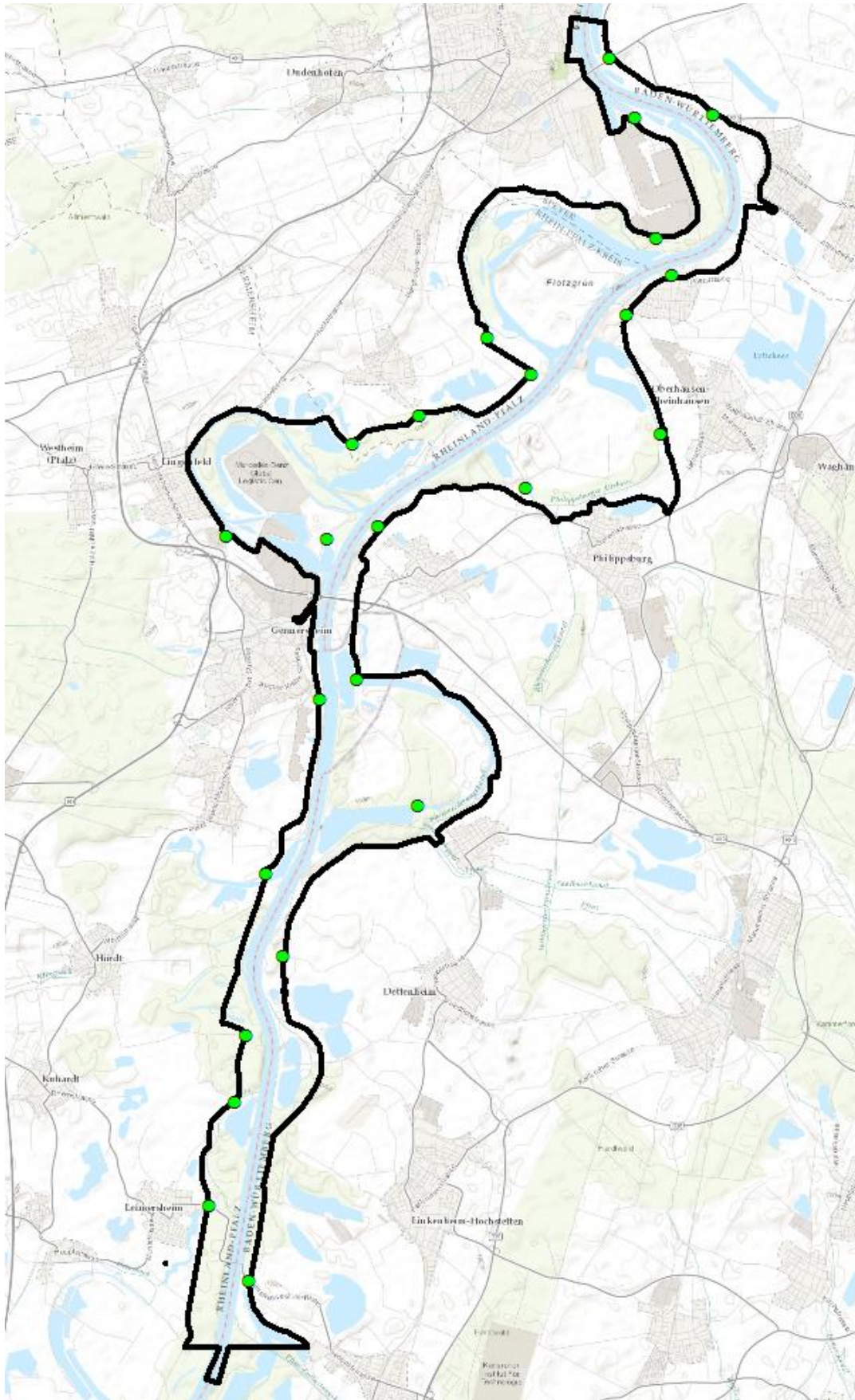


Abbildung 4-12: Fixierungspunkte für das HW 06/2013_1inst

4.3.5 Auswertung und Fazit

In einem iterativen Prozess wurden die Nutzungsklassen im Modell mit unterschiedlichen Rauheitswerten belegt, die Berechnung durchgeführt und mit den Fixierungswasserspiegeln verglichen.

Als Ergebnis dieses Prozesses wurden die Rauheiten im Flussschlauch diversifiziert. Der Bereich der Buhnen wurde mit einer eigenen Rauheitsklasse "Buhnen" belegt. Im Vorland wurden die Rauheitsklassen Gehölz und Wald vom Kst-Wert 10 auf 8 abgesenkt.

Die Gegenüberstellung der abgeschlossenen 2D-Kalibrierungsergebnisse und der Fixierungswasserspiegel (siehe Abbildung 4-13) zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den im Modell berechneten Wasserspiegeln und den Fixierungswasserspiegeln.

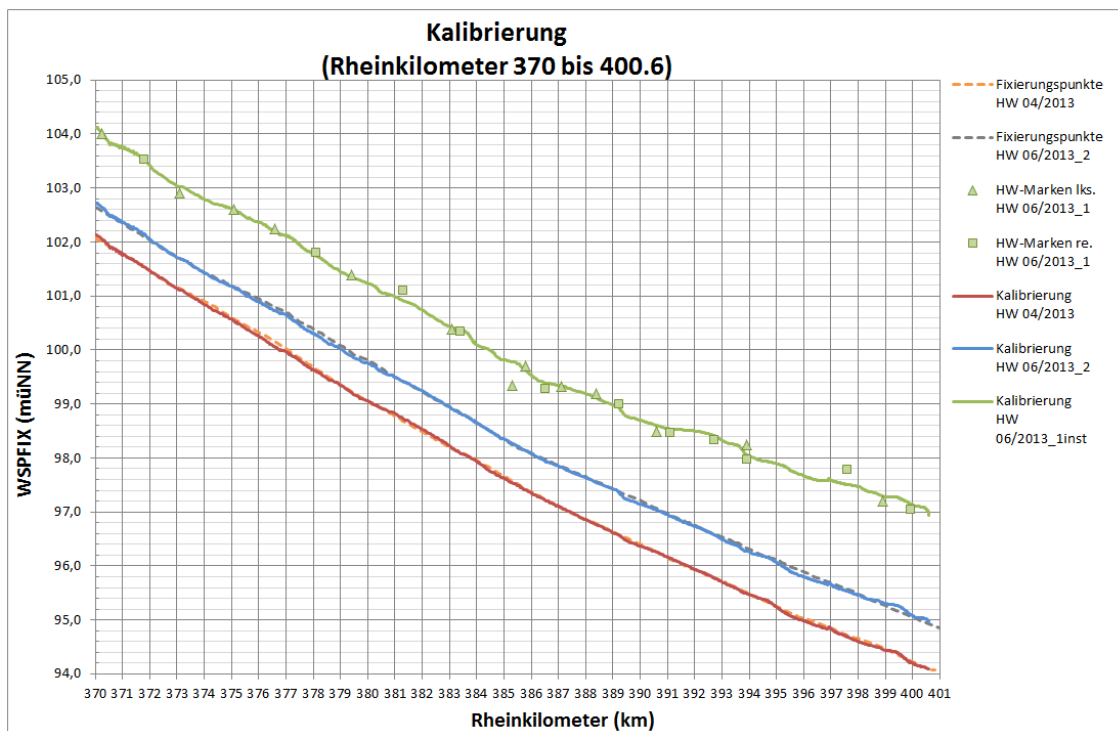


Abbildung 4-13: Kalibrierungsergebnisse der Hochwasser HW 04/2013, HW 06/2013_2 und 06/2013_1inst - Gegenüberstellung der 2D-Ergebnisse und Fixierungspunkte/HW-Marken

Die Differenzen zwischen den stationären und den instationären 2D-Ergebnissen des HW 06/2013_1 bzw. HW 06/2013_1inst sind auf Retentionseffekte im Modell zurückzuführen. Dabei passt die instationäre Berechnung sehr gut zu den Fixierungswasserspiegellagen (vgl. grüne Linie und grüne Kreuze in Abbildung 4-13).

Insgesamt ist die Kalibrierung aus hydraulischer Sicht sehr gut. Dies kann man auch dem Wasserspiegellagenvergleich für das Kalibrierungsereignis HW 06/2013 in Anlage 1 entnehmen.

Das primäre Ziel der Kalibrierung ist, die gemessene Wasserspiegellage mit dem Modell sehr gut zu treffen. Dies konnte hier gezeigt werden. Für die vorliegende Fragestellung von geringerer Bedeutung ist ein zweiter Kalibrierungsaspekt, welcher i. d. R. für die Hochwasservorhersage eine große Bedeutung besitzt. Dabei gilt es, die Retention und v. a. die Scheitellaufzeit der Hochwasserwelle mit dem Modell gut abzubilden. Als Informationscharakter wird die am Pegel Speyer simulierte Hochwasserwelle (HW 06/2013_1inst bzw. HW 2013) der gemessenen Hochwasserwelle (Messung 2013) in folgender Abbildung 4-14 gegenübergestellt.

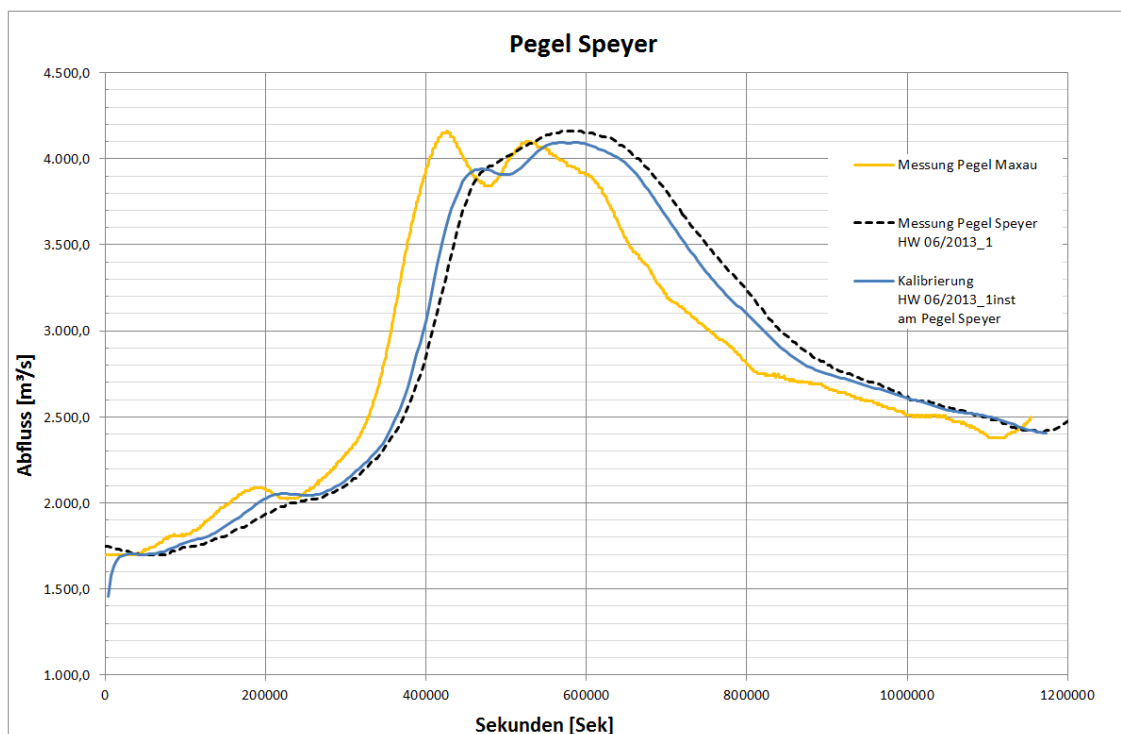


Abbildung 4-14: Kalibrierungsergebnisse des Hochwassers 06/2013_1inst - Gegenüberstellung berechnete / gemessene Abflusskurve am Pegel Speyer

Hier ist zu beachten, dass die Zugabe der Zuflussganglinie, die der am Pegel Maxau gemessenen Ganglinie entspricht, am Modell-Zulauftrand Leimersheim erfolgt ist (Translationszeit zwischen Maxau und Leimersheim wurde berücksichtigt) und mögliche laterale bzw. diffuse Zuflüsse aus dem Zwischeneinzugsgebiet nicht im Modell definiert wurden.

Das Ergebnis zeigt, dass neben den berechneten Wasserspiegellagen auch die Ganglinie in ihrer Form am Pegel Speyer gut durch das Modell wiedergegeben wird.

4.4 Validierung

Die Validierung ist eine Überprüfung des kalibrierten Modells an einem weiteren Hochwasserereignis. Die Validierung erfolgte in einem instationären Rechenlauf anhand des HW 08/2007inst für das Ganglinien und Wasserstände an den Pegeln Maxau und Speyer sowie Fixierungswasserspiegel vorlagen.

4.4.1 Abflüsse Validierung

Als Zuflussganglinie wurde die gemessene Abflussganglinie am Pegel Maxau verwendet. Die untere Randbedingung wurde durch die Pegelabflusskurve Speyer als W-Q-Beziehung vorgegeben. Das Modell wurde mit einem stationären Abfluss ($Q = 1.290 \text{ m}^3/\text{s}$) als Vorfüllung belastet.

Tabelle 4-5: Übersicht über Modellparameter des Validierungsrechenlaufs

| Parameter | HW 08/2007inst |
|--|----------------|
| Stationäre Berechnung | - |
| Instationäre Berechnung | x |
| Simulationszeit in sec. | 1000000 |
| SMS-Zeitschritt in sec. | 21600 |
| Q-Strg-Zeitschritt in sec. | 7200 |
| Maximaler Abfluss in m ³ /s | 4046 |
| Hochwasserscheitel bei ... sec. | 350100 |
| Amin in m ² | 2 |
| SCF | 1 |
| Fixierung Pegel Maxau in müNN | 106,33 |
| Randbedingung Pegel Speyer in müNN | Abflusskurve |

4.4.2 Auswertung und Fazit

Das Ergebnis der Validierung ist analog zu den Kalibrierungsergebnissen in folgender Abbildung 4-15 in Ergänzung an die Kalibrierungsergebnisse dargestellt. Das HW 08/2007inst liegt mit $4.046 \text{ m}^3/\text{s}$ in der Spitze von der Größenordnung etwas unter dem HW 06/2013_1 ($4.223 \text{ m}^3/\text{s}$) und deutlich über den häufigeren Hochwasserereignissen (z. B. 06/2013 mit $2.660 \text{ m}^3/\text{s}$).

Der Verlauf der Fixierungswerte für das HW 08/2007inst zeigt insbesondere für den Bereich zwischen FKM 386 bis FKM 394 einen unplausiblen Verlauf. Werden die hier betroffenen unplausiblen drei Fixierungswerte außer Acht gelassen, so zeigt das Validierungsergebnis insgesamt eine gute Modellqualität.

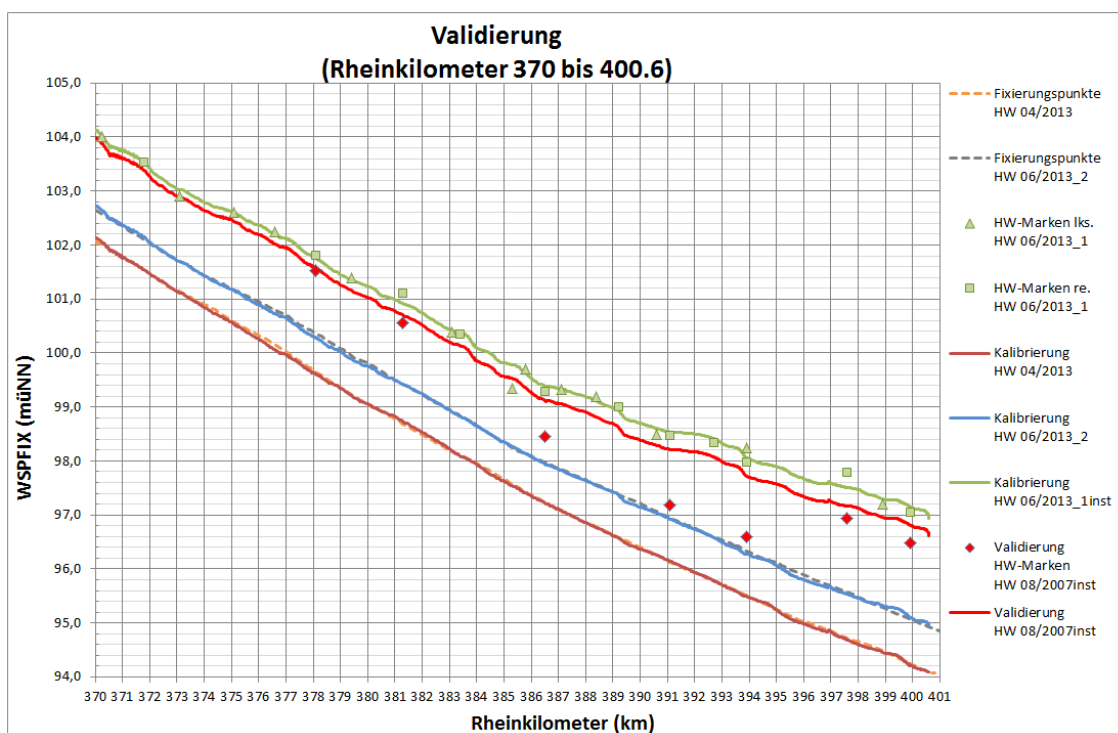


Abbildung 4-15: Validierungsergebnisse des Hochwassers HW 08/2007inst - Gegenüberstellung der 2D-Ergebnisse und HW-Marken (zur Einordnung sind die Kalibrierungsergebnisse mit dargestellt)

Entsprechend zum Kalibrierungsergebnis wird auch hier zur vollständigen Dokumentation der Ergebnisse, zusätzlich zu den Wasserspiegellagen, die Hochwasserwellenform am Pegel Speyer betrachtet (vgl. Abbildung 4-16).

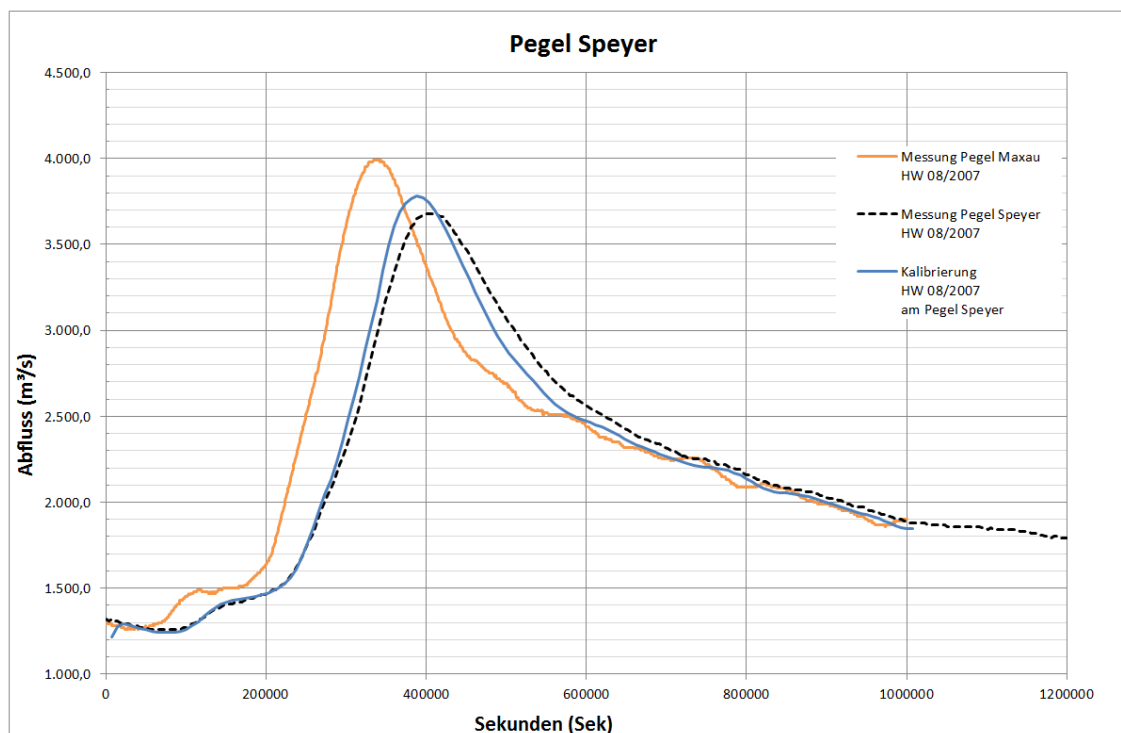


Abbildung 4-16: Validierungsergebnisse des Hochwassers 08/2007inst - Gegenüberstellung berechnete / gemessene Abflusskurve am Pegel Speyer

Auch hier ist, unter Beachtung der verkürzten Strecke von Maxau bis Leimersheim) eine gute Wellentranslation sowie -retention im 2D-Modell zu beobachten.

Die Ergebnisse der Kalibrierung und der Validierung belegen, dass das von Hydrotec erstellte Modell die Geometrie und maßgeblichen Fließprozesse sehr gut abbildet. Somit wird dem Auftraggeber ein belastbares Modell zur Verfügung gestellt, mit dem die notwendigen Untersuchungen im Rahmen der Planung zum Rückhalteraum Elisabethenwört zu bewerkstelligen und positiv abzuschließen sind.

5 Variantenuntersuchung

Die zu untersuchenden Varianten gliedern sich in zwei große Variantengruppen. Zum einen sind ungesteuerte Dammrückverlegungsvarianten (DRV), zum anderen gesteuerte Poldervarianten (Polder) zu berechnen. Innerhalb dieser beiden großen Gruppen gibt es jeweils die Varianten klein, mittel, groß und teilweise weitere Untervarianten. Zudem wurde eine Variante mit Kombination aus Dammrückverlegung und Polder untersucht. Die maßgebenden Varianten werden in diesem Kapitel beschrieben.

Die Variantenübersichten und die Kartendarstellung sind in Anlage 3 und Anlage 4/5 enthalten. In Anlage 6 ist eine Übersicht über die Rechenläufe mit Zuordnung zu den Kurzbezeichnungen zu finden.

5.1 Abflüsse Variantenuntersuchung

Für die Untersuchung der verschiedenen Modellvarianten (DRV bzw. Polder und Kombination DRV/Polder) wurden unterschiedliche stationäre und instationäre Abflusssituationen betrachtet. Bei der stationären Berechnung wird mit einem konstanten Abfluss gerechnet, während bei der instationären Berechnung eine Abflussganglinie mit zeitlich veränderlichen Abflusswerten angesetzt wird.

Die verwendeten Abflüsse sind das Bemessungshochwasser (BHQ = 5.000 m³/s), Abflussstufen entsprechend den relevanten Rheinabflüssen für die verschiedenen Auwaldstufen und das Modellhochwasser (Modell-HW). Die Abflusswerte der Stufen finden sich sowohl in der instationären Abflusstreppe als auch in den einzelnen stationären Abflussstufen wieder.

Um eine Einordnung der Abflüsse am RHR zu den vor Ort bekannten Pegelmeldungen zu ermöglichen, wurden die betrachteten Abflussstufen den Wasserspiegellagen an den Pegeln Maxau (PNP 97,76 m+NN) und Speyer (PNP 88,51 m+NN) gegenübergestellt.

Tabelle 5-1: Gegenüberstellung der Abflussstufen zu Wasserständen an den Pegeln Maxau und Speyer (www.hvz.baden-wuerttemberg.de)

| Stufe (stationär und instationär) | Abfluss RHR Elisa (m ³ /s) | Wasserstand Pegel Maxau (cm ü. PNP) | Wasserstand Pegel Maxau (m+NN) | Wasserstand Pegel Speyer (cm ü. PNP) |
|---|---|---|--------------------------------------|--|
| 1 | 1.250 | 513 | 102,89 | 376 |
| 2 | 1.550 | 570 | 103,46 | 436 |
| 3 | 1.850 | 620 | 103,96 | 494 |
| 4 | 2.140 | 664 | 104,4 | 550 |
| 5 | 2.630 | 730 | 105,06 | 637 |
| 6 | 2.850 | 756 | 105,32 | 674 |
| 7 | 3.340 | 802 | 105,78 | 750 |
| 8 | 4.000 | 853 | 106,29 | 832 |
| BHQ | 5.000 | 919 | 106,95 | 916 |

5.1.1 Instationäre Rechenläufe

5.1.1.1 Abflusstreppe

Die Varianten der DRV wurden mit einer instationären Berechnung in Form einer „Abflusstreppe“ belegt. Die Stufen der Abflusstreppe entsprechen den Abflüssen, wie sie in Tabelle 5-1 oder Tabelle 5-2 beschrieben sind. Die Stufen wurden anhand der Kriterien des AGs hinsichtlich Stationarität und Anstieg des Abflusses festgelegt (vgl. Abbildung 5-1).

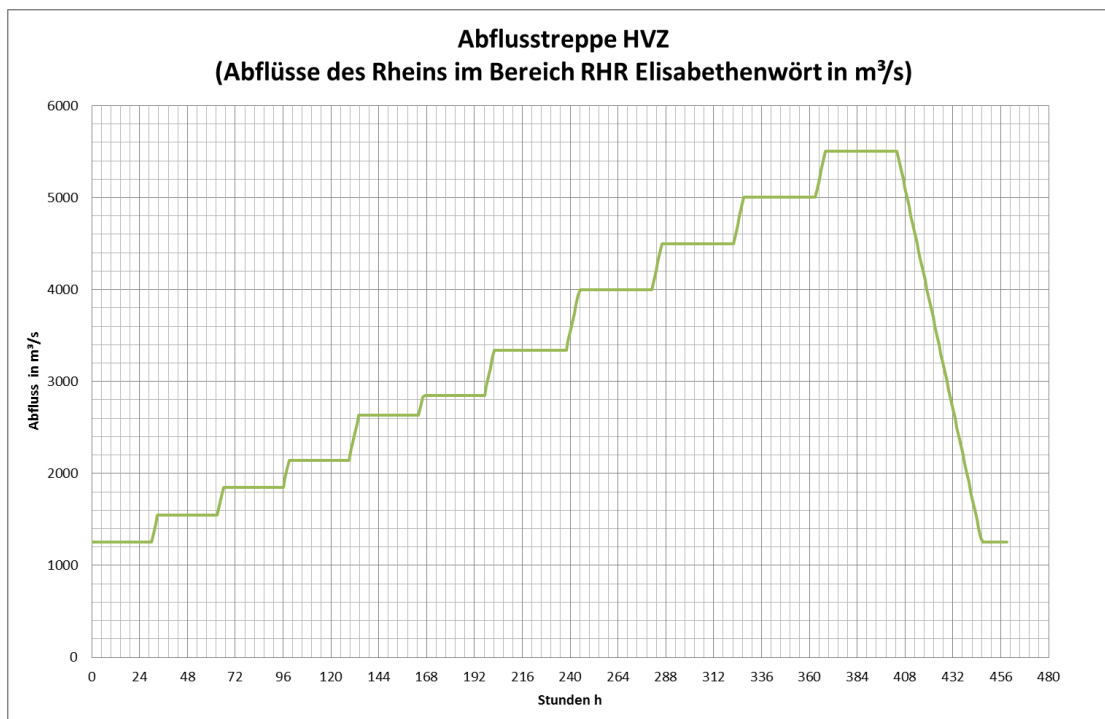


Abbildung 5-1: Zuflussganglinie Treppe

5.1.1.2 Abflusstreppe, Stufe 4

Um die Stationarität der Abflusstreppe zu beurteilen, wurde für die Variante D_k_05 (vgl. Kapitel 5.2.3) ein zusätzlicher Rechenlauf mit einer verlängerten Abflusstufe 4 durchgeführt. Die Berechnung erfolgte mit einem stationären Zufluss über 14 Tage (1209600 Sekunden oder 336 Stunden). Der Abfluss dieser Stufe liegt bei 2.140 m³/s.

5.1.1.3 Aktualisiertes Modell-HW 1988 (Modell-HW_D59)

In Abstimmung mit den Projektpartnern und der HVZ wurde entsprechend der aktuellen Rechenläufe der HVZ zum internationalen Wirksamkeitsnachweis das für die Untersuchung gewählte Modellhochwasser im Dezember 2016 aktualisiert. Hierbei handelt es sich um das gleiche historische Ereignis, das sich infolge aktueller Steuerungskonzepte leicht verändert hat. Zudem wurde das Hochwasser im Zeitfenster vergrößert.

Das hier verwendete Modell-HW_D59 ist somit das Ereignis HW 03/1988. Für die Untersuchung wurde der Zeitraum vom 11.03.1988 bis 08.04.1988 verwendet und die Abflussspitze auf 5.000 m³/s skaliert.

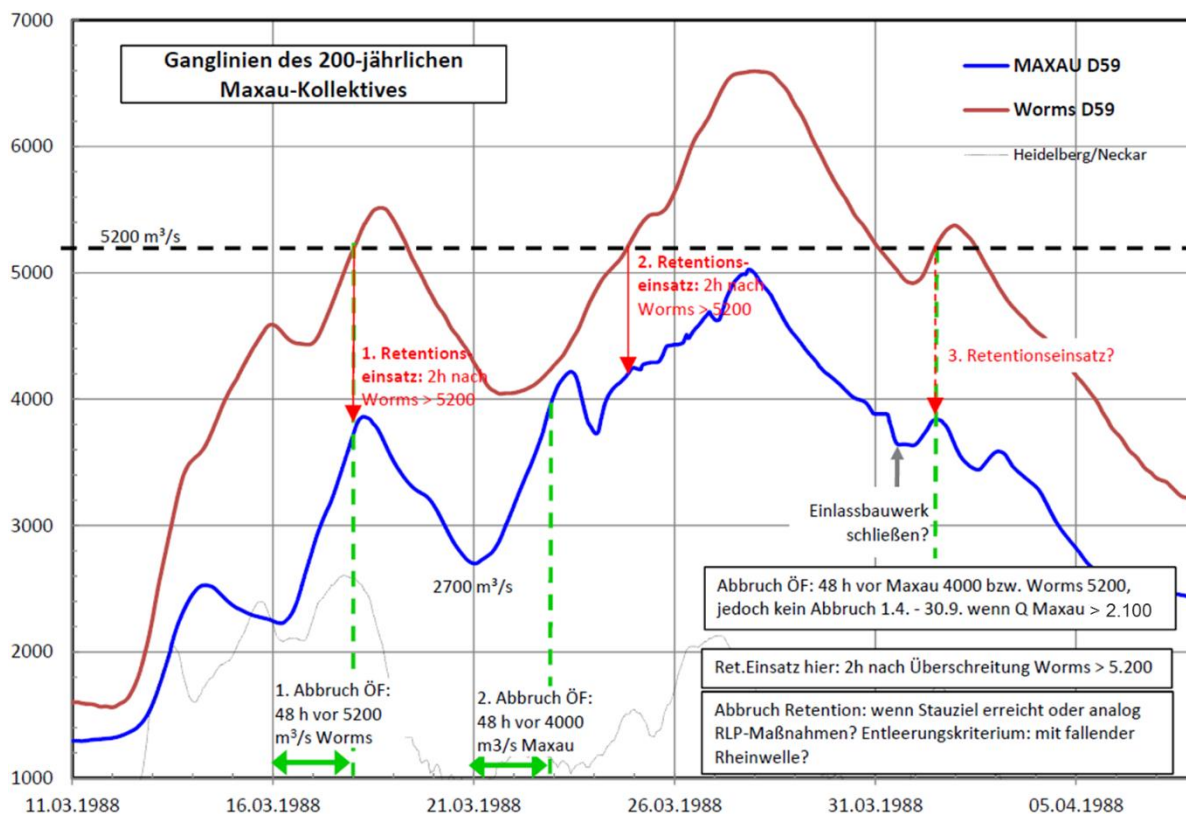


Abbildung 5-2: Ganglinie Modell-HW D59 03/1988 (Quelle: HVZ)

Das Modell-HW_D59 wird für die Dammrückverlegungsvarianten ungesteuert dem Modellzulauf zugewiesen.

Die Bauwerke für die Poldervarianten wurden unter folgenden Kriterien gesteuert:

- Ein- und Auslaufbauwerk bleiben zunächst grundsätzlich offen (ökologische Flutungen möglich). Altwasser und Rußheimer Altrhein (mittlere und große Variante) sind zu Beginn des Rechenlaufs nass.
- Abbruch ökologischer Flutung
 - Vegetationsruhe (01.10. – 31.03.): Abbruch, wenn in Maxau 4.000 m³/s ODER Q_Worms 5.200 m³/s vorhergesagt
 - Vegetationsperiode (01.04. – 30.09.): Abbruch, wenn Q_Maxau 4.000 m³/s ODER Q_Worms 5.200 m³/s vorhergesagt UND Q_Maxau < Q_krit
 - Es wird ein Vorhersagezeitraum von 48 h angenommen.
- Aus der obigen Abbildung ist ersichtlich, dass das betrachtete Ereignis dreigipflig ist (Worms) und die ersten beiden Gipfel innerhalb der Vegetationsruhe liegen. Dementsprechend erfolgt die Steuerung hinsichtlich der ökologischen Flutung.
- Der kritische Abfluss hinsichtlich des Abbruchs einer ökologischen Flutung innerhalb der Vegetationsperiode Q_krit, wird in Abstimmung mit der Umweltplanung vorläufig zu 2.100 m³/s festgesetzt.

Bei diesem Abfluss sind noch keine relevanten Waldbestände im RHR überflutet, die bei einem Abbruch der ökologischen Flutung mit mehrtägiger Überflutung und stagnierender Strömung innerhalb der Vegetationsperiode geschädigt werden könnten.

Für dieses Ereignis, Modell-HW D59, ist das Abbruchkriterium nicht relevant, da wie oben beschrieben der Zeitraum der Vegetationsruhe maßgebend ist.

- Der Retentionseinsatz erfolgt für die vorliegende Bemessungsganglinie zum Zeitpunkt wenn $Q_{\text{Worms}}=5.200 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht wird zzgl. 2 h. Der Retentionsgradient sollte in Abstimmung mit der HVZ bei max. ca. 100-150 m^3/s liegen.
- Das Stauziel wird zu 101,4 mNN angesetzt.
- Der Rückhalteraum wird entleert, sobald kein Retentionseinsatz erforderlich ist und der Wasserspiegel im Rhein kleiner ist als im Rückhalteraum selbst.

5.1.2 Stationäre Rechenläufe

Die stationären Rechenläufe wurden für die Stufen 1 bis 8 und BHQ für die Poldervarianten durchgeführt. Die Simulationszeit beträgt jeweils 100 Stunden (360.000 Sekunden). Nachfolgend sind die Abflussstufen den Abflüssen zugeordnet.

Die Abflüsse der einzelnen Stufen entsprechen den Abflussstufen der Abflusstreppe (vgl. Tabelle 5-1).

Tabelle 5-2: Abflüsse der Stufen

| Stufe | Abfluss RHR Elisa (m^3/s) |
|-------|---|
| 1 | 1.250 |
| 2 | 1.550 |
| 3 | 1.850 |
| 4 | 2.140 |
| 5 | 2.630 |
| 6 | 2.850 |
| 7 | 3.340 |
| 8 | 4.000 |
| BHQ | 5.000 |

Die stationären Rechenläufe werden für die Poldervarianten genutzt. Die Abflussstufen entsprechen denen der instationären Abflusstreppe.

5.2 Übersicht Varianten

Eine Übersicht über die maßgeblichen Merkmale der berechneten Varianten, die verwendeten Kurzbezeichnungen und die zugehörigen Rechenläufe sind Anlage 6 zu entnehmen.

Die Hauptvarianten sind folgende:

- (Istzustand)
- Dammrückverlegung klein (DRV klein, D_k...)
- Dammrückverlegung groß (DRV groß, D_g...)
- Dammrückverlegung mittel (DRV mittel, D_m...)

- Polder klein (P_k...)
- Polder groß (P_g...)
- Polder mittel (P_m...)
- Kombination aus Dammrückverlegung und Polder (DP_m...)

In den folgenden Kapiteln werden die Varianten kurz beschrieben.

5.2.1 Istzustand

Das Modell des Istzustands bildet den heutigen Zustand des Rheins zwischen Leimersheim und Speyer ab und beinhaltet die Insel Elisabethenwört ebenfalls im heutigen Zustand. Die Aufstellung, Kalibrierung und Validierung des Modells kann Kapitel 4 entnommen werden.

Wie in Kapitel 4.2.1 bereits erwähnt, wurde im Bereich der Insel Elisabethenwört das DGM der Landesvermessung verwendet. Wesentlicher Grund hierfür war, dass die Sommerdämme im DGM-W nicht ausreichend enthalten waren. Die Sommerdämme trennen die westlich und östlich gelegenen landwirtschaftlich genutzten Flächen von der bewaldeten Fläche. Im gesamten Inselbereich gibt es nicht durchgängige Grabenstrukturen, die hier Schluten genannt werden.

Folgende Abbildung zeigt qualitativ den Geländeverlauf des RHR.

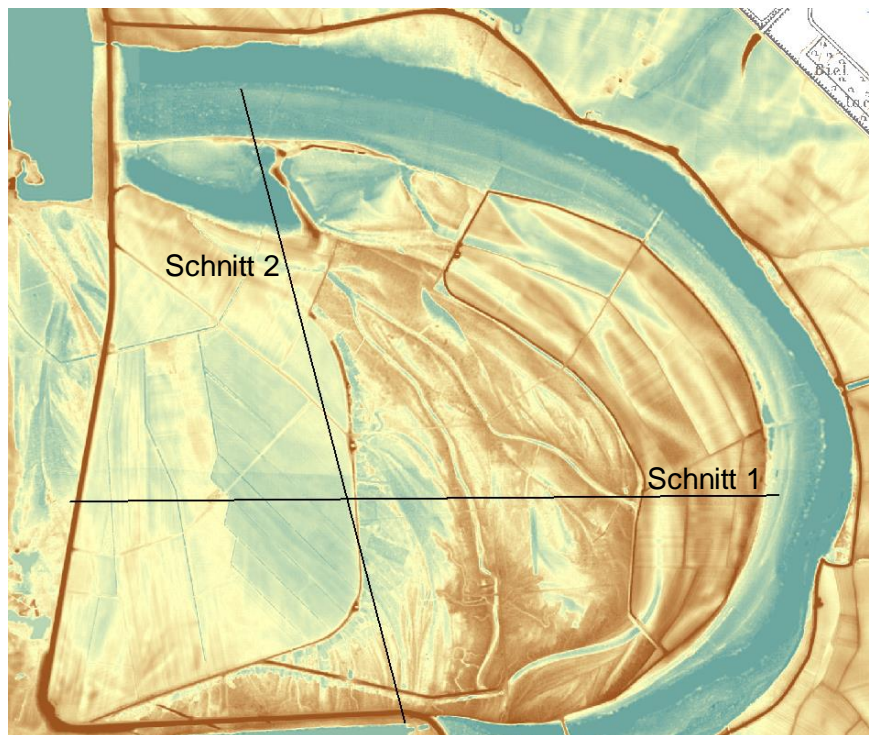


Abbildung 5-3: DGM Rückhalteraum mit Geländeschnittlinien

Die beiden DGM-Schnitte durch den RHR zeigen folgende Abbildungen.

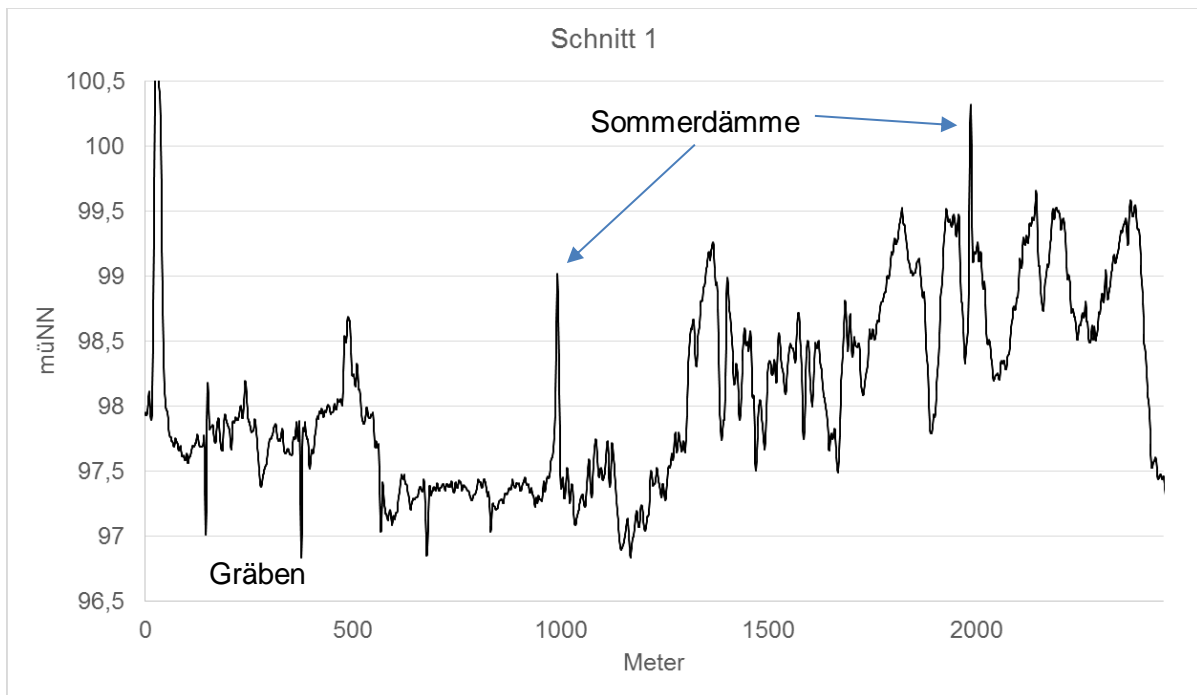


Abbildung 5-4: DGM-Schnitt 1

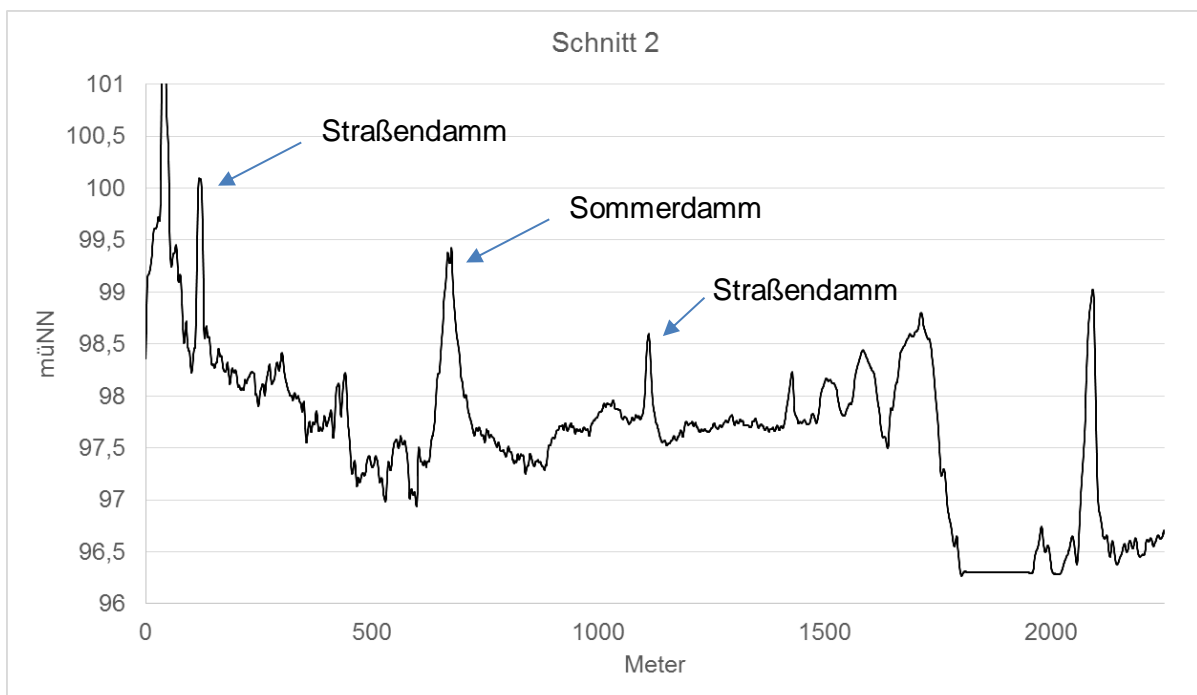


Abbildung 5-5: DGM-Schnitt 2

Hierbei wird deutlich:

- Der östliche Raum liegt gut 1 m höher als der westliche Raum.
- Der östliche Sommerdammabschnitt ist mit einer Ausnahme im Süden durchgehend.
- Der westliche Sommerdammabschnitt ist mit Ausnahme im Norden durchgehend.
- Es sind viele Gräben und tlw. nicht durchgängige Schluten enthalten.

- Die Waldfläche ist topografisch in zwei Bereiche aufzuteilen. Der westliche Bereich liegt ca. 1 m tiefer als der östliche und etwas breitere Bereich.
- U.a. im Süden ist ein querender Straßendamm, der die Strömung signifikant beeinflussen kann.
- Im Norden kommt es zu einem Geländeanstieg auf ca. 98,8 mNHN, der einen Badewanneneffekt bewirken könnte.

Um die Strömungssituation genauer abzubilden, wurden auch Durchlässe (besonders in den Sommerdämmen) in dem Modell berücksichtigt.

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden instationären Abflüssen durchgeführt:

- Abflusstreppe (vgl. Kapitel 5.1.1)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit dem folgenden stationären Abfluss durchgeführt:

- Abflusstufe BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)

5.2.2 D_k_04 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI und Flutmulde)

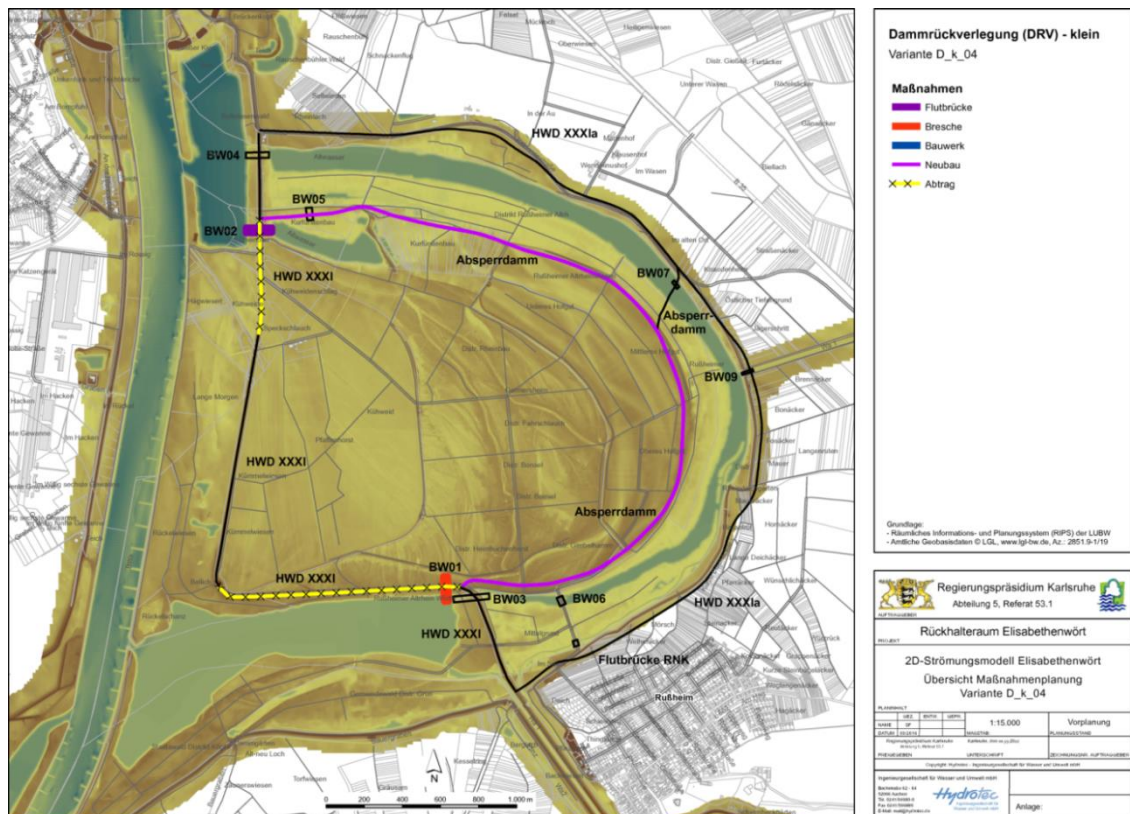


Abbildung 5-6: Dammrückverlegung klein (D_k_04)

Für die Variante D_k_04 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Teilabtrag des Trenndamms HWD XXXI (gelbe Linie mit Kreuzen)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Bau der Flutmulde BW01 mit einer Sohlhöhe von 98,00 mNN (rote Markierung) und einer Sohlbreite von ca. 25 m (siehe nachfolgende Abbildung 5-7)
- Bau der Flutbrücke BW02 (lila Markierung) (siehe nachfolgende Abbildung 5-7)

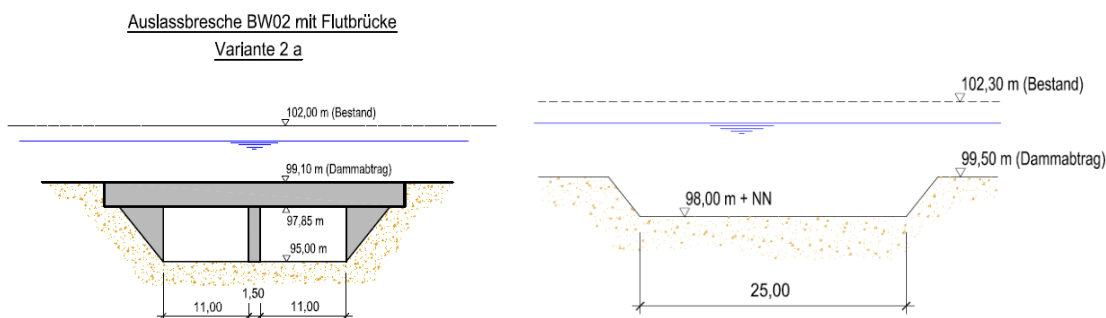


Abbildung 5-7: links: Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke; rechts: Flutmulde BW01 D_k_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflusstreppe (vgl. Kapitel 5.1.1)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

5.2.3 D_k_05 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, Flutmulde und durchgängige Schluten)

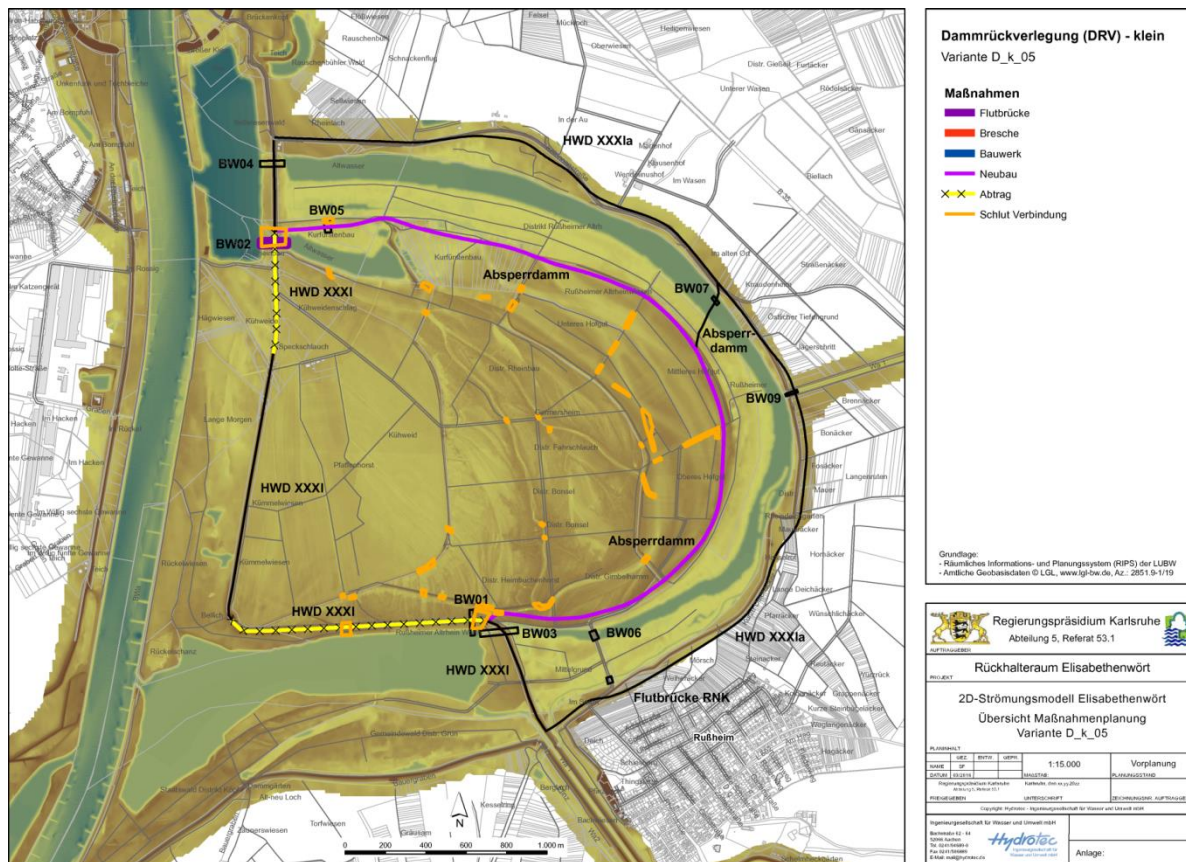


Abbildung 5-8: Dammrückverlegung klein D_k_05

Für die Variante D_k_05 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Teilabtrag des Trenndamms HWD XXXI (gelbe Linie mit Kreuzen)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Bau der Flutmulde BW01 mit einer Sohlhöhe von 98,00 mNN (rote Markierung) und einer Sohlbreite von ca. 25 m (siehe nachfolgende Abbildung 5-9)
- Erstellung der Durchgängigkeit der Schluten und weitere Flutmulden westlich im abgetragenen Teil des HWD XXXI und im Sommerdamm (orange)
- Bau der Flutbrücke BW02 (lila Markierung) (siehe nachfolgende Abbildung 5-9)

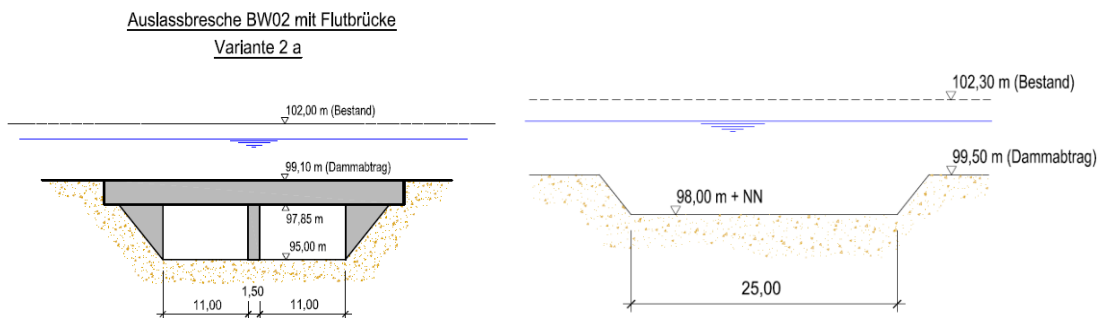


Abbildung 5-9: links: Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke; rechts: Flutmulde BW01 D_k_05 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflusstreppe (vgl. Kapitel 5.1.1)
- Abflusstreppe mit verlängerter Stufe 4 (vgl. Kapitel 5.1.1 und Anlage 7)

5.2.4 D_k_06 (Dammrückverlegung klein mit Komplettabtrag HWD XXXI)

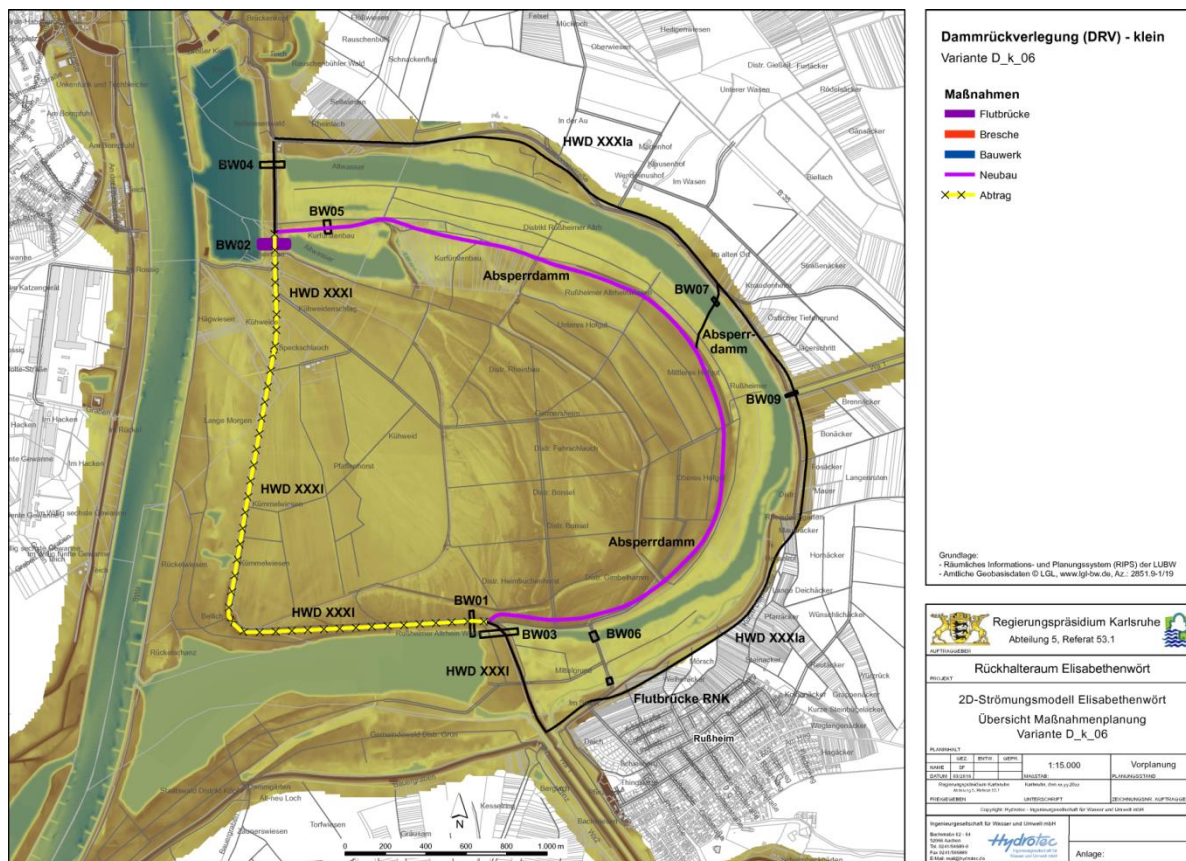


Abbildung 5-10: Dammrückverlegung klein D_k_06

Für die Variante D_k_06 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Abtrag des Trenndamms HWD XXXI (gelbe Linie mit Kreuzen)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Bau der Flutbrücke BW02 (lila Markierung) (siehe nachfolgende Abbildung 5-11)

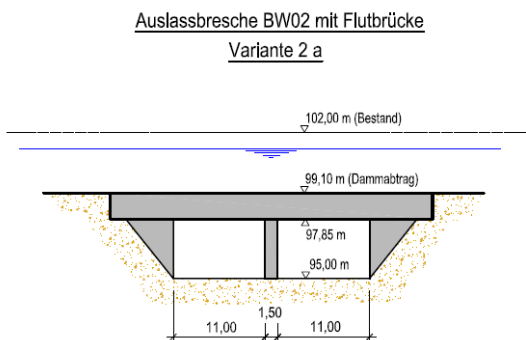


Abbildung 5-11: Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke D_k_06 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflusstreppe (vgl. Kapitel 5.1.1)

5.2.5 D_k_08 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, optimierten Schluten und BW02 verschoben)

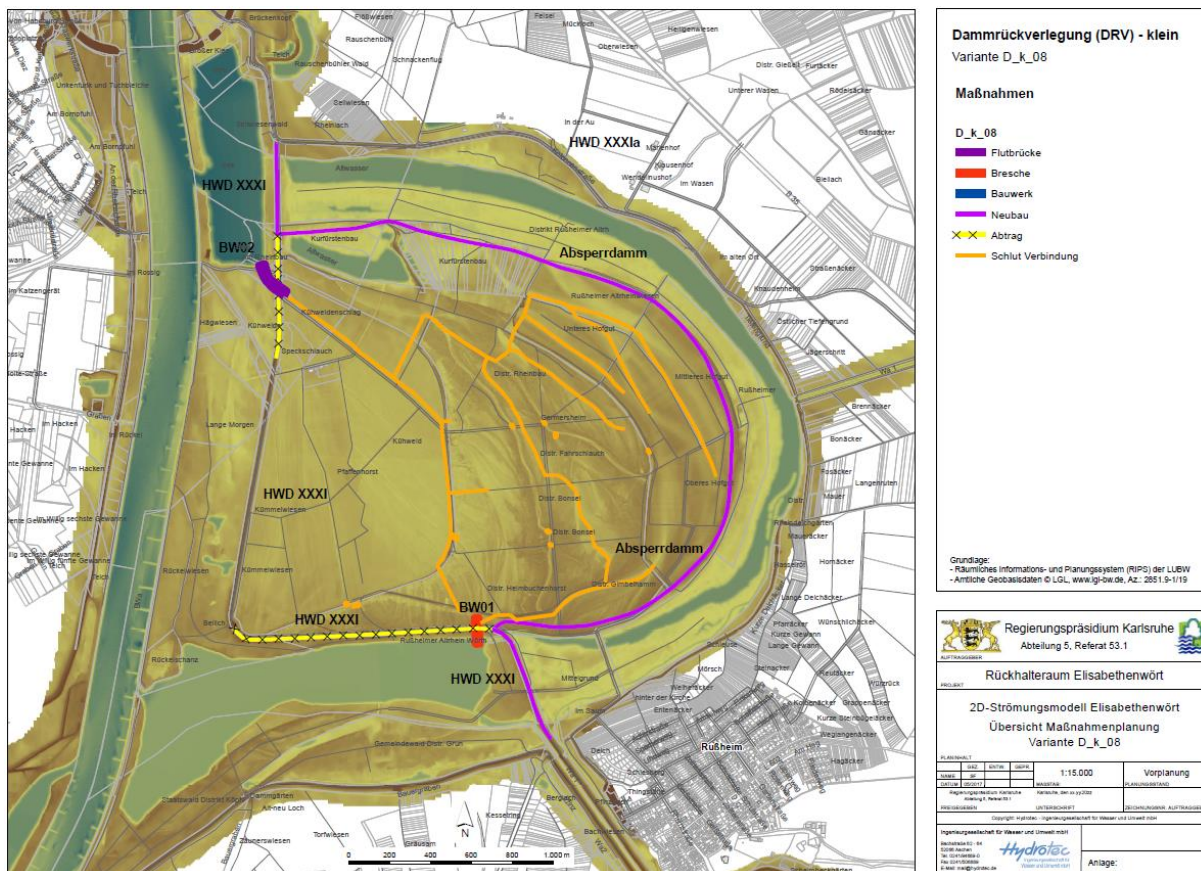


Abbildung 5-12: Dammrückverlegung klein (D_k_08)

Für die Variante D_k_08 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Teilabtrag des Trenndamms HWD XXXI (gelbe Linie mit Kreuzen)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Einbau relevanter Schluten bzw. „Schluten 3.0“ (orange). Schluten sind identisch zu DP_k_02 und P_k_08.
- Bau der Flutmulde BW01 mit einer Sohlhöhe von 97,50 mNHN (rote Markierung) und einer Sohlbreite von ca. 25 m (siehe nachfolgende Abbildung 5-7)
- Bau der Flutbrücke BW02 (lila Markierung). Hierbei handelt es sich um ein schräg in den Damm angeordnetes zweifeldriges (jeweils 11 m Breite) Bauwerk mit einer Sohlhöhe von 96,0 mNHN.

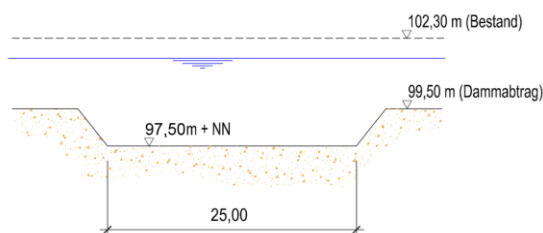


Abbildung 5-13: Flutmulde BW01 D_k_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflusstreppe (vgl. Kapitel 5.1.1)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

5.2.6 D_m_04 (Dammrückverlegung mittel mit Komplettabtrag HWD XXXI)

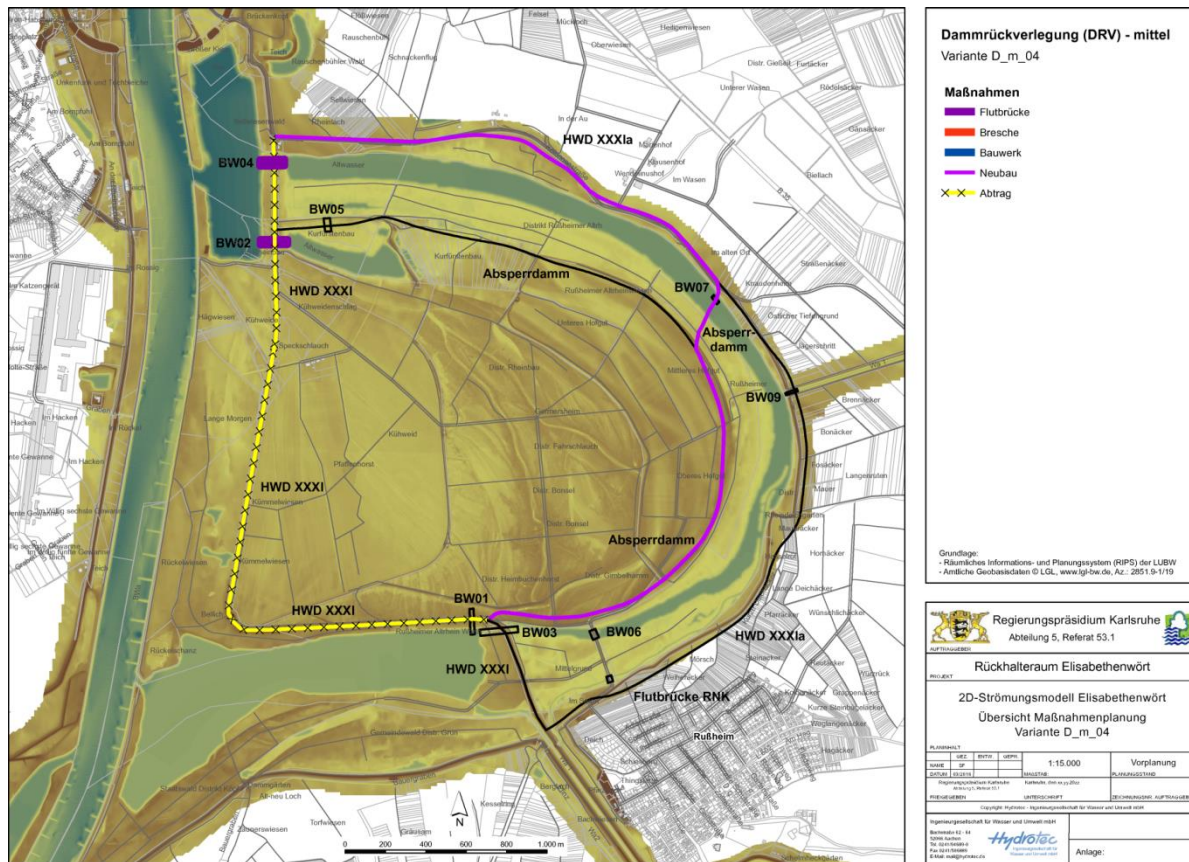


Abbildung 5-14: Dammrückverlegung mittel D_m_04

Für die Variante D_m_04 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- kompletter Abtrag des Trenndamms HWD XXXI (gelbe Linie mit Kreuzen)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel und Ausbau des Absperrdamms HWD XXXIa (lila Linie)
- Bau der Flutbrücke BW02 (lila Markierung) (siehe nachfolgende Abbildung 5-15)

Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke
Variante 2 b und 2 c

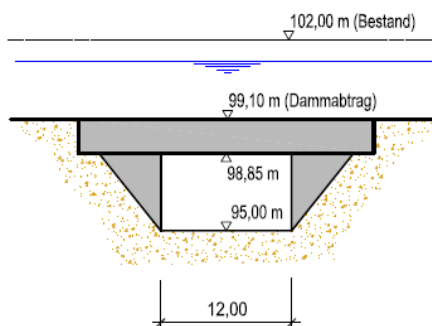


Abbildung 5-15: Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke D_m_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau der Flutbrücke BW04 (siehe nachfolgende Abbildung 5-16)

Auslassbresche BW04 mit Flutbrücke

Variante 2 b und 2 c

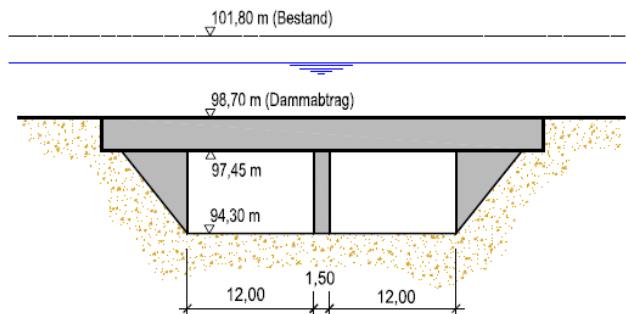


Abbildung 5-16: Auslassbresche BW04 mit Flutbrücke D_m_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflusstreppe (vgl. Kapitel 5.1.1)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

5.2.7 D_g_03 (Dammrückverlegung groß mit Komplettabtrag HWD XXXI)

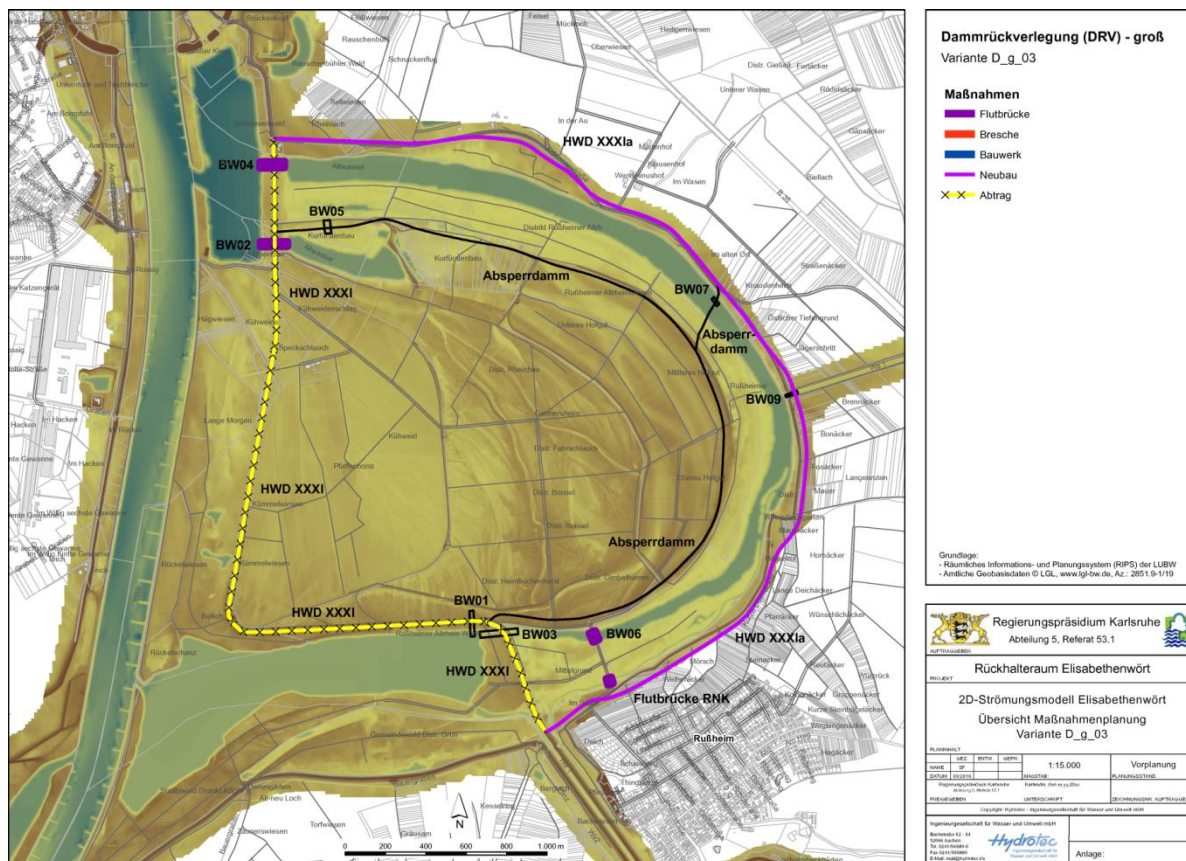


Abbildung 5-17: Dammrückverlegung groß D_g_03

Für die Variante D_g_03 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- kompletter Abtrag des Trenndamms HWD XXXI (gelbe Linie mit Kreuzen)
- Ausbau des Absperrdamms HWD XXXIa (lila Linie)
- Bau der Flutmulde BW03 (siehe nachfolgende Abbildung 5-18)

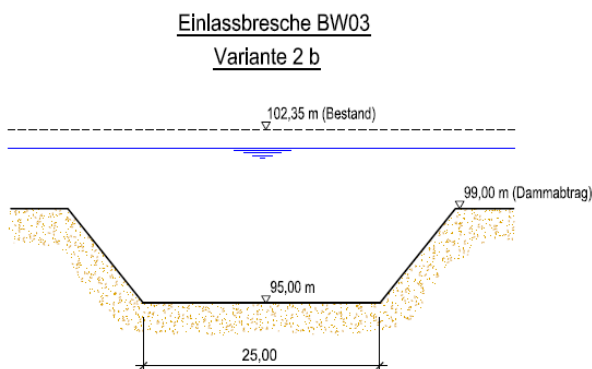


Abbildung 5-18: Einlassbresche BW03 D_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau der Flutbrücke BW02 (lila Markierung) (siehe nachfolgende Abbildung 5-19)

Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke

Variante 2 b und 2 c

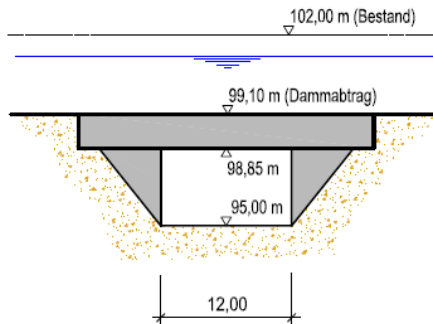


Abbildung 5-19: Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke D_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau der Flutbrücke BW04 (siehe nachfolgende Abbildung 5-20)

Auslassbresche BW04 mit Flutbrücke

Variante 2 b und 2 c

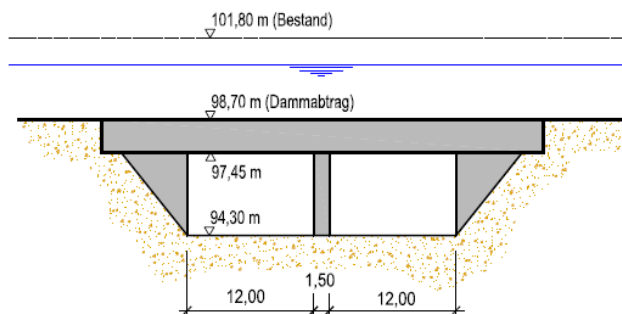


Abbildung 5-20: Auslassbresche BW04 mit Flutbrücke D_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau der Flutbrücke BW06 und Neubau der Flutbrücke RNK (siehe nachfolgende Abbildung 5-21 und Abbildung 5-22)

Flutbrücke BW06

Variante 2 b und 3 b

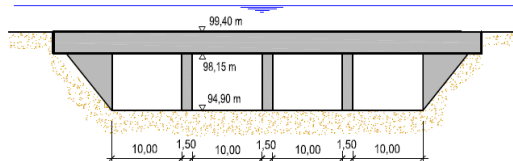


Abbildung 5-21: Auslassbresche BW06 mit Flutbrücke D_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Flutbrücke Rheinniederungskanal
Variante 2 b und 3 b

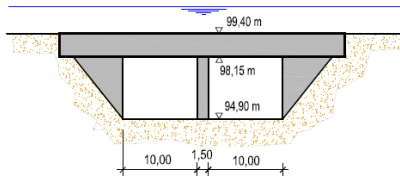


Abbildung 5-22: Neubau der Flutbrücke RNK D_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflusstreppe (vgl. Kapitel 5.1.1)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

5.2.8 P_k_02 (Polder klein)

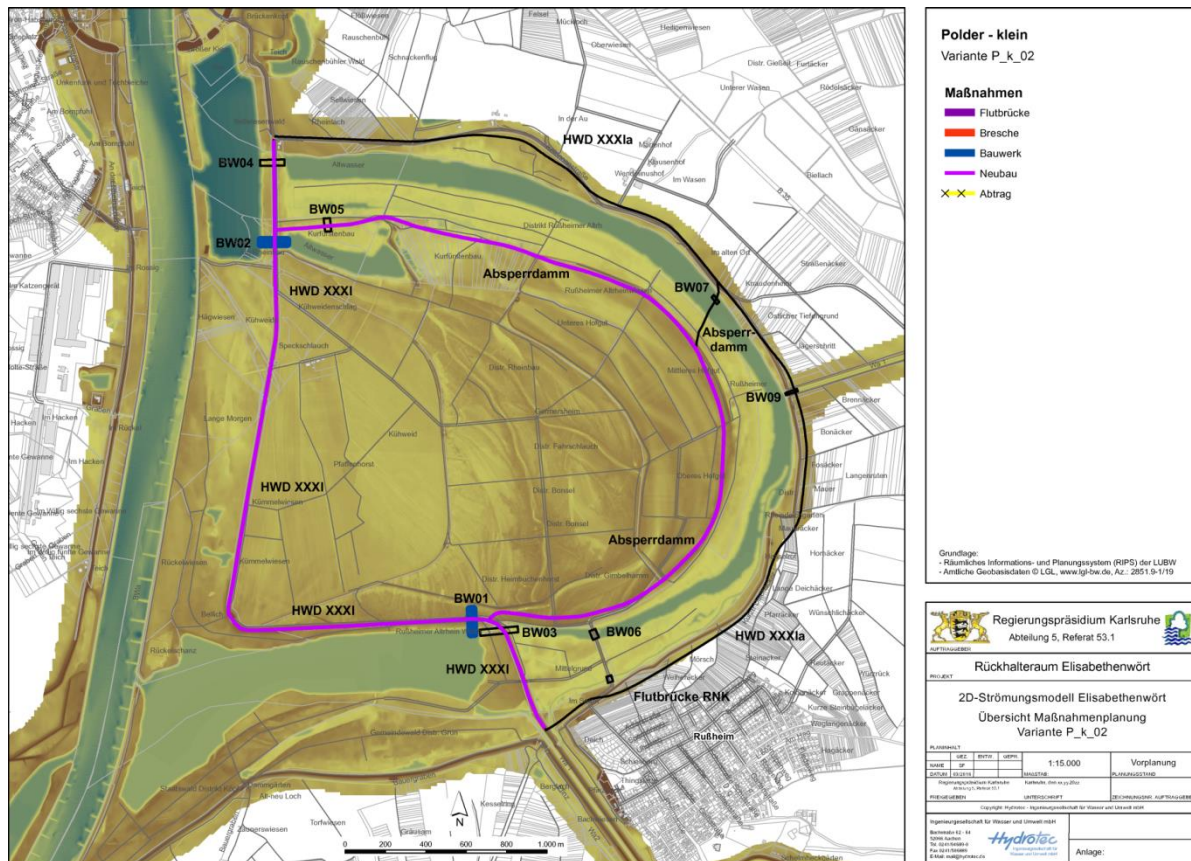


Abbildung 5-23: Polder klein P_k_02

Für die Variante P_k_02 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Sanierung des Trenndamms HWD XXXI (lila Linie)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Bau des Bauwerks BW01 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-24)

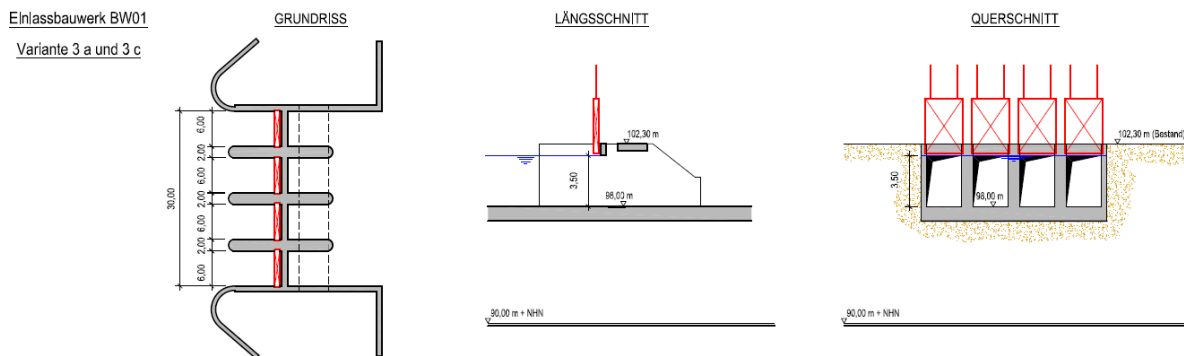


Abbildung 5-24: Bauwerk BW01 P_k_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau des Bauwerks BW02 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-25)

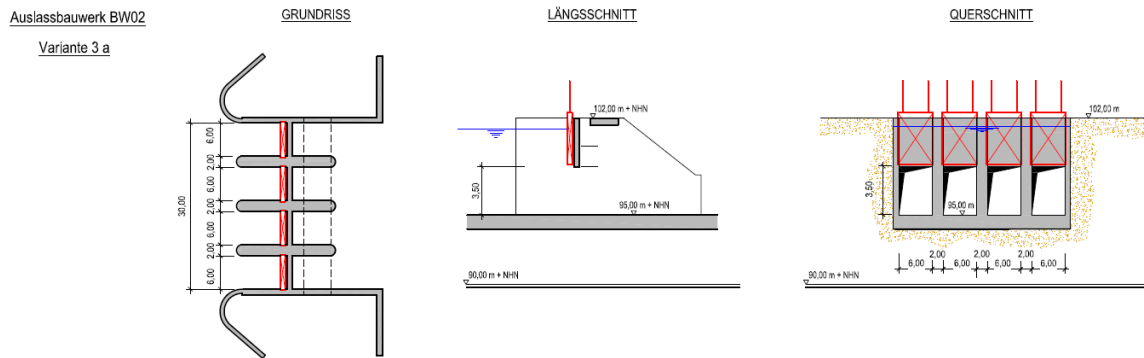


Abbildung 5-25: Bauwerk BW02 P_k_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

- Bau des Bauwerks BW02 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-28)

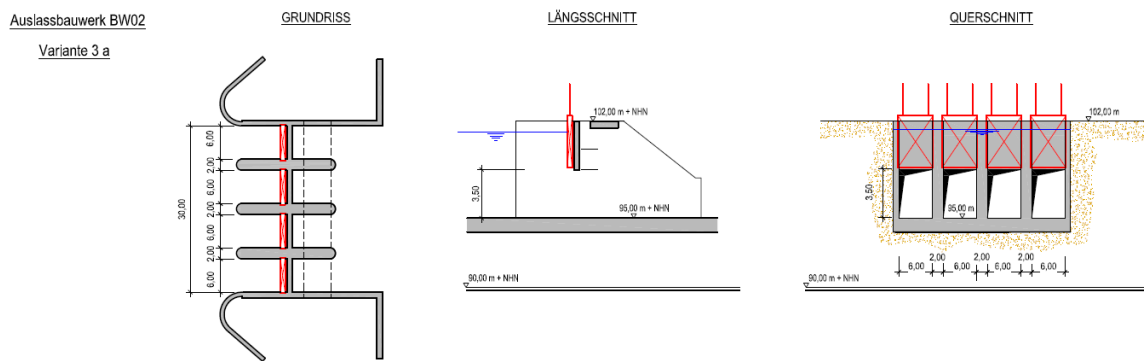


Abbildung 5-28: Bauwerk BW02 P_k_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)

5.2.10 P_k_04 (Polder klein und Vergrößerung des BW01 (doppelte Breite))

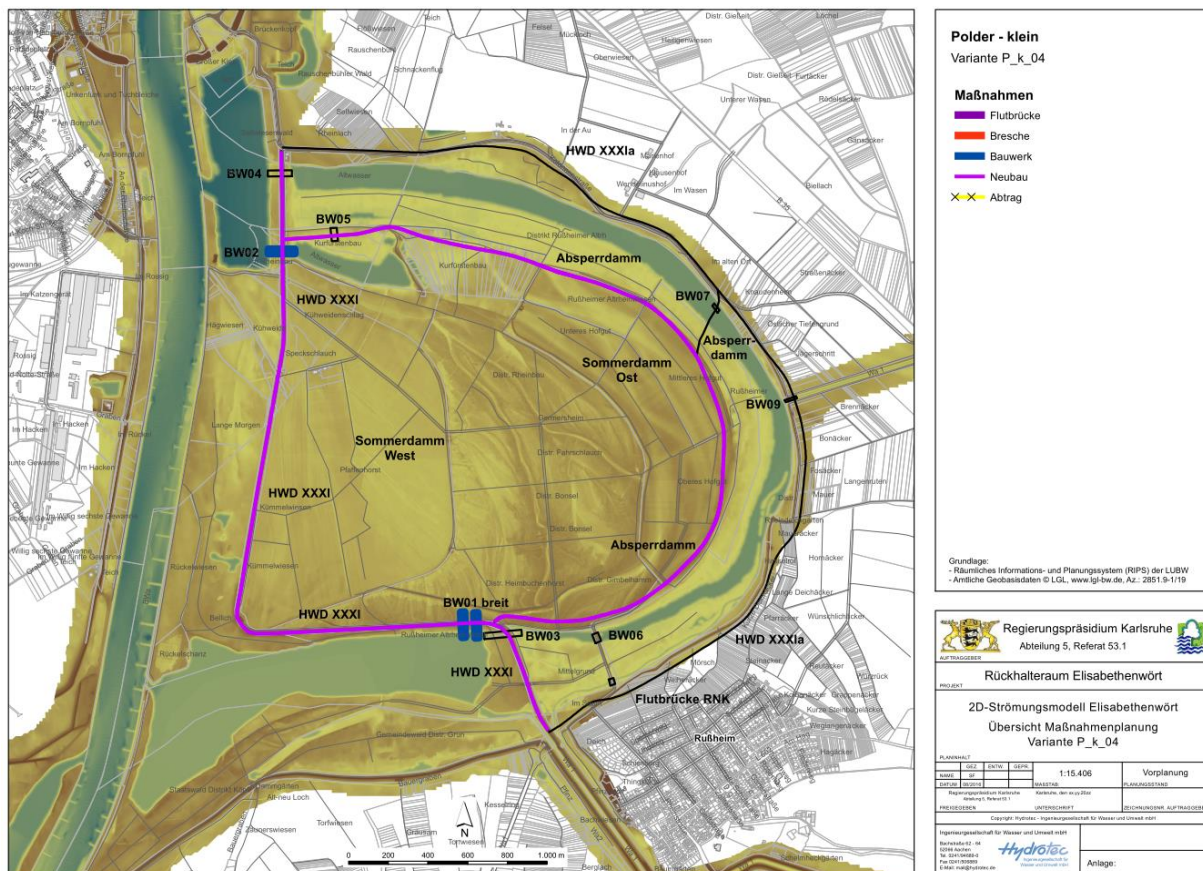


Abbildung 5-29: Polder klein P_k_04

Für die Variante P_k_04 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Sanierung des Trenndamms HWD XXXI (lila Linie)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Bau des Bauwerks BW01 zweimal (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-30)

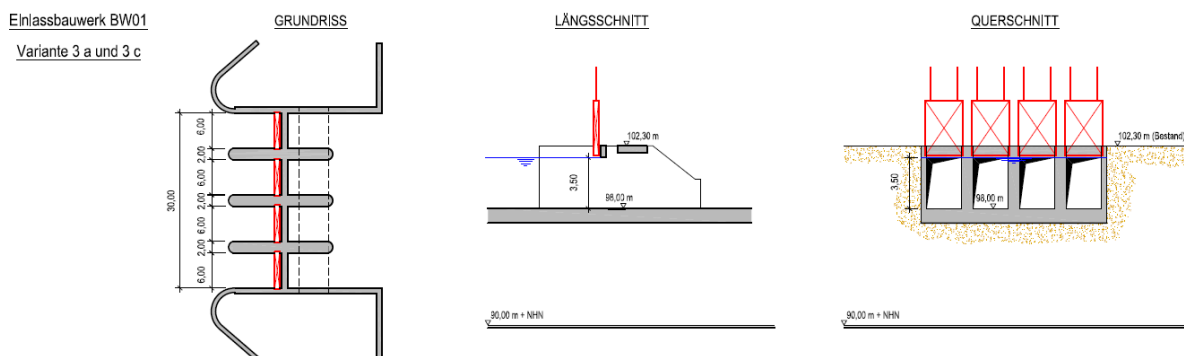


Abbildung 5-30: Bauwerk BW01 P_k_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau des Bauwerks BW02 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-31)

Auslassbauwerk BW02

Variante 3 a

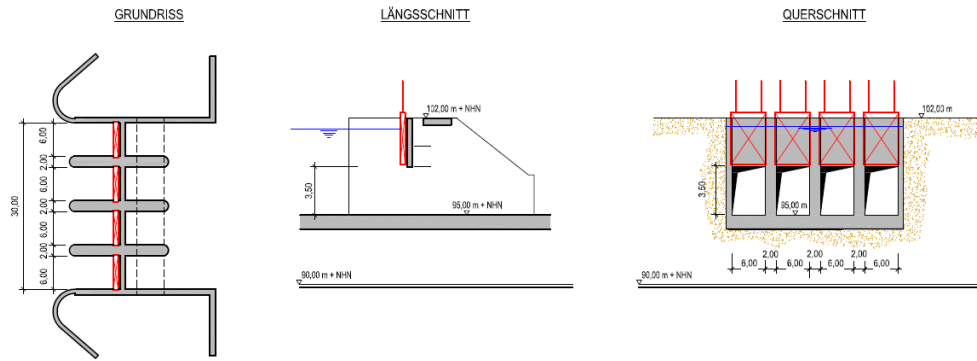


Abbildung 5-31: Bauwerk BW02 P_k_04 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)

Auslassbauwerk BW02

Variante 3 a

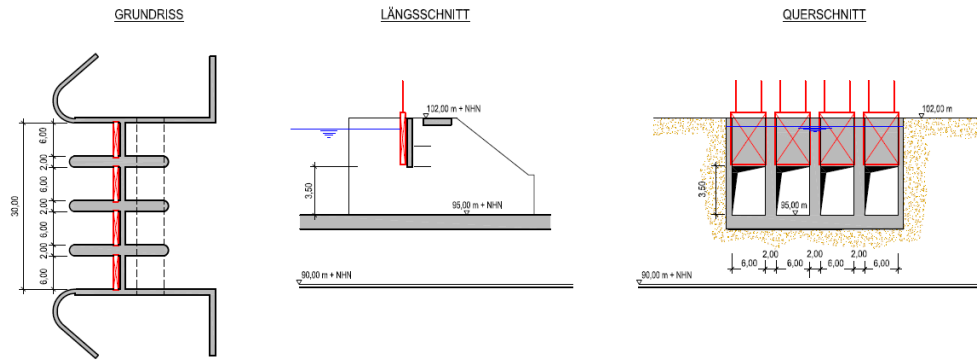


Abbildung 5-34: Bauwerk BW02 P_k_05 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)

5.2.12 P_k_06 (Polder klein, Einbau maximal optimierter Schluten, Vergrößerung der Bauwerke BW01 und BW02)

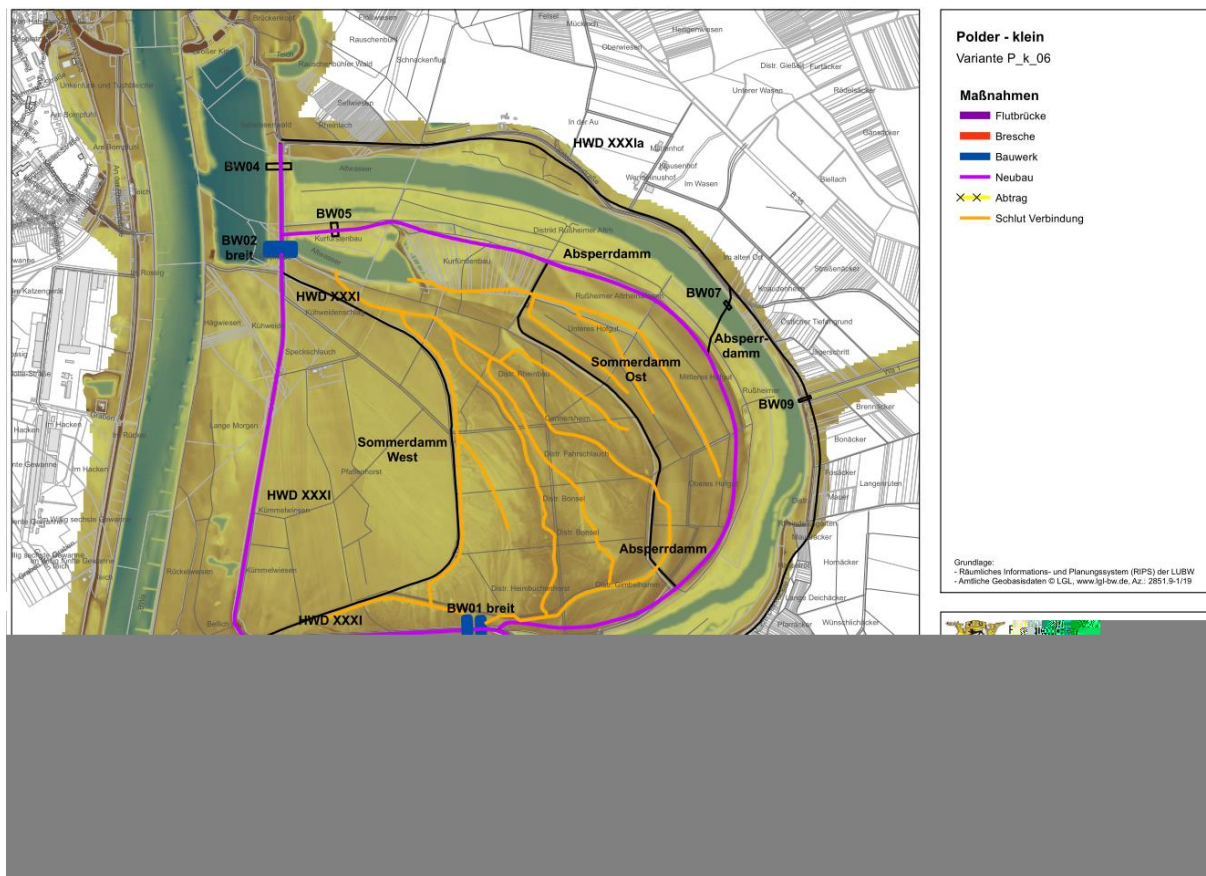


Abbildung 5-35: Polder klein P_k_06

Für die Variante P_k_06 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Sanierung des Trenndamms HWD XXXI (lila Linie)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Einbau maximal optimierte Schluten (orange). Die Schluten haben eine Sohlbreite von ca. 3 m und sind auf Grundlage des Längsschnittes durch den Rückhalteraum optimal in das Gelände modelliert worden (in das Gelände „gefräst“).
- Bau des Bauwerks BW01 (blau) in doppelter Ausführung (8 Felder = 2 fache Breite) (blau) und Anpassung der Sohlhöhe auf 97,50 mNHN, KUK = 101,50 mNHN
- Bau des Bauwerks BW02 mit 6 Feldern (= 1,5 fache Breite) (blau)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)

5.2.13 P_k_07 (Polder klein, Einbau der Schluten im Waldgebiet und Sanierung des östlichen Sommerdamms)

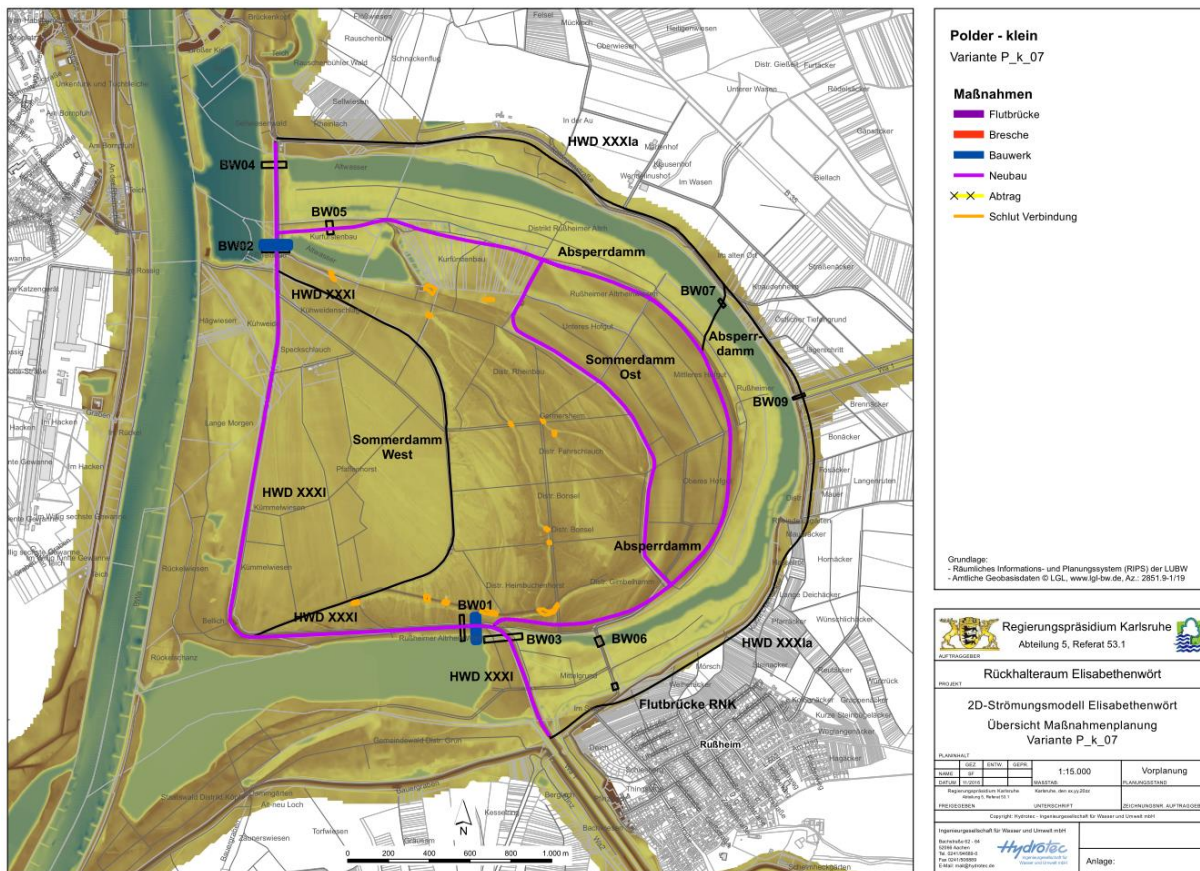


Abbildung 5-36: Polder klein P_k_07

Für die Variante P_k_07 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Sanierung des Trenndamms HWD XXXI (lila Linie)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Sanierung des östlichen Sommerdamms auf 100 mNHN (lila Linie)
- Einbau der Schluten im Waldgebiet (orange)
- Bau des Bauwerks BW01 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-37)

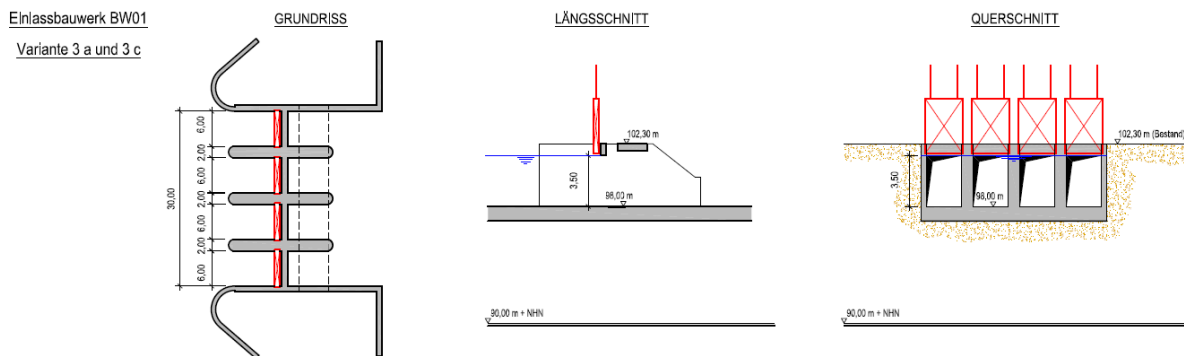


Abbildung 5-37: Bauwerk BW01 P_k_07 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau des Bauwerks BW02 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-38)

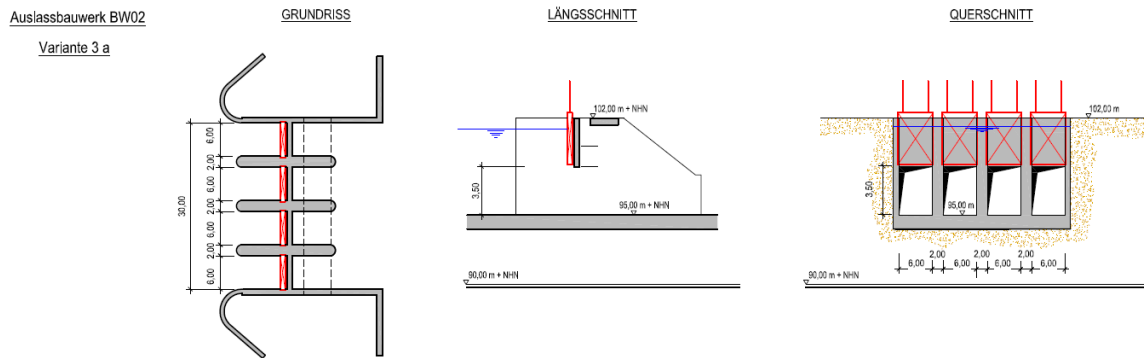


Abbildung 5-38: Bauwerk BW02 P_k_07 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)

5.2.14 P_k_08 (Polder klein mit optimierten Schluten und BW02 verschoben)

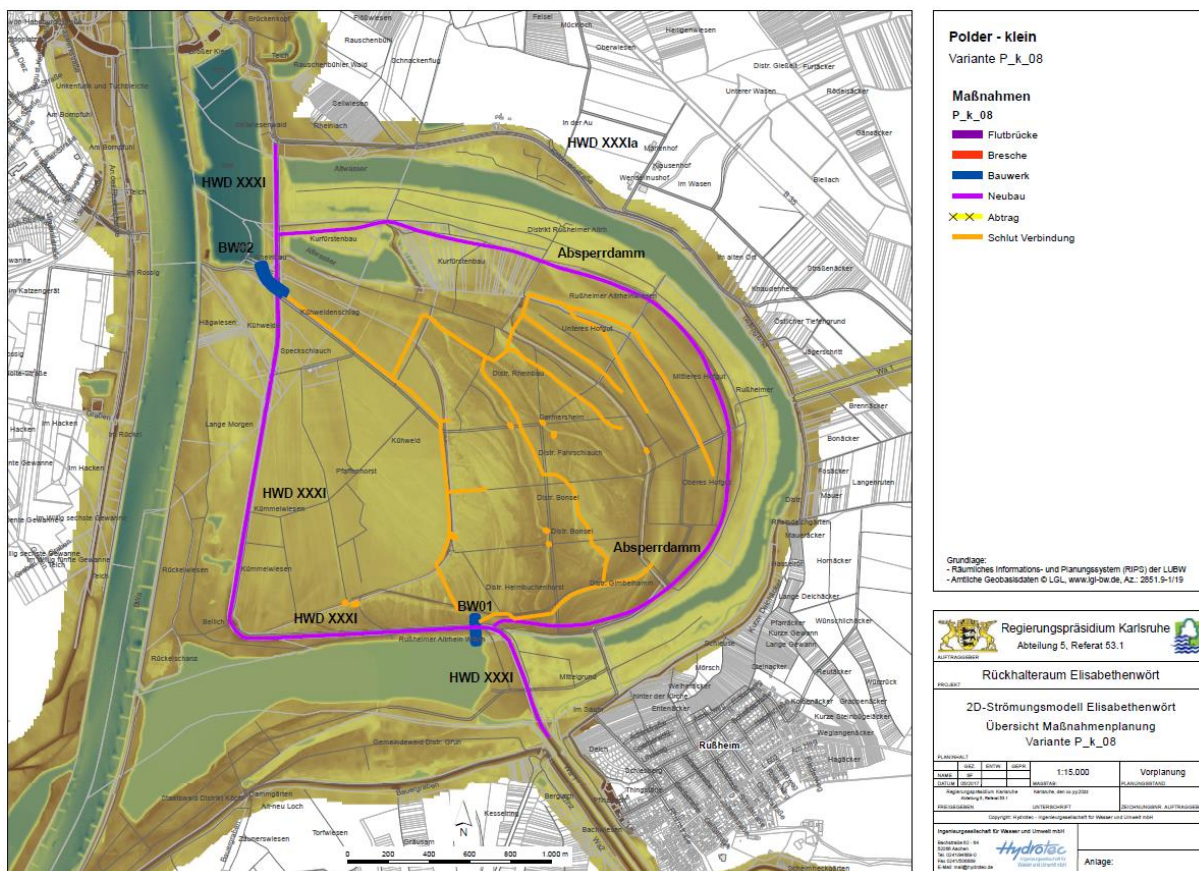


Abbildung 5-39: Polder klein P_k_08

Für die Variante P_k_08 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Sanierung des Trenndamms HWD XXXI (lila Linie)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Einbau relevanter Schluten bzw. „Schluten 3.0“ (orange). Schluten sind identisch zu DP_k_02 und D_k_08.
- Bau des Bauwerks BW01, Sohle auf 97,5 mNHN vertieft (blau) mit einer Öffnungshöhe von 3,5 m (siehe nachfolgende Abbildung 5-40)

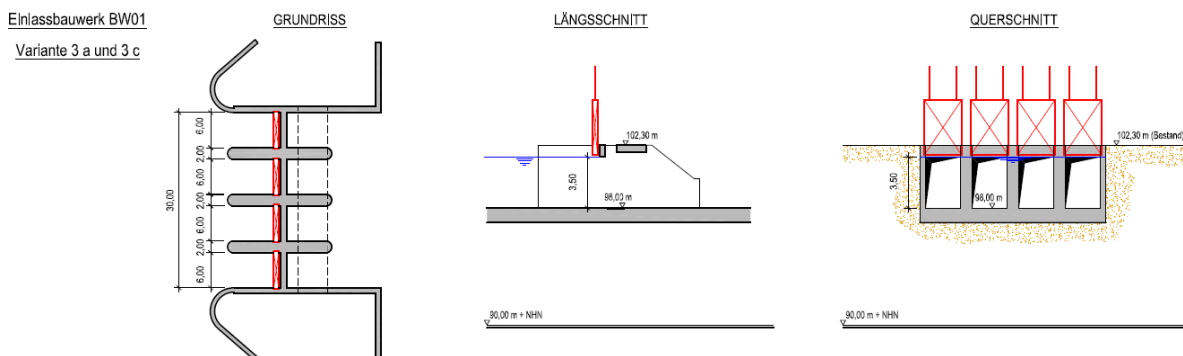


Abbildung 5-40: Bauwerk BW01 P_k_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau des Bauwerks BW02 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-41)

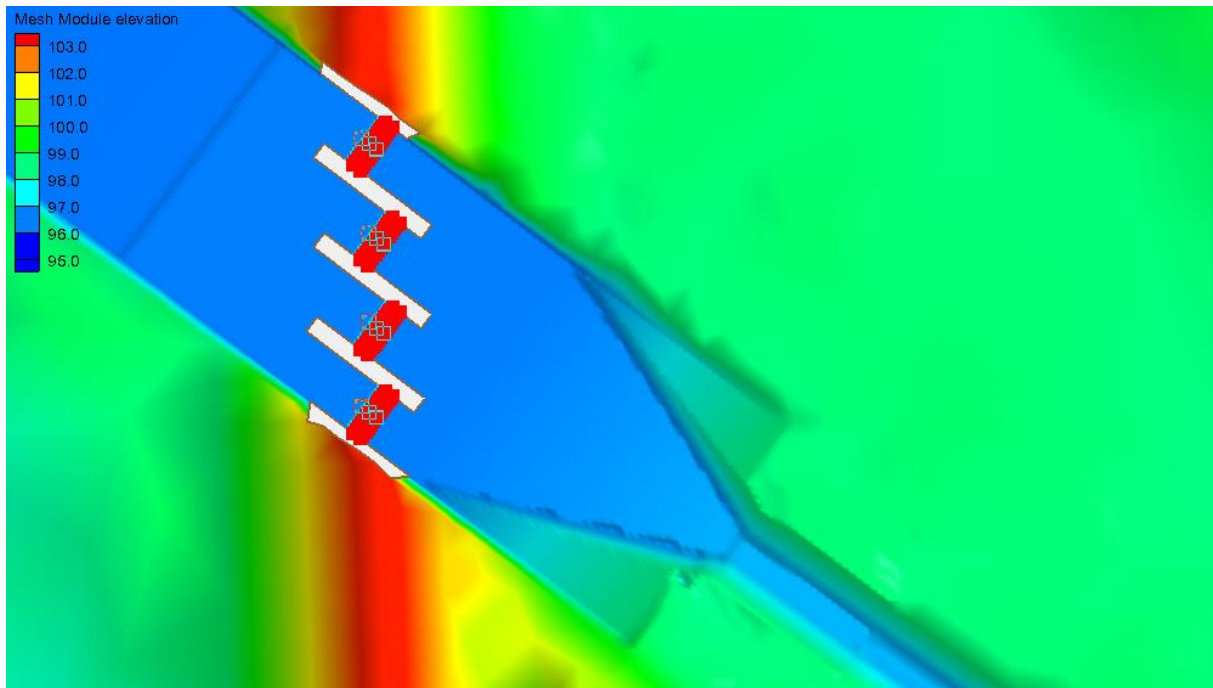


Abbildung 5-41: Bauwerk BW02 P_k_08 (Ausschnitt 2D-Modell)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

5.2.15 P_m_02 (Polder mittel)

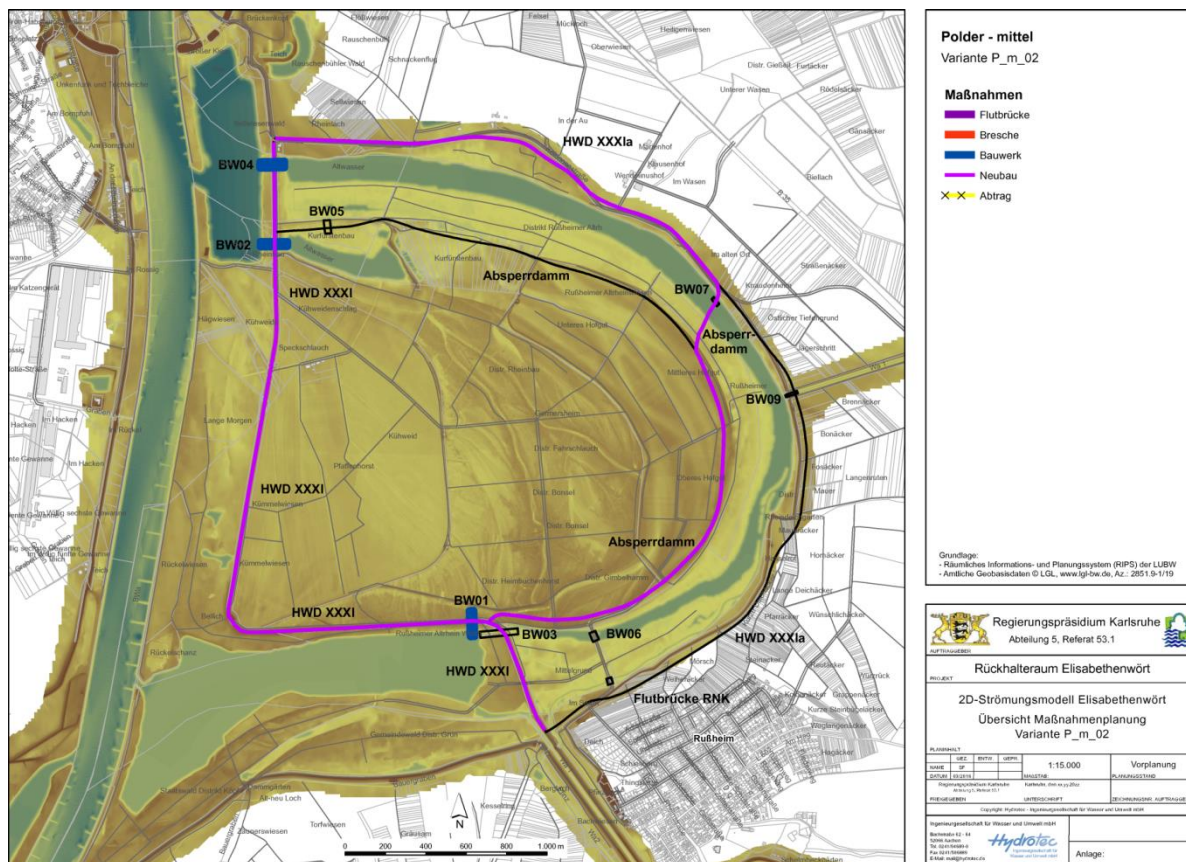


Abbildung 5-42: Polder mittel P_m_02

Für die Variante P_m_02 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Sanierung des Trenndamms HWD XXXI (lila Linie)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel und Ausbau des Absperrdamms HWD XXXIa (lila Linie)
- Bau des Bauwerks BW01 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-43)

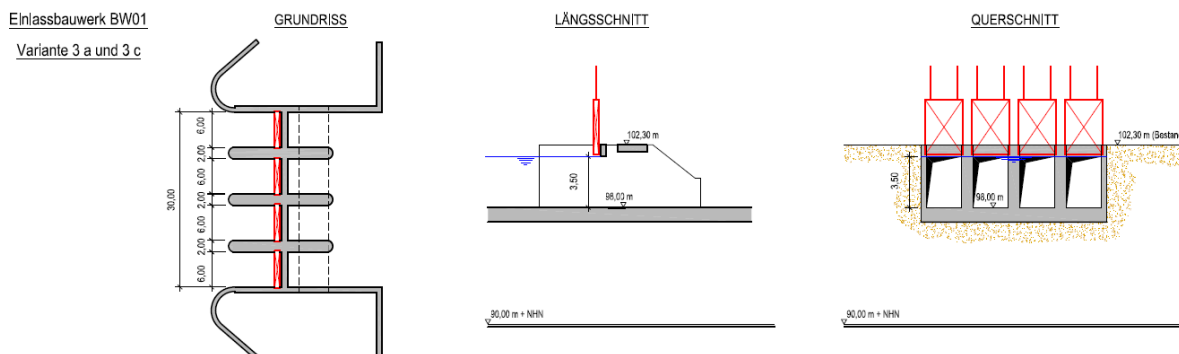


Abbildung 5-43: Bauwerk BW01 P_m_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau des Bauwerks BW02 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-44)

Auslassbauwerk BW02
Variante 3 b und 3 c

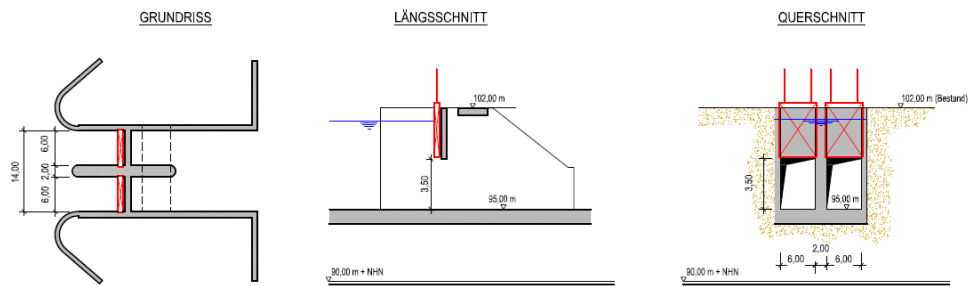


Abbildung 5-44: Bauwerk BW02 P_m_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau des Bauwerks BW04 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-45)

Auslassbauwerk BW04
Variante 3 b und 3 c

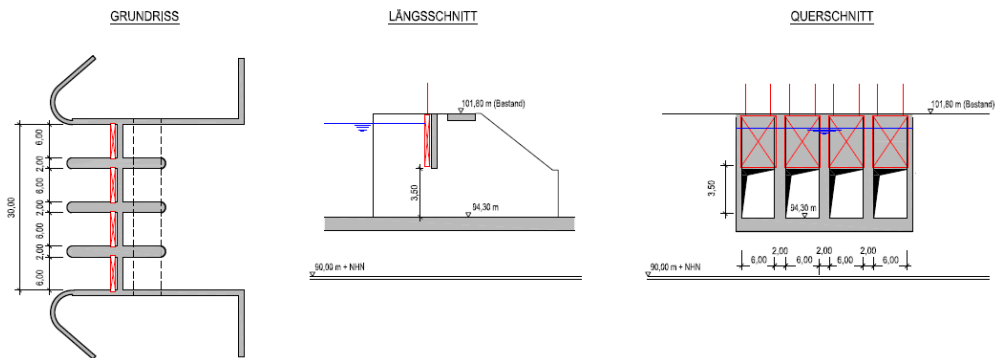


Abbildung 5-45: Bauwerk BW04 P_m_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

5.2.16 P_g_02 (Polder groß)

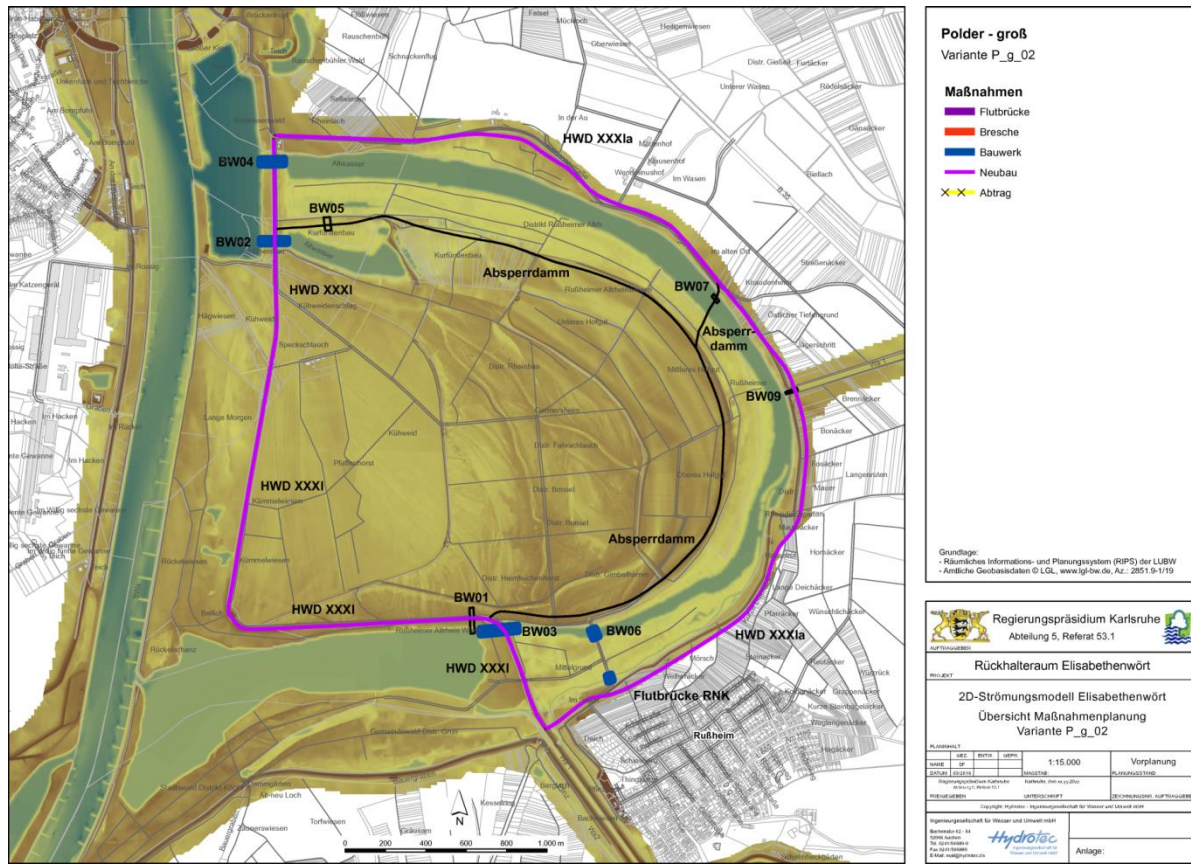


Abbildung 5-46: Polder groß P_g_02

Für die Variante P_g_02 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Sanierung des Trenndamms HWD XXXI (lila Linie)
- Ausbau des Absperrdamms HWD XXXIa (lila Linie)
- Bau des Bauwerks BW03 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-47)

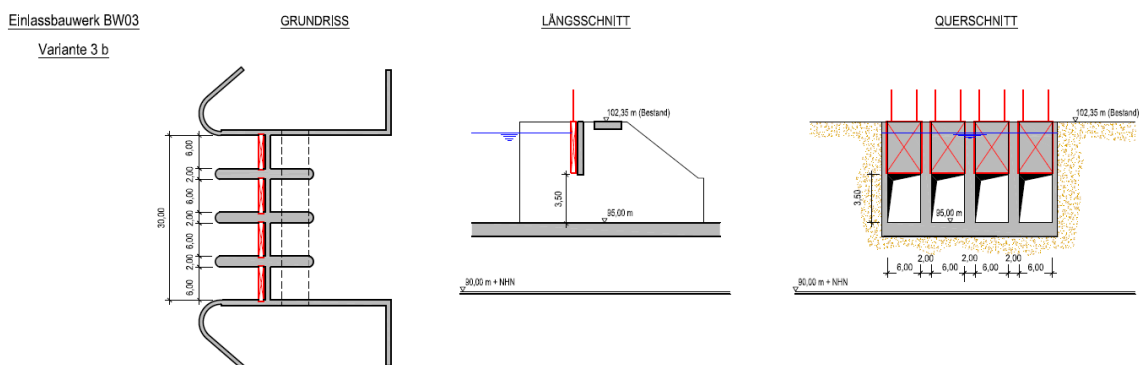


Abbildung 5-47: Bauwerk BW03 P_g_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau des Bauwerks BW02 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-48)

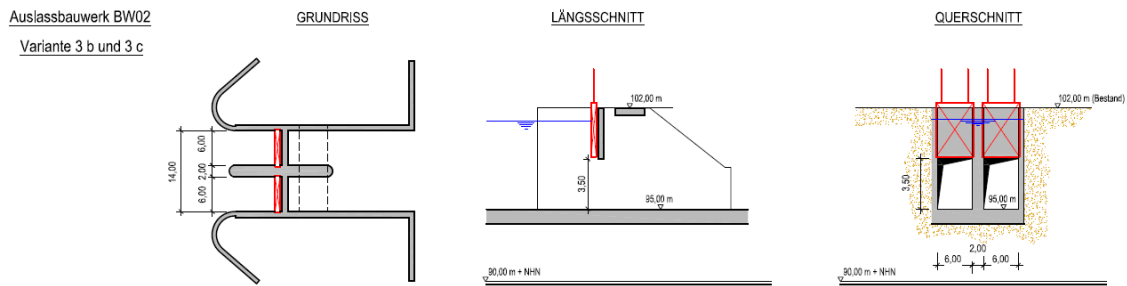


Abbildung 5-48: Bauwerk BW02 P_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau des Bauwerks BW04 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-49)

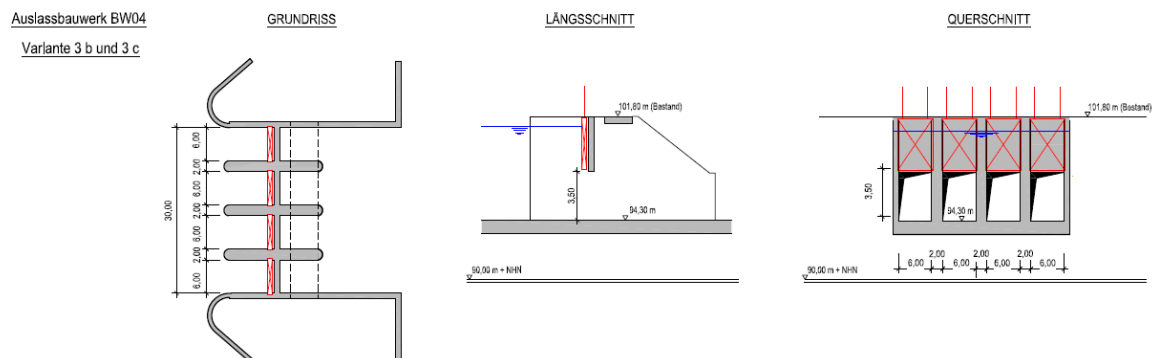


Abbildung 5-49: Bauwerk BW04 P_g_02 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau der Flutbrücke BW06 und Neubau der Flutbrücke RNK (siehe nachfolgende Abbildung 5-50 und Abbildung 5-51)

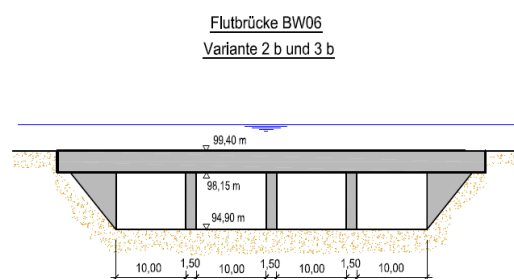


Abbildung 5-50: Flutbrücke BW06 P_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Flutbrücke Rheinniederungskanal
Variante 2 b und 3 b

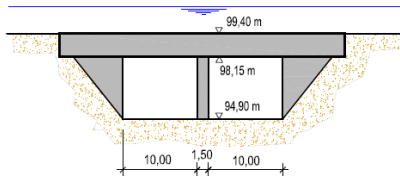


Abbildung 5-51: Neubau der Flutbrücke RNK P_g_03 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

5.2.17 DP_k_01 (DRV/Polder-Variante klein)

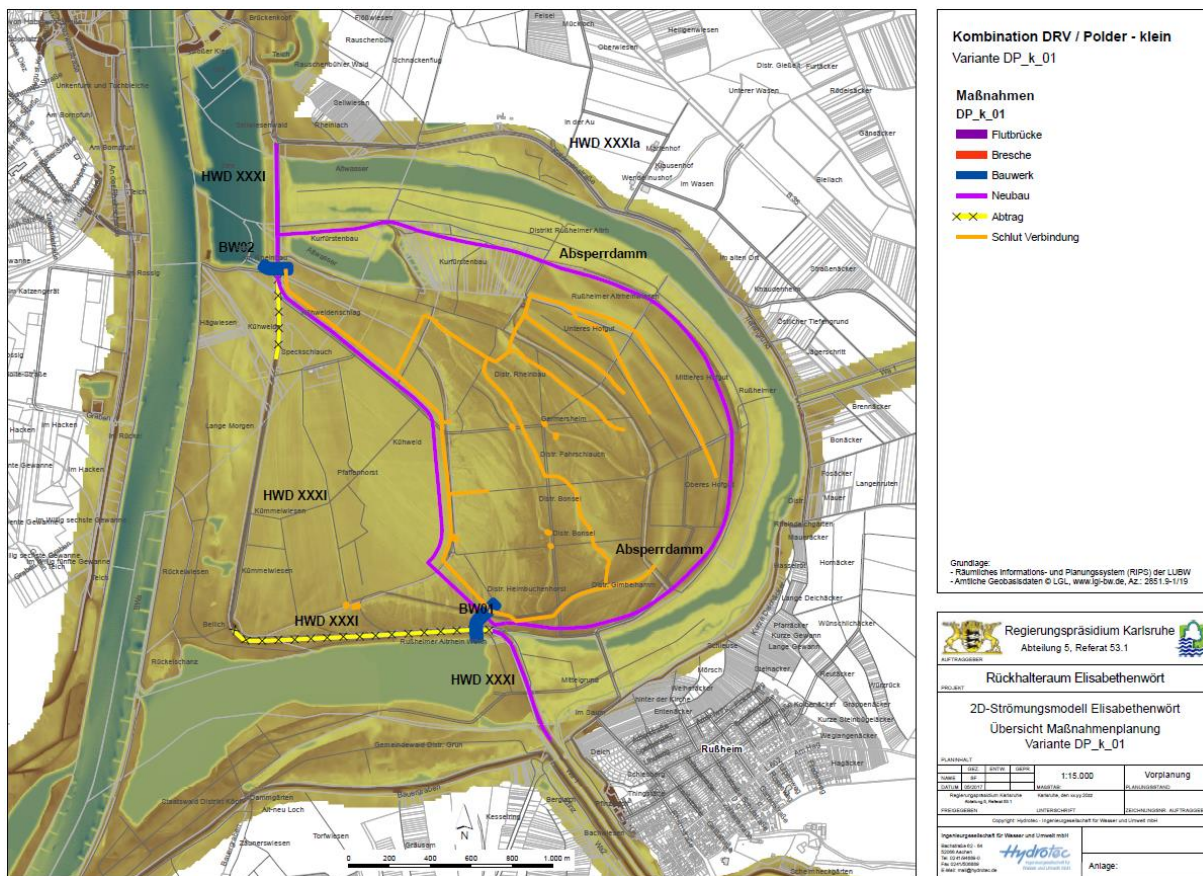


Abbildung 5-52: Kombination Dammrückverlegung und Polder DP_k_01

Für die Variante DP_k_01 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Teilabtrag des Trenndamms HWD XXXI (gelbe Linie mit Kreuzen)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Neubau des Trenndamms auf der Insel (lila Linie)
- Hinweis: Einbau eines Siels zur Restentleerung des DRV-Abschnittes in den Trenndamm erforderlich
- Einbau relevanter Schluten bzw. „Schluten 3.0“ (orange)
- Bau des Bauwerks BW01 inkl. Flutmulde zum Baggersee, Sohle und Flutmulde auf 97,5 mNHN vertieft (blau), KUK = 101,00 mNHN (siehe nachfolgende Abbildung 5-53)
- Bau des Bauwerks BW02 (4 Felder mit je 6 m Breite). Sohle auf 96,00 mNHN, KUK = 99,5 mNHN (siehe nachfolgende Abbildung 5-54)

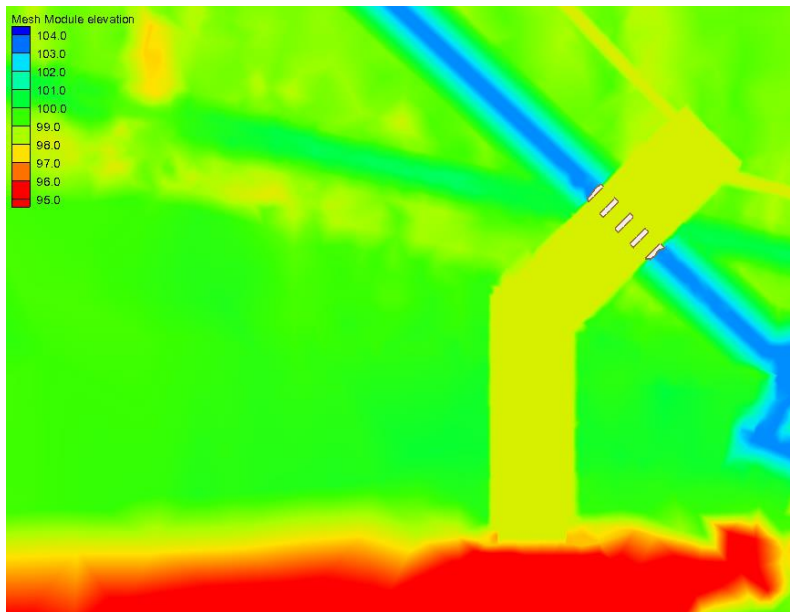


Abbildung 5-53: Bauwerk/Flutmulde BW01 (Ausschnitt 2D-Modell)

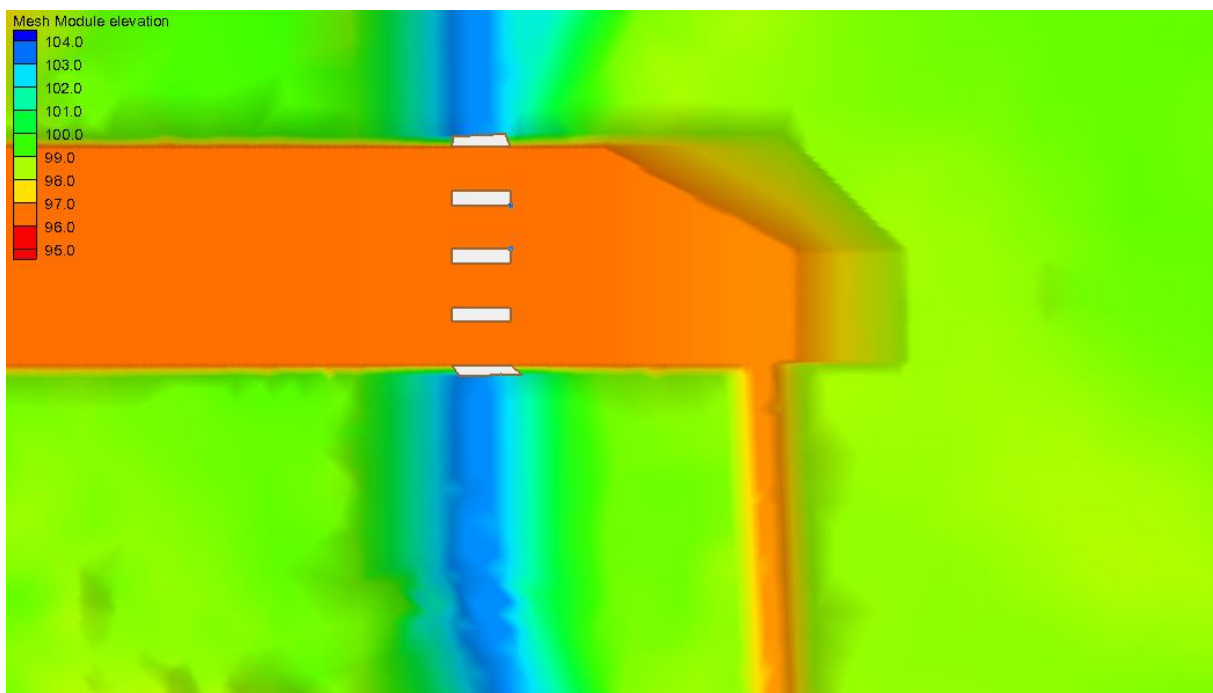


Abbildung 5-54: Bauwerk BW02 (Ausschnitt 2D-Modell)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

5.2.18 DP_k_02 (DRV/Polder-Variante klein, Trenndamm verschoben und Schluten identisch zu P_k_08 bzw. D_k_08)

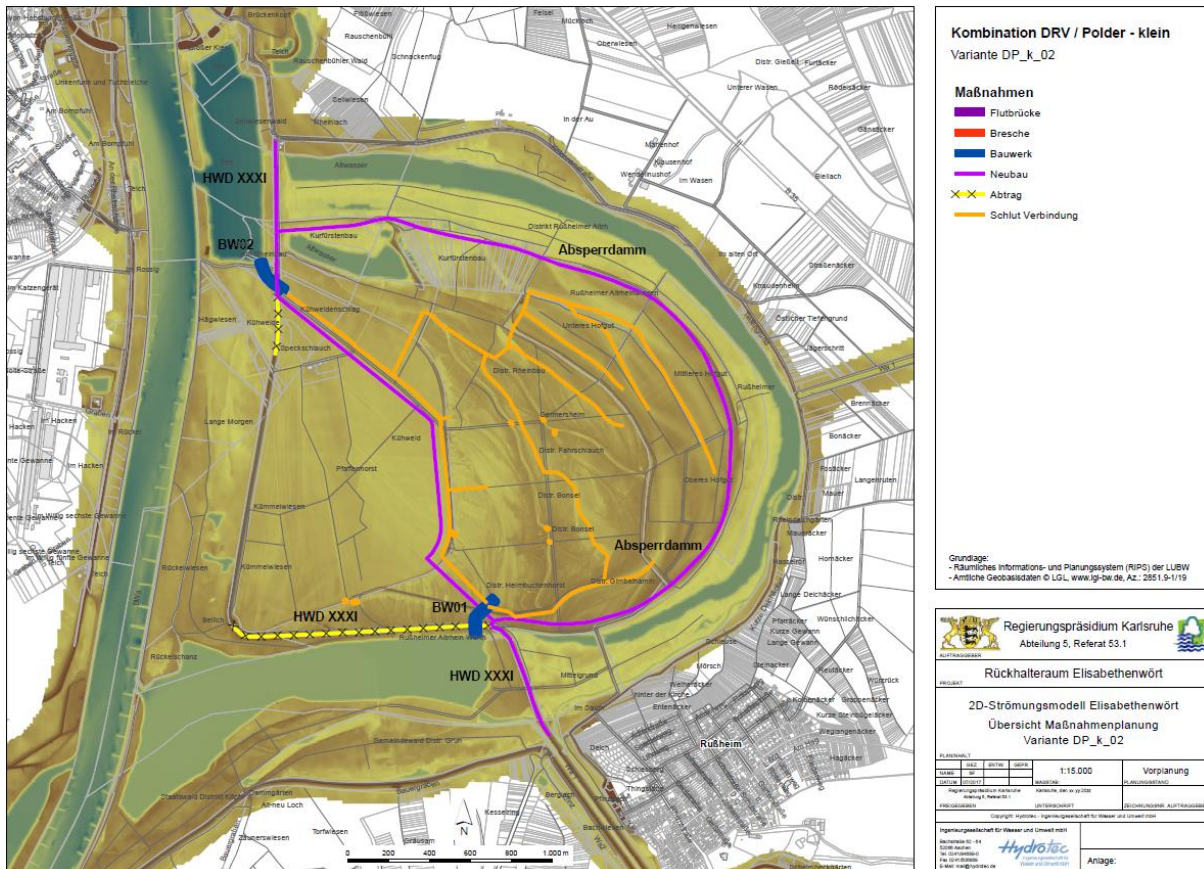


Abbildung 5-55: Kombination Dammrückverlegung und Polder DP_k_02

Für die Variante DP_k_02 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Teilabtrag des Trenndamms HWD XXXI (gelbe Linie mit Kreuzen)
- Neubau des Absperrdamms auf der Insel (lila Linie)
- Neubau des Trenndamms auf der Insel (lila Linie), nicht identisch zu DP_k_01
- Hinweis: Einbau eines Siels zur Restentleerung des DRV-Abschnittes in den Trenndamm erforderlich.
- Einbau relevanter Schluten bzw. „Schluten 3.0“ (orange). Schluten sind identisch zu P_k_08 und D_k_08.
- Bau des Bauwerks BW01 inkl. Flutmulde zum Baggersee, Sohle und Flutmulde auf 97,5 mNHN vertieft (blau), KUK = 101,00 mNHN (siehe nachfolgende Abbildung 5-56)
- Bau des Bauwerks BW02 (4 Felder mit je 6 m Breite). Sohle auf 96,00 mNHN, KUK = 99,5 mNHN (siehe nachfolgende Abbildung 5-57)

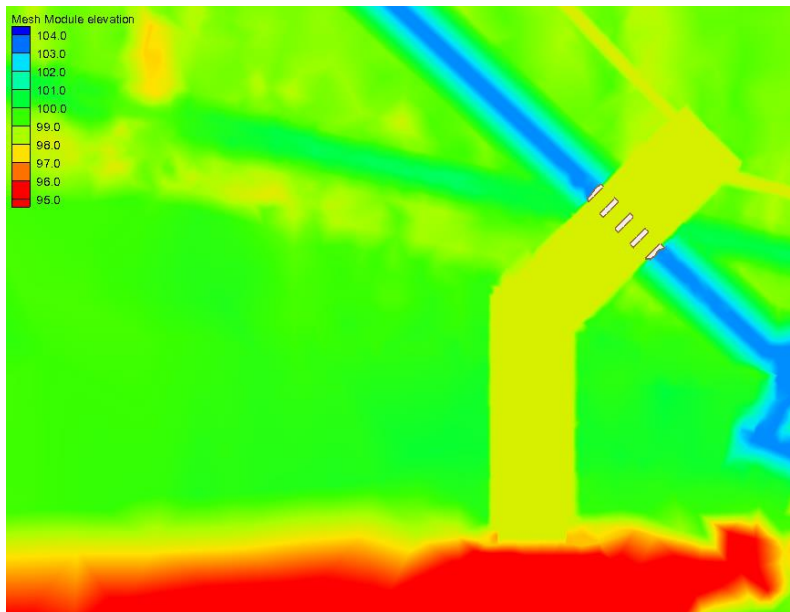


Abbildung 5-56: Bauwerk/Flutmulde BW01 (Ausschnitt 2D-Modell)

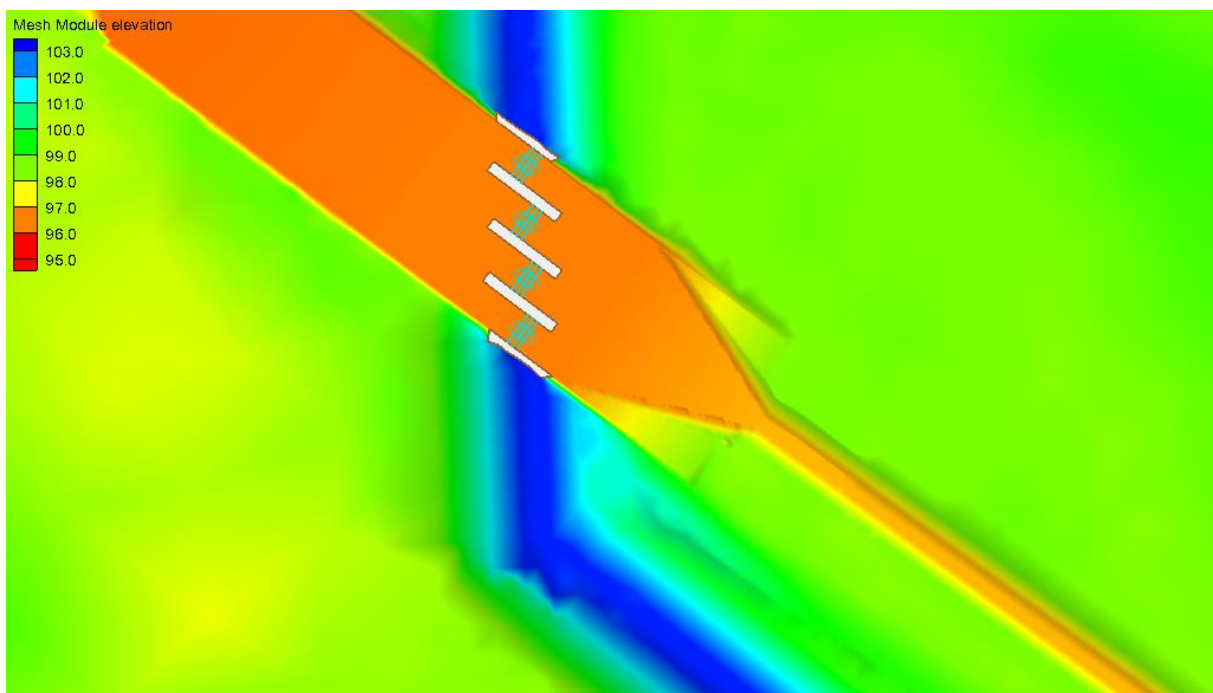


Abbildung 5-57: Bauwerk BW02 (Ausschnitt 2D-Modell)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)

5.2.19 DP_m_01 (DRV/Polder-Variante mittel)

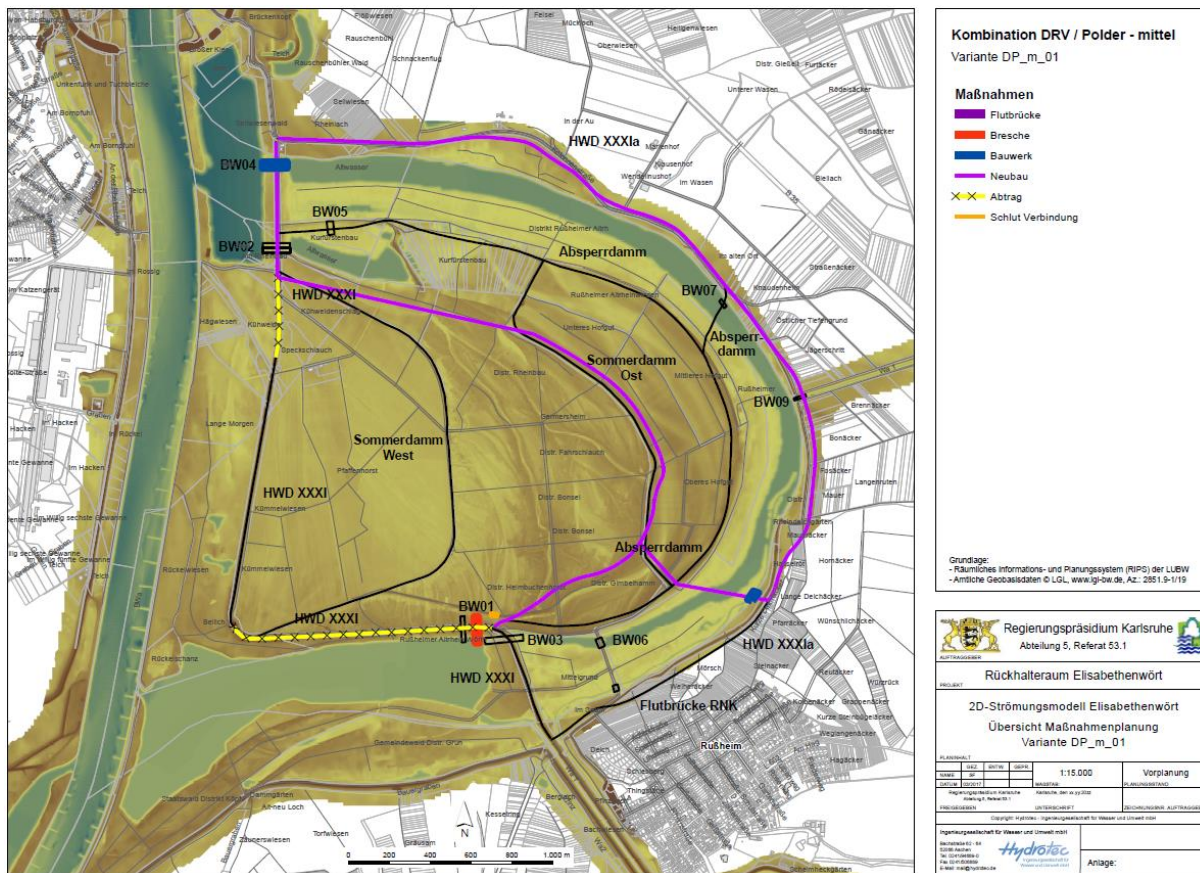


Abbildung 5-58: Kombination Dammrückverlegung Ost und Polder DP_m_01

Für die Variante DP_m_01 müssen folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Bau der Flutmulde BW01 mit einer Sohlhöhe von 98,00 m ü. NN (vgl. Abbildung 5-59)

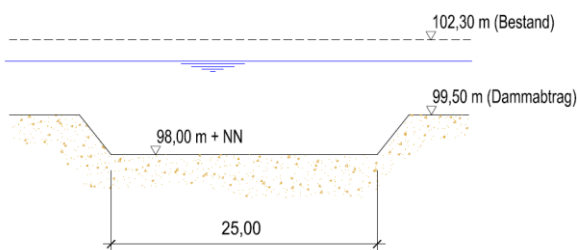


Abbildung 5-59: Flutmulde BW01 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Teilabtrag des Trenndamms HWD XXXI (gelbe Linie mit Kreuzen)
- Teilausbau des Absperrdamms HWD XXXIa (lila Linie)
- Neubau des Trenndamms auf der Insel (lila Linie)
- Neubau Absperrdamm (Querung Altrhein)
- Bau des Bauwerks BW04 (blau) (siehe nachfolgende Abbildung 5-60)

Ein- und Auslassbauwerk BW04

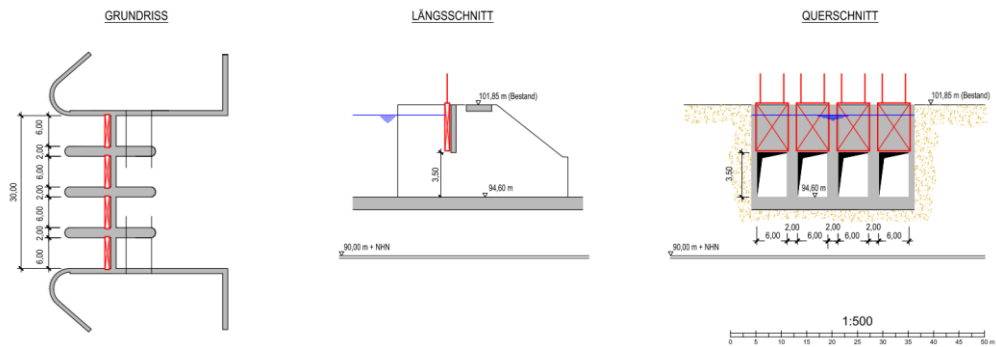


Abbildung 5-60: Bauwerk BW04 DP_m_01 (Systemskizze für hydraulische Modellannahmen)

- Bau des Bauwerks Schließe Rheinniederungskanal (blau)

Die hydraulischen Berechnungen wurden mit den folgenden Abflüssen durchgeführt:

- Abflussstufen 2, 3, 4, 5, 6 und BHQ (vgl. Kapitel 5.1.2)
- Modell-HW D59 (vgl. Kapitel 5.1.1)

5.3 Ergebnisdarstellung

Von den Ergebnissen der 2D-Modellierung wurden in Abstimmung mit den Projektbeteiligten folgende Ergebnisse in Karten (s. Anlagen 2, 4 und 5) dargestellt:

- Überflutungshöhen
- Wasserspiegellagen
- Fließgeschwindigkeiten
- Überflutungsdauer

Für alle Karten wurde eine Einstufung der Ergebnisse in Klassen vorgenommen. Die Darstellungen richten sich dabei weitgehend nach bereits vorhandenen Karten für andere Rückhalteräume. In den Karten werden zusätzlich die relevanten Maßnahmen dargestellt.

Die Karten wurden für den Untersuchungsbereich des RHR Elisabethenwört erstellt und zeigen nicht das gesamte Modellgebiet. Nachfolgend sind exemplarisch die verschiedenen Kartentypen für die Variante P_K_03_St6 dargestellt.

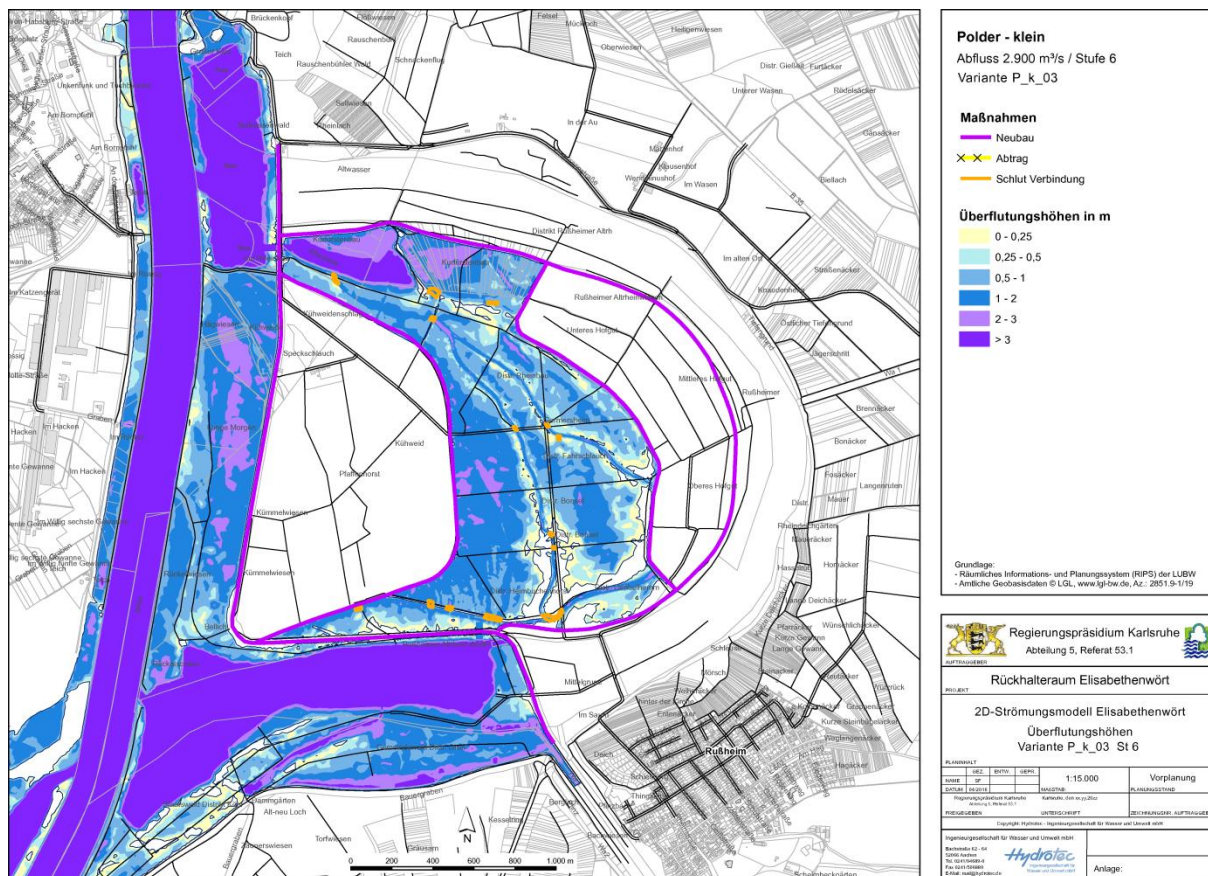


Abbildung 5-61: Variante P_k_03 Stufe 6 Überflutungshöhen

Die Karte stellt die Überflutungshöhen im jeweils überfluteten Bereich dar. Je dunkler die Farbtöne sind, desto tiefer ist der Bereich eingestaut.

Die zutreffenden relevanten Maßnahmen Dammeubau bzw. Dammantrag sowie Schlutenverbindungen zur Herstellung der Durchgängigkeit werden dargestellt.

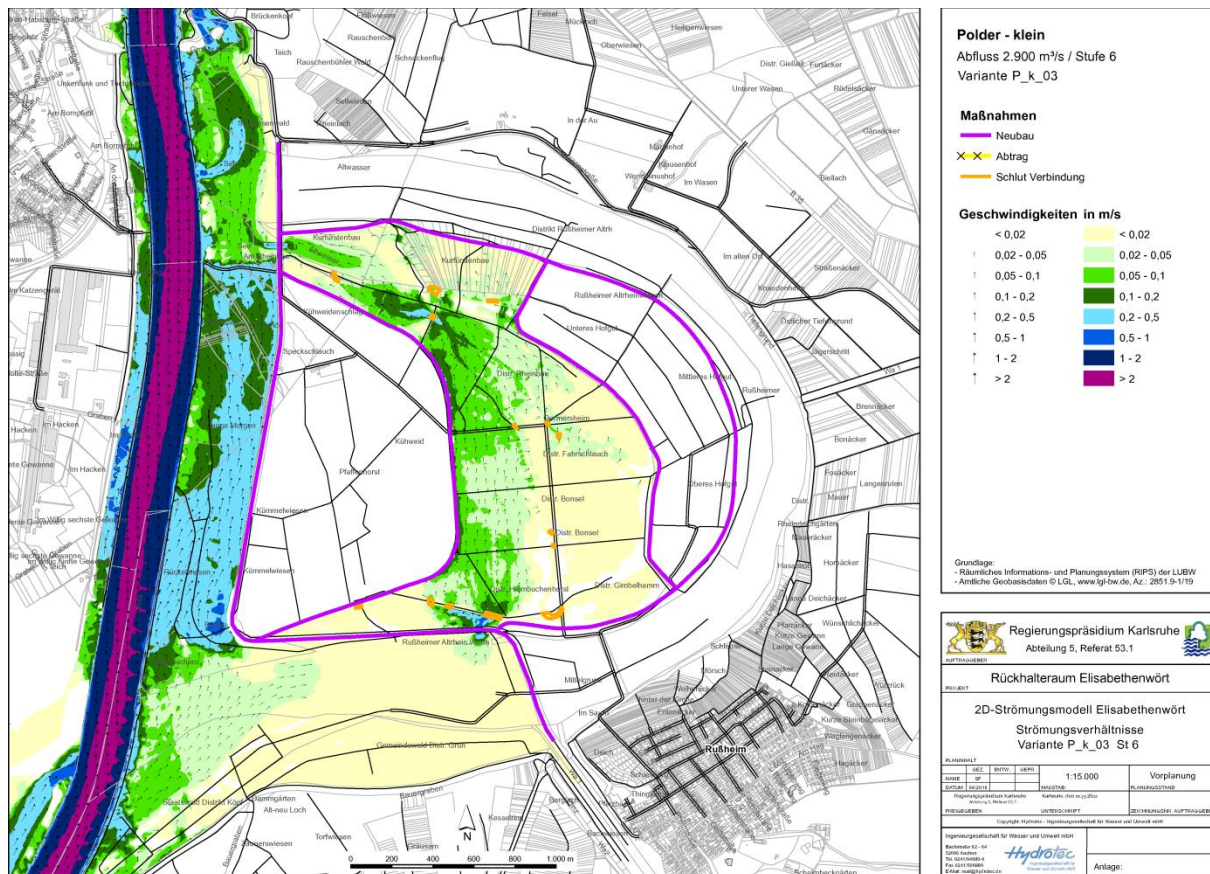


Abbildung 5-62: Variante P_k_03 Stufe 6 Strömungsverhältnisse

Die Karte stellt die Fließgeschwindigkeiten im jeweils überfluteten Bereich dar. Je dunkler die Flächenfarbe ist, desto schneller fließt das Wasser. Die Fließrichtung geben die größengestaffelten Richtungspfeile an. Im beigefarbenen Bereich für Fließgeschwindigkeiten unterhalb 0,02 m/s (nahezu stehendes Wasser) werden keine Richtungspfeile dargestellt.

Die zutreffenden relevanten Maßnahmen Dammbau bzw. Dammbauabtrag sowie Schlutenverbindungen zur Herstellung der Durchgängigkeit werden dargestellt.

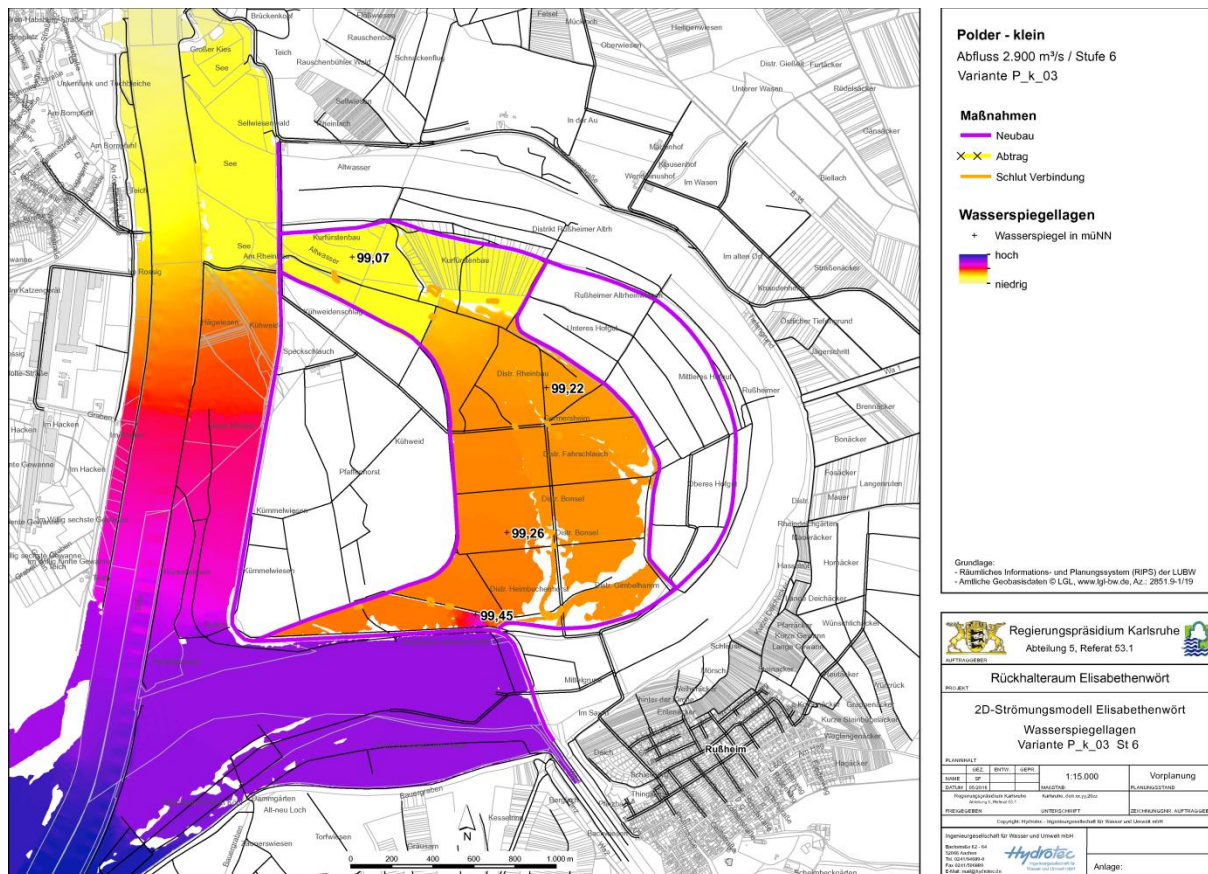


Abbildung 5-63: Variante P_k_03 Stufe 6 Wasserspiegellagen

Die Karte stellt die Wasserspiegellagen im jeweils überfluteten Bereich dar. Je dunkler die Flächenfarbe ist, desto höher ist der Wasserspiegel. Zusätzlich sind die Wasserspiegel in mNHN an ausgewählten Punkten im Gebiet angegeben.

Bei den Wasserspiegelkarten ist zu beachten, dass eine bestimmte Flächenfärbung nicht immer die gleiche Wasserspiegellage darstellt. Es wird der Verlauf von höheren (dunkelblau) zu niedrigeren (gelb) Wasserspiegellagen angezeigt.

Die zutreffenden relevanten Maßnahmen Dammeubau bzw. Dammatrabtrag sowie Schlutenverbindungen zur Herstellung der Durchgängigkeit werden dargestellt.

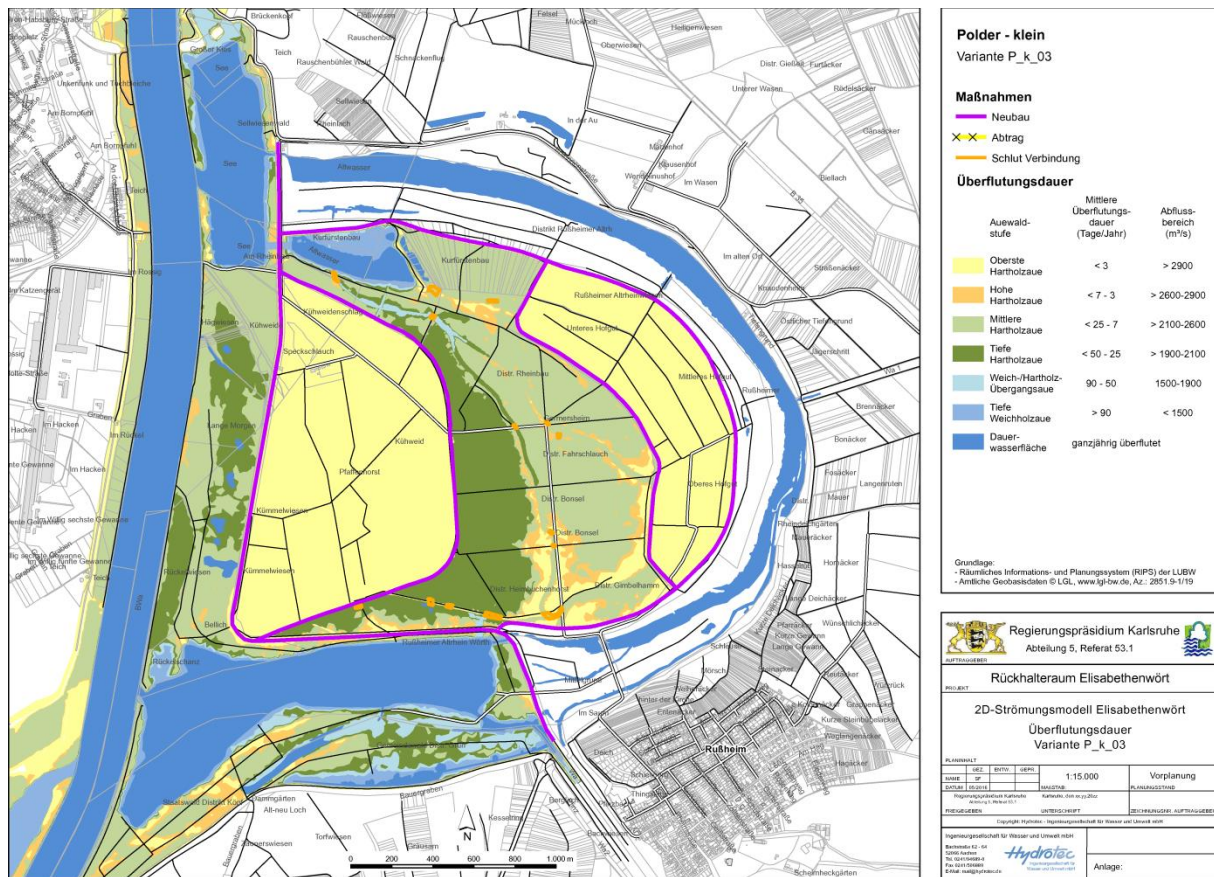


Abbildung 5-64: Variante P_k_03 Stufe 6 Überflutungsdauer

Die Karte stellt die Überflutungsdauer für die Auewaldstufen dar. Zusätzlich angegeben sind die mittlere Überflutungsdauer in Tagen sowie der zugehörige Abflussbereich. Die Abflussstufen wurden so gewählt, dass die Beziehung zu den Auewaldstufen hergestellt werden kann. Die Zunahme der Überflutung wird in der Farbabfolge gelb – grün – blau dargestellt.

Die zutreffenden relevanten Maßnahmen Dammbau bzw. Dammbauabtrag sowie Schlutenverbindungen zur Herstellung der Durchgängigkeit werden dargestellt.

Zusätzlich zu den genannten Kartentypen wurden Karten mit der Lage der Maßnahmen erstellt (in Anlage 3). Sonderkarten wurden für die Kalibrierung des Istzustandes für das Hochwasser HW 06/2013 (Anlage 1) und die Variante D_k_05_St4_lang (Anlage 7) erstellt.

Auswertungen zu Details der Varianten sind auch Kapitel 6.1 zu entnehmen. Dort sind für die Varianten Aussagen zum Rückhaltevolumen im RHR Elisabethenwört zu finden. Die Informationen sind dem Punkt „Volumen im RHR“ zu entnehmen. Je Abflussstufe und Variante wurde das im Bereich des RHR zurückgehaltene Abflussvolumen ermittelt.

Für die Poldervarianten wird zusätzlich der je Abflussstufe durch das Einlaufbauwerk einströmende Abfluss angegeben.

6 Auswertung Modellergebnisse

Die Grundlage zur Auswertung der Modellergebnisse stellen die Karten der Modellergebnisse dar, die als Anlage 4 und Anlage 5 diesem Bericht zu entnehmen sind.

6.1 Einzelauswertung der Varianten

6.1.1 D_k_04 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI und Flutmulde)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Ab Stufe 3 beginnt eine Überströmung des RHR.
 - Überströmung erfolgt durch Rückstau aus den Gräben vom Altwasser (von Norden) und in geringerem Maße von Süden (infolge der Flutmulde).
 - Überströmung aus Süden ist ab Stufe 4 gegeben.
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 3 bei den überfluteten Flächen unter ca. 0,25 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen zwischen 1 - 2 m.
 - Bis Stufe 6 bleibt die durch den östlichen Sommerdamm geschützte Fläche nahezu trocken.
 - Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4 m.
- Wasserspiegellagen
 - Die Wasserspiegellage in den überfluteten Flächen liegt zwischen ca. 97,5 mNHN (Stufe 3) und ca. 101,6 mNHN (BHQ).
 - Ab Stufe 4 erfolgt eine Überströmung des RHR von Süden (Alte Minthe) und es stellt sich ein Wasserspiegelsprung am südlichen Straßendamm sowie zwischen dem Waldgebiet und dem westlichen Sommerdammgebiet ein.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Infolge der Flutmulde im Süden stellt sich eine Durchströmung ab Stufe 4 ein (Beginn Überflutung bereits ab Stufe 3).
 - Ab Stufe 5 sind große Flächen des RHR überflutet. Die Überflutung erfolgt von Süden über die Alte Minthe (primär über die beiden Bereiche Kümmelwiesen und Flutmulde im Osten).
 - Der Zustrom aus dem Westen (vom Rhein) ist durch den erhaltenen Dammabschnitt unterbrochen. Es stellt sich beidseitig eine parallel zum Damm gerichtete Strömung von Süd nach Nord ein.
 - Der Überströmungsanteil über den Bereich Kümmelwiesen ist bei Stufe 5 und 6 deutlich größer, was sich im Strömungsbild zeigt. Die Fließgeschwindigkeiten liegen im Westen zwischen ca. 0,05 m/s (Stufe 5) und bis ca. 0,1 m/s (Stufe 6). Der Sommerdamm sowie der erhaltene HWD XXXI funktionieren dabei als Strömungsenker nach Norden.
 - Die Waldfläche ist lediglich am westlichen Rand, infolge der östlichen Überströmung der Alten Minthe, mit ca. 5 cm/s durchströmt (Stufe 5). Bei Stufe 6 ist der durchströmte Anteil etwas größer, aber bei über der Hälfte der Waldflächen ist trotz Benetzung bis Stufe 6 keine signifikante Durchströmung (> 0,02 m/s) zu verzeichnen (östlicher Waldrand).

- Bei einem BHQ liegen die Geschwindigkeiten im Westen zwischen 0,2 und 0,5 m/s. Die Geschwindigkeiten liegen im Waldgebiet zwischen 5 und 10 cm/s (westlich) und 2 und 5 cm/s (östlich).
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 13,3 Mio. m³.

6.1.2 D_k_05 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, Flutmulde und durchgängigen Schluten)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Ab Stufe 3 beginnt eine Überströmung des RHR.
 - Überströmung erfolgt durch Rückstau aus den Gräben vom Altwasser (von Norden) und in geringerem Maße von Süden (infolge der Flutmulde).
 - Breite Überströmung aus Süden ist ab Stufe 5 gegeben.
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 3 bei den überfluteten Flächen unter ca. 0,25 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen zwischen 1- 2 m.
 - Infolge des Anschlusses des östlichen Sommerdammabschnittes erfolgt die Überströmung dieses Gebietes bereits ab Stufe 5.
 - Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4 m.
- Wasserspiegellagen
 - Die Wasserspiegellage in den überfluteten Flächen liegt zwischen ca. 97,5 mNHN (Stufe 3) und ca. 101,6 mNHN (BHQ).
 - Erfolgt eine signifikante Überströmung von Süden (Alte Minthe), was ab Stufe 4 der Fall ist, stellt sich ein geringer Wasserspiegelsprung am südlichen Straßendamm ein. Der Wasserspiegel ist sonst nahezu horizontal im RHR (z. B. Stufe 5 und 6).
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Infolge der Flutmulde im Süden stellt sich eine Durchströmung ab Stufe 4 ein (Beginn Überflutung bereits ab Stufe 3).
 - Ab Stufe 5 sind große Flächen des RHR überflutet. Die Überflutung erfolgt von Süden über die Alte Minthe (über die Kümmelwiesen und sowie den eingebauten Schluten/Flutmulden).
 - Der Zustrom aus dem Westen (vom Rhein) ist durch den erhaltenen Dammabschnitt unterbrochen. Es stellt sich eine parallel zum Damm gerichtete Strömung von Süd nach Nord ein.
 - Der Überströmungsanteil verteilt sich gleichmäßiger über die eingebauten Flutmulden sowie über die Kümmelwiesen. Der Strömungsanteil über die Kümmelwiesen ist für Stufe 5 und 6 weiterhin etwas höher als über die Flutmulden.
 - Der erhaltene HWD XXXI wirkt weiterhin als Strömunglenker nach Norden.
 - Der aufgebrochene Sommerdamm in der westlichen Gebietshälfte wirkt teilweise nicht mehr als Strömunglenker. Der Zustrom über die Flutmulden aus dem Süden wird nach Nordwesten weitergeführt. Dadurch reduziert sich die Geschwindigkeit im Waldgebiet im Norden.

- Die Waldfläche ist dadurch lediglich am südlichen Rand, infolge der östlichen Überströmung der Alten Minthe, mit ca. 5 cm/s durchströmt (Stufe 5). Bei Stufe 6 ist der durchströmte Anteil etwas größer, aber bei über der Hälfte der Waldflächen ist trotz Benetzung bis Stufe 6 keine signifikante Durchströmung zu verzeichnen (östlicher Waldrand). Ausgenommen sind die Schluten, in denen sich eine geringe Strömung einstellt.
- Bei einem BHQ liegen die Geschwindigkeiten im Westen zwischen 0,2 und 0,5 m/s. Die Geschwindigkeiten liegen im Waldgebiet zwischen 5 und 10 cm/s (westlich) und 2 und 5 cm/s (östlich).
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 13,4 Mio. m³.

6.1.3 D_k_06 (Dammrückverlegung klein mit Komplettabtrag HWD XXXI)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Ab Stufe 3 beginnt eine Überströmung der tiefliegenden Gebiete im Westen des RHR.
 - Überströmung erfolgt durch Rückstau aus den Gräben vom Altwasser (von Norden).
 - Überströmung aus Süden und aus dem Rhein ist ab Stufe 5 gegeben.
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 3 bei den überfluteten Flächen unter ca. 0,25 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen zwischen 1- 2 m.
 - Bis Stufe 6 bleibt die durch den östlichen Sommerdamm geschützte Fläche nahezu trocken.
 - Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4 m.
- Wasserspiegellagen
 - Die Wasserspiegellage in den überfluteten Flächen liegt zwischen ca. 97,5 mNHN (Stufe 3) und ca. 101,6 mNHN (BHQ).
 - Erfolgt eine Überströmung von Süden (Alte Minthe), was ab Stufe 5 der Fall ist, stellt sich ein Wasserspiegelsprung am südlichen Straßendamm ein.
 - Infolge des starken Wasserspiegelgefälles am südlichen Straßendamm ist im RHR nahezu ein horizontaler Wasserspiegel zu verzeichnen (bis einschließlich Stufe 6).
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Das Geschwindigkeitsbild zeigt infolge eines reinen Rückstaus kein Strömen im RHR bis einschließlich Stufe 4.
 - Ab Stufe 5 sind große Flächen des RHR überflutet. Die Überflutung erfolgt von Süden (Alte Minthe) und vom Westen über den Rhein.
 - Der Überströmungsanteil über den Rhein ist bei Stufe 5 und 6 deutlich größer, was sich im Strömungsbild zeigt. Die Fließgeschwindigkeiten liegen im Westen zwischen ca. 0,1 m/s (Stufe 5) und bis ca. 0,2 m/s (Stufe 6). Der Sommerdamm funktioniert dabei als Strömungsenker nach Norden und schattet das Waldgebiet ab.

- Die Waldfläche ist lediglich am westlichen Rand, infolge der Überströmung von der Alten Minthe, mit gut 2 cm/s durchströmt (Stufe 5). Bei Stufe 6 ist der durchströmte Anteil etwas größer, aber bei über der Hälfte der Waldflächen ist bis Stufe 6 keine signifikante Durchströmung zu verzeichnen.
- Bei einem BHQ liegen die Geschwindigkeiten im Westen zwischen 0,2 und 0,5 m/s. Die Geschwindigkeiten liegen im Waldgebiet zwischen 5 und 10 cm/s (westlich) und 2 und 5 cm/s (östlich).
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 13,4 Mio. m³.

6.1.4 D_k_08 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, optimierten Schluten und BW02 verschoben)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Ab Stufe 2 beginnt eine Überströmung der tiefliegenden Gebiete im Westen des RHR.
 - Überströmung erfolgt aus Süden über die Einlauf-Flutmulde und das Schlutensystem.
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 3 bei den überfluteten Flächen unter ca. 0,5 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen lokal bis über 2 m.
 - Infolge des Schlutensystems ist der östliche Sommerdambereich früh überströmt.
 - Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4 m.
- Wasserspiegellagen
 - Die Wasserspiegellage in den überfluteten Flächen liegt zwischen ca. 97,4 mNHN (Stufe 2) und ca. 101,6 mNHN (BHQ).
 - Es stellt sich ein Wasserspiegelsprung am südlichen Straßendamm ein.
 - Es ist im RHR ein nahezu horizontaler Wasserspiegel zu verzeichnen.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Das Geschwindigkeitsbild ist durch die Schneisen im westlichen Sommerdamm gekennzeichnet. Das Wasser gelangt demnach vom Einlaufbereich unmittelbar in den westlichen Sommerdambereich.
 - Ab Stufe 5 sind große Flächen des RHR überflutet. Die Überflutung erfolgt von Süden (Alte Minthe) und vom Westen über den Rhein.
 - Der Überströmungsanteil über den Rhein ist bei Stufe 5 und 6 deutlich größer, was sich im Strömungsbild zeigt. Die Fließgeschwindigkeiten liegen im Westen zwischen ca. 0,1 m/s (Stufe 5) und bis ca. 0,2 m/s (Stufe 6). Der Sommerdamm funktioniert dabei als Strömungsenker nach Norden und schattet das Waldgebiet ab.
 - Die Waldfläche ist bis Stufe 4 lediglich im Nahbereich des Einlaufbauwerks bis zu den Schneisen im Sommerdamm durchströmt (ca. 2 bis 20 cm/s). Bei höheren Abflussstufen ist die westliche Waldfläche durchströmt.
 - Bei einem BHQ liegen die Geschwindigkeiten im Westen zwischen 0,2 und 0,5 m/s. Die Geschwindigkeiten liegen im Waldgebiet zwischen 5 und 10 cm/s (westlich) und 2 und 5 cm/s (östlich).

- Das Schrankenwasser wird durch die Verlagerung des Auslassbauwerks bis Stufe 4 nicht durchströmt. Bei höheren Abflüssen stellt sich ein Durchströmen ein. Die Strömungsgeschwindigkeiten sind bei BHQ max. ca. 0,5 m/s.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 13,4 Mio. m³.

6.1.5 D_m_04 (Dammrückverlegung mittel mit Komplettabtrag HWD XXXI)

- Überflutungsbeginn:
 - Überströmungsbeginn Rückhalteraum erfolgt analog zur Variante D_k_06.
 - Der nördliche Teil des Rußheimer Altrheins ist infolge Rückströmung benetzt.
- Wasserspiegellagen
 - Stufen 3 und 4 analog zur Variante D_k_06
 - Für höhere Stufen ist der Wasserspiegel für die kleine Variante um ca. 5 cm (Stufe 5), 7 cm (Stufe 6) bzw. 8 cm (BHQ) größer.
 - Der Wasserspiegelgefälle im Rückhalteraum beträgt ca. 10 cm (größtes Gefälle im Vergleich zu den Varianten klein und groß).
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Das Strömungsbild ist analog zur kleinen Variante. Infolge des größeren Wasserspiegelgefälles nach Norden (Entfallen des nördlichen Damms der kleinen Variante) ist allein bei Stufe 6 eine leichte Geschwindigkeitszunahme zu verzeichnen.
 - Der Rußheimer Altrhein verhält sich ähnlich dem östlichen Rückhalteraum. Eine Durchströmung ist erst für hohe Abflüsse zu verzeichnen.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 17,6 Mio. m³.

6.1.6 D_g_03 (Dammrückverlegung groß mit Komplettabtrag HWD XXXI)

- Überflutungsbeginn:
 - Überströmungsbeginn Rückhalteraum erfolgt grundsätzlich analog zur Variante D_k_06
 - Der Rußheimer Altrhein wird grundsätzlich beschickt.
- Wasserspiegellagen
 - Stufen 3 und 4 analog zur Variante D_k_06
 - Für höhere Stufen ist der Wasserspiegel für die kleine Variante um ca. 4 cm (Stufe 5), 6 cm (Stufe 6) bzw. 8 cm (BHQ) größer.
 - Geringere Wasserspiegellagen im Rückhalteraum sind auf die Abnahme der Wasserspiegellagen in der Alten Minthe infolge Entlastung über den Rußheimer Altrhein zurückzuführen.
 - Das Wasserspiegelgefälle im Rußheimer Altrhein beträgt ca. 10 cm.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Es findet grundsätzlich eine Durchströmung des Rußheimer Altrheins statt. Die Geschwindigkeiten sind mit ca. 0,1 bis 0,2 m/s (Stufe 4) relativ hoch.
 - Das Geschwindigkeitsbild zeigt infolge eines reinen Rückstaus kein Strömen im Rückhalteraum bis einschließlich Stufe 4. Auch für die Stufen 5 und 6 äh-

neht entspricht das Geschwindigkeitsbild im Rückhalteraum dem der Variante D_k_06.

- Lediglich im BHQ-Fall wird das östliche Gebiet deutlich besser durchströmt als für die kleine Variante.
 - Bei einem BHQ liegen die Geschwindigkeiten im Westen zwischen 0,2 und 0,5 m/s. Die Geschwindigkeiten liegen im Waldgebiet zwischen 5 und 10 cm/s.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 22,0 Mio. m³.

6.1.7 P_k_02 (Polder klein)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Ab Stufe 3 beginnt eine Überströmung der tiefliegenden Gebiete im Westen des RHR.
 - Überströmung erfolgt durch Rückstau aus den Gräben vom Altwasser (von Norden).
 - Überströmung aus dem Einlaufbauwerk beginnt ab Stufe 4.
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 3 bei den überfluteten Flächen unter ca. 0,5 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen zwischen 1- 2 m. An wenigen Stellen werden bei Stufe 6 Wassertiefen zwischen 2- 3 m erreicht.
 - Bis Stufe 6 bleibt die durch den östlichen Sommerdamm geschützte Fläche nahezu trocken.
 - Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4,60 m.
- Wasserspiegellagen
 - Im Polder stellt sich ein nahezu horizontaler Wasserspiegel ein.
 - Bei den Stufen 4 bis 6 stellt sich ein großes Wasserspiegelgefälle entlang des südlichen Straßendamms ein.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Eine erste Durchströmung im Polder zeigt sich erst für die Abflussstufe 5.
 - Der Strömungspfad ist bei Stufe 5 sehr schmal und verläuft vom Einlaufbauwerk entlang des Sommerdamms (westlicher Waldrand) nach Norden.
 - Bei Stufe 6 verbreitert sich der Fließpfad.
 - Für das BHQ ändert sich das Geschwindigkeitsbild. Der Strömungsweg geht dann direkt vom Einlaufbauwerk nach Nordwesten zum Auslaufbauwerk.
 - Die maximalen Geschwindigkeiten liegen im Rückhalteraum bei ca. 5 cm/s, in der Nähe des Einlauf- und Auslaufbauwerks bei ca. 10 cm/s.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 12,7 Mio. m³.

- Zufluss Einlaufbauwerk

| Abflussstufe | Abfluss in m ³ /s |
|--------------|------------------------------|
| 2 | 0 |
| 3 | 0 |
| 4 | 0 |
| 5 | 7 |
| 6 | 14 |
| 7 | 40 |
| BHQ | 169 |

6.1.8 P_k_03 (Polder klein und Sanierung der Sommerdämme)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Überströmung aus dem Einlaufbauwerk beginnt ab Stufe 4.
 - Rückstau in den Rückhalteraum bei kleinen Abflüssen wird durch eine Rückstauklappe entlang des sanierten Sommerdamms verhindert.
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 4 bei den überfluteten Flächen zwischen 1 - 2 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen von über 3 m.
 - Bis BHQ bleiben die durch den östlichen und westlichen Sommerdamm geschützten Flächen nahezu trocken.
 - Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4,60 m.
- Wasserspiegellagen
 - Die Sommerdammflächen bleiben bis Abflussstufe 7 trocken. Der Wasserspiegel beträgt in diesem Fall ca. 99,7 mNHN während die Sommerdammkronen bei 100 mNHN liegt.
 - Im Polder stellt sich ein Wasserspiegelgefälle von Süden nach Norden ein. Dabei liegt ein Wasserspiegelsprung im Norden vor.
 - Bei einem BHQ ist der Wasserspiegel im Polder gefällefrei.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Eine erste Durchströmung im Polder zeigt sich erst für die Abflussstufe 5.
 - Der Strömungspfad verläuft bei Stufe 5 vom Einlaufbauwerk entlang des Sommerdamms (westlicher Waldrand) nach Norden. Der größere Waldanteil wird hierbei nicht durchströmt.
 - Bei Stufe 6 nimmt die Geschwindigkeit in dem genannten Pfad um mehrere Zentimeter zu, wobei der Pfad in seiner räumlichen Ausdehnung grundsätzlich unverändert bleibt.
 - Bei einem BHQ haben die Sommerdämme keinen Einfluss auf die Geschwindigkeiten.
 - Die maximalen Geschwindigkeiten liegen im Rückhalteraum bei ca. 5 cm/s.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 12,7 Mio. m³.

- Zufluss Einlaufbauwerk

| Abflussstufe | Abfluss in m ³ /s |
|--------------|------------------------------|
| 2 | 0 |
| 3 | 0 |
| 4 | 2 |
| 5 | 16 |
| 6 | 27 |
| 7 | 59 |
| BHQ | 170 |

6.1.9 P_k_04 (Polder klein und Vergrößerung des BW01 (doppelte Breite))

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Überströmung aus dem Einlaufbauwerk beginnt ab Stufe 4.
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 4 bei den überfluteten Flächen zwischen 1-2 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen von über 3 m.
 - Bis Stufe 6 bleiben die Flächen hinter dem östlichen Sommerdamm nahezu trocken.
- Wasserspiegellagen
 - Im Polder stellt sich ein Wasserspiegelgefälle von Süden nach Norden ein. Dabei liegt ein Wasserspiegelsprung im Norden vor.
 - Bei einem BHQ ist der Wasserspiegel im Polder gefällefrei. Es existiert im Norden ein geringer Wasserspiegellagensprung.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Eine erste Durchströmung im Polder zeigt sich erst für die Abflussstufe 5.
 - Der Strömungspfad verläuft bei Stufe 5 vom Einlaufbauwerk entlang des Sommerdamms (westlicher Waldrand) nach Norden. Der größere Waldanteil wird hierbei nicht durchströmt.
 - Bei Stufe 6 nimmt die Geschwindigkeit in dem genannten Pfad um mehrere Zentimeter zu, wobei der Pfad in seiner räumlichen Ausdehnung nur geringfügig zunimmt.
 - Bei einem BHQ haben die Strukturen (bestehende Sommerdämme) im Polder keinen Einfluss auf die Geschwindigkeiten.
 - Die maximalen Geschwindigkeiten liegen im Rückhalteraum bei ca. 5 cm/s.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 12,7 Mio. m³.

- Zufluss Einlaufbauwerk

| Abflussstufe | Abfluss in m ³ /s |
|--------------|------------------------------|
| 2 | 0 |
| 3 | 0 |
| 4 | 2 |
| 5 | 10 |
| 6 | 21 |
| 7 | 66 |
| BHQ | 245 |

6.1.10 P_k_05 (Polder klein und Einbau maximal optimierte Schluten)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Überströmung aus dem Einlaufbauwerk beginnt ab Stufe 2.
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 4 bei den überfluteten Flächen zwischen 1-2 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen von über 3 m.
- Wasserspiegellagen
 - Im Polder stellen sich mehrere Fließwege und Staubereiche mit unterschiedlichen Wasserspiegellagengefällen ein.
 - Bei einem BHQ ist der Wasserspiegel im Polder gefällefrei.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Eine erste Durchströmung im Polder zeigt sich für die Abflussstufe 2.
 - Der Hauptströmungspfad verläuft bei Stufe 5 vom Einlaufbauwerk entlang des Sommerdamms (westlicher Waldrand) nach Norden. Weitere Durchströmung erfolgt durch die Schluten.
 - Bei Stufe 6 nimmt die Geschwindigkeit in dem genannten Pfad um mehrere Zentimeter zu, wobei der Pfad in seiner räumlichen Ausdehnung vergrößert.
 - Die maximalen Geschwindigkeiten liegen im Rückhalteraum bei ca. 0,2-0,5 m/s. Am Einlaufbauwerk werden Geschwindigkeiten von ca. 2,3 m/s bei BHQ erreicht.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 12,9 Mio. m³.
- Zufluss Einlaufbauwerk

| Abflussstufe | Abfluss in m ³ /s |
|--------------|------------------------------|
| 2 | 2 |
| 3 | 6 |
| 4 | 13 |
| 5 | 33 |
| 6 | 47 |
| 7 | 85 |
| BHQ | 194 |

6.1.11 P_k_06 (Polder klein, Einbau maximal optimierter Schluten, Vergrößerung der Bauwerke BW01 und BW02)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Überströmung aus dem Einlaufbauwerk beginnt ab Stufe 2.
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 4 bei den überfluteten Flächen zwischen 1-2 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen von über 3 m.
- Wasserspiegellagen
 - Im Polder stellen sich mehrere Fließwege und Staubereiche mit unterschiedlichen Wasserspiegellagengefällen ein.
 - Bei einem BHQ ist der Wasserspiegel im Polder gefällefrei.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Eine erste Durchströmung im Polder zeigt sich für die Abflusstufe 2.
 - Der Hauptströmungspfad verläuft bei Stufe 5 vom Einlaufbauwerk entlang des Sommerdamms (westlicher Waldrand) nach Norden. Weitere Durchströmung erfolgt durch die Schluten.
 - Bei Stufe 6 nimmt die Geschwindigkeit in dem genannten Pfad um mehrere Zentimeter zu, wobei der Pfad in seiner räumlichen Ausdehnung vergrößert.
 - Die maximalen Geschwindigkeiten liegen im Rückhalteraum bei ca. 0,2 - 0,5 m/s. Am Einlaufbauwerk werden Geschwindigkeiten von ca. 2,3 m/s bei BHQ erreicht.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 12,9 Mio. m³.
- Zufluss Einlaufbauwerk

| Abflusstufe | Abfluss in m ³ /s |
|-------------|------------------------------|
| 2 | 2 |
| 3 | 6 |
| 4 | 13 |
| 5 | 38 |
| 6 | 55 |
| 7 | 109 |
| BHQ | 298 |

6.1.12 P_k_07 (Polder klein, Einbau der Schluten im Waldgebiet und Sanierung des östlichen Sommerdamms)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Überströmung aus dem Einlaufbauwerk beginnt ab Stufe 4.
 - Rückstau in den Rückhalteraum über das Auslaufbauwerk ab Stufe 3.
 - Bis einschließlich Stufe 7 keine Überströmung des östlichen Sommerdammschnitt (durch eine Rückstauklappe im sanierten Sommerdamm).

- **Wassertiefen**
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 4 bei den überfluteten Flächen zwischen 1-2 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen von über 3 m.
 - Bis einschließlich Stufe 6 bleiben die durch den östlichen Sommerdamm geschützten Flächen nahezu trocken.
 - Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4,60 m.
- **Wasserspiegellagen**
 - Die Sommerdammflächen bleiben bis Abflussstufe 7 trocken. Der Wasserspiegel beträgt in diesem Fall knapp 99,7 mNHN während die Sommerdammkrone bei 100 mNHN liegt. Um bei der Abflussstufe 8 ebenfalls trocken zu bleiben, müsste die Sommerdammkrone mindestens 100,45 mNHN betragen.
 - Im Polder stellt sich ein Wasserspiegelgefälle von Süden nach Norden ein. Dabei liegt ein Wasserspiegelsprung im Süden vor.
 - Bei einem BHQ ist der Wasserspiegel im Polder nahezu gefällefrei.
- **Geschwindigkeiten/Durchströmung**
 - Eine erste Durchströmung im Polder zeigt sich erst für die Abflussstufe 4.
 - Der Strömungspfad verläuft bei Stufe 4 vom Einlaufbauwerk entlang des westlichen Sommerdamms (westlicher Waldrand) nach Norden. Der größere Waldanteil wird hierbei nicht durchströmt.
 - Bei Stufe 6 nimmt die Geschwindigkeit in dem genannten Pfad um mehrere cm/s zu, wobei der Pfad in seiner räumlichen Ausdehnung grundsätzlich unverändert bleibt.
 - Bei einem BHQ hat der sanierte Sommerdamm keinen Einfluss auf die Geschwindigkeiten.
 - Die maximalen Geschwindigkeiten liegen im Rückhalteraum bei über 5 cm/s.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 12,7 Mio. m³.
- **Zufluss Einlaufbauwerk**

| Abflussstufe | Abfluss in m ³ /s |
|--------------|------------------------------|
| 2 | 0 |
| 3 | 0 |
| 4 | 4 |
| 5 | 25 |
| 6 | 40 |
| 7 | 79 |
| BHQ | 178 |

6.1.13 P_k_08 (Polder klein mit optimierten Schluten und BW02 verschoben)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- **Überflutungsbeginn:**
 - Überströmung aus dem Einlaufbauwerk beginnt ab Stufe 2.

- Überströmung erfolgt aus Süden über das Einlaufbauwerk und das Schlutensystem.
- **Wassertiefen**
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 3 bei den überfluteten Flächen unter ca. 0,5 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen lokal bis über 2 m.
 - Infolge des Schlutensystems ist der östliche Sommerdambereich früh überströmt.
 - Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4 m.
- **Wasserspiegellagen**
 - Die Wasserspiegellage in den überfluteten Flächen liegt zwischen ca. 97,4 mNHN (Stufe 2) und bei BHQ bei ca. 101,52 mNHN.
 - Es stellt sich im Polder ein Wasserspiegelsprung am südlichen Straßendamm von Süd nach Nord ein. Bei einem BHQ ist der Wasserspiegel im Polder nahezu gefällefrei.
- **Geschwindigkeiten/Durchströmung**
 - Eine erste Durchströmung im Polder zeigt sich bereits ab Abflussstufe 2. Der Strömungspfad verläuft dabei von Süd nach Nord. Die Geschwindigkeiten sind hierbei sehr gering ca. 2 cm/s.
 - Bei Stufe 6 nimmt die Geschwindigkeit im Polder in zwei Strömungspfaden deutlich zu. Der erste Strömungspfad führt vom Einlaufbauwerk über die Schneisen im Sommerdamm zum Auslaufbauwerk. Der zweite Strömungspfad führt vom Einlaufbauwerk über den westlichen Waldrand (entlang dem Sommerdamm West) zum Auslaufbauwerk. Die Geschwindigkeiten betragen in diesen Strömungspfaden ca. 5 cm/s.
 - Bei einem BHQ stellt sich lediglich ein Strömungspfad vom Einlaufbauwerk zum Auslaufbauwerk ein. Die Geschwindigkeiten betragen ca. 5 cm/s. Der östliche Bereich des Rückhalteraaumes sowie die südwestliche Spitze werden kaum durchströmt.
 - Die maximalen Geschwindigkeiten innerhalb des Rückhalteraaumes liegen großräumig bei ca. 5 - 10 cm/s.
 - Das Schrankenwasser wird durch die Verlagerung des Auslassbauwerks bis Stufe 5 nicht durchströmt. Bei höheren Abflüssen stellt sich eine Durchströmung ein. Die Strömungsgeschwindigkeiten sind bei BHQ lokal bei ca. 5 -10 cm/s.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 12,9 Mio. m³.
- Zufluss Einlaufbauwerk

| Abflussstufe | Abfluss in m ³ /s |
|--------------|------------------------------|
| 2 | 1 |
| 3 | 5 |
| 4 | 14 |
| 5 | 40 |
| 6 | 55 |
| 7 | 90 |
| BHQ | 195 |

6.1.14 P_m_02 (Polder mittel)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - vgl. Variante P_k_02
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 3 bei den überfluteten Flächen unter ca. 1 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen zwischen 1 - 2 m. Im Rußheimer Altrhein erreichen die Wasserspiegellagen für Stufe 3 ca. 2 - 3m und für Stufe 6 über 3 m.
 - Bis Stufe 6 bleibt die durch den östlichen Sommerdamm geschützte Fläche nahezu trocken.
 - Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4 m und im Rußheimer Altrhein bis zu 6 m.
- Wasserspiegellagen
 - vgl. Variante P_k_02 (Ausnahme BHQ-Fall, hier Wasserspiegel 101,31 mNHN und somit ca. 0,1 m geringer als bei der Variante P_k)
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Bis Stufe 6 vgl. Variante P_k_02
 - Im BHQ-Fall stellen sich am östlichen Rand des Rückhalterauges etwas höhere Geschwindigkeiten ein (ca. 2 cm/s).
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 16,6 Mio. m³.
- Zufluss Einlaufbauwerk

| Abflussstufe | Abfluss in m ³ /s |
|--------------|------------------------------|
| 2 | 0 |
| 3 | 0 |
| 4 | 0 |
| 5 | 7 |
| 6 | 14 |
| 7 | 40 |
| BHQ | 182 |

6.1.15 P_g_02 (Polder groß)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Ab Stufe 3 beginnt eine Überströmung der tiefliegenden Gebiete im Westen des RHR.
 - Überströmung erfolgt durch Rückstau aus den Gräben vom Altwasser (von Norden).
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen liegen für Stufe 3 bei den überfluteten Flächen unter ca. 1 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen zwischen 1 - 2 m. Im Rußheimer Altrhein erreichen die Wasserspiegellagen für Stufe 3 ca. 2 - 3 m und für Stufe 6 über 3 m.

- Bis Stufe 6 bleibt die durch den östlichen Sommerdamm geschützte Fläche nahezu trocken.
- Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4 m und im Rußheimer Altrhein bis zu 6 m.
- Wasserspiegellagen
 - Im Polder stellt sich ein horizontaler Wasserspiegel ein. Ein leichtes Wasserspiegelgefälle ist lediglich entlang des Rußheimer Altrheins zu verzeichnen.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Bis Stufe 6 ist der Rückhalteraum lediglich durch einen Rückstau überflutet, wodurch sich keine Durchströmung einstellt.
 - Einzig im BHQ-Fall stellt sich großflächig eine Durchströmung ein.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 21,2 Mio. m³.
- Zufluss Einlaufbauwerk

| Abflussstufe | Abfluss in m ³ /s |
|--------------|------------------------------|
| 2 | 40 |
| 3 | 57 |
| 4 | 75 |
| 5 | 105 |
| 6 | 121 |
| 7 | 158 |
| BHQ | 257 |

6.1.16 DP_k_01 (DRV/Polder-Variante klein)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Ab Stufe 2 beginnt eine Überströmung der tiefliegenden Gebiete im Westen des Polder-Bereichs. Der DRV-Bereich ist erst ab Stufe 4 überströmt.
 - Überströmung des Polder-Bereichs erfolgt aus Süden über das Einlaufbauwerk und das Schlutensystem. Die Überströmung des DRV-Bereichs erfolgt erst ab Stufe 4 aus Süden über die Schneisen im südlichen Straßendamm.
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen sind für den DRV-Bereich und den Polder-Bereich unterschiedlich. Für kleine Abflussstufen ist der Wasserspiegel im Polder-Bereich höher, während bei großen Abflussstufen der Wasserspiegel im DRV-Bereich höher liegt.
 - Bei Stufe 3 liegen die Wassertiefen lokal bei über 0,5 m und erreichen bei Stufe 6 Tiefen lokal Werte bis über 2 m.
 - Infolge des Schlutensystems ist der östliche Sommerdammbereich früh überströmt.
 - Bei einem BHQ steigen die Wassertiefen bis zu ca. 4 m.
- Wasserspiegellagen
 - Die Wasserspiegellagen in den überfluteten Flächen liegen bei ca. 97,4 mNHN (Stufe 2) und erreichen bei BHQ Werte von ca. 101,68 mNHN (DRV-Bereich) bzw. ca. 101,5 mNHN im Polder-Bereich.
 - Im Vergleich zu den Varianten D_k_08 und P_k_08 ist der Wasserspiegelverlauf im Polder-Bereich analog zu der Variante P_k_08, wohingegen der Wasserspiegelverlauf im DRV-Bereich im Vergleich zu den Varianten D_k_08 und P_k_08 einen eigenen Verlauf annimmt und insgesamt größer ausfällt.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Das Strömungsbild des DRV-Bereiches entspricht im Wesentlichen der Variante D_k_08. Lediglich bei höheren Abflüssen fallen die Fließgeschwindigkeitsbeträge geringer aus.
 - Das Strömungsbild im Wald-Bereich ist im Vergleich zu den beiden Varianten D_k_08 und P_k_08 tlw. verändert. Bei kleinen Abflussstufen stellen sich höhere Geschwindigkeiten im Waldbereich (westlicher Waldrand) ein. Bei höheren Abflüssen stellen sich im Vergleich zur Variante P_k_08 deutlich bessere Strömungsbedingungen ein.
 - Das Schrankenwasser wird durch die Verlagerung des Auslassbauwerks bis Stufe 4 nicht durchströmt. Bei höheren Abflüssen stellt sich eine Durchströmung ein. Die Strömungsgeschwindigkeiten sind bei BHQ lokal bei ca. 5 -10 cm/s.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 4,8 Mio. m³ im DRV-Bereich und 8,4 Mio. m³ im Polder-Bereich.

- Zufluss Einlaufbauwerk

| Abflussstufe | Abfluss in m ³ /s |
|--------------|------------------------------|
| 2 | 1 |
| 3 | 5 |
| 4 | 15 |
| 5 | 45 |
| 6 | 60 |
| 7 | 85 |
| BHQ | 160 |

6.1.17 DP_k_02 (DRV/Polder-Variante klein, Trenndamm verschoben und Schluten identisch zu P_k_08 bzw. D_k_08)

Die Modellergebnisse sind analog zu Variante DP_k_01.

- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 4,6 Mio. m³ im Teil DRV und 8,6 Mio. m³ im Teil Polder.

6.1.18 DP_m_01 (DRV/Polder-Variante mittel)

Die Ergebnisauswertung zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Ab Stufe 3 beginnt eine geringe Überströmung des RHR (DRV-Bereich)
 - Überströmung erfolgt von Süden (infolge der Flutmulde).
 - Rückstau aus den Gräben vom Altwasser (von Norden) ist **nicht** gegeben.
 - Durchströmung des DRV-Bereiches ist ab Stufe 4 gegeben
- Wassertiefen
 - Die Wassertiefen entsprechen im DRV-Bereich im Wesentlichen denen aus der Variante D_k_04 (vgl. Wasserspiegellagen).
- Wasserspiegellagen
 - Die Wasserspiegellage in den überfluteten Flächen liegt zwischen ca. 97,8 mNHN (Stufe 3) und ca. 101,68 mNHN (BHQ).
 - Die Wasserspiegellagen im DRV-Bereich liegen im Vergleich zur Variante D_k_04 tendenziell höher (ca. 17 cm bei Stufe 5, 14 cm bei Stufe 6 und 12 cm bei Stufe BHQ).
 - Der Wasserspiegel im Polder ist an den Rheinwasserspiegel in Höhe des Bauwerkes gekoppelt. Somit sind die Wasserspiegellagen im Polder deutlich geringer als im DRV-Bereich.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Infolge der Verkleinerung des DRV-Bereiches durch den Polderdamm, ändert sich der Strömungspfad. Das Wasser aus dem RHR muss deutlich früher in den Rhein abgeführt werden (vgl. Strömungsbilder Stufe 4).
 - Die Strömungsbilder unterscheiden sich zur Variante D_k_04 lediglich im nördlichen Abschnitt, in dem das Wasser aus dem RHR in den Rhein strömt. Sonst sind die Strömungsbilder nahezu identisch. Dies gilt bis zur Stufe 6.

- Bei großen Abflüssen (BHQ) zeigt sich, dass das Strömungsfeld im Vergleich zur Variante D_k_04 nicht weit in den RHR hineinreicht. So sind die Fließgeschwindigkeiten im Waldbereich deutlich geringer.
- Der Polderbereich wird durch Rückstau gefüllt. Die Geschwindigkeiten fallen in diesem Fall deutlich geringer aus.
- Das Volumen im RHR beträgt bei BHQ ca. 9,5 Mio. m³ im Teil DRV und 9,7 Mio. m³ im Teil Polder.

6.2 Variantenvergleich

Zur Vereinfachung einer vergleichenden Bewertung werden hier ausgewählte Varianten nach eigenen Kriterien gegenübergestellt.

6.2.1 Vergleich Varianten D_k_06 und D_k_04 (Dammrückverlegung klein mit Komplettabtrag bzw. Teilabtrag HWD XXXI)

Die Ergebnisauswertung der Varianten D_k_06 und D_k_04 zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Geringer Einfluss auf den Überflutungsbeginn
- Wasserspiegellagen
 - Die Wasserspiegellagen im Rückhalteraum sind für die Variante Teilabtrag bei Stufe 5 ca. 3 cm und bei Stufe 6 um ca. 7 cm geringer. Bei BHQ und den anderen Stufen ist der Wasserspiegel im Rückhalteraum nicht signifikant unterschiedlich (ggf. ca. 1 cm Abweichung).
 - Insgesamt sind geringe Wasserspiegellagenunterschiede zu verzeichnen.
 - Die geringeren Wasserspiegellagen für die Variante Teilabtrag ist auf die Wirkung des erhaltenen Dammabschnittes auf das Strömungsbild zurückzuführen. Infolge des Dammes strömt insgesamt weniger Wasser in den Rückhalteraum hinein.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Für die Stufen 5 und 6 wirkt sich der erhaltene Dammabschnitt deutlich auf das Geschwindigkeitsbild für das westliche Gebiet im RHR aus. Der Dammabschnitt liegt in der Hauptströmung aus dem Rhein in den Rückhalteraum, wodurch diese unterbrochen wird.
 - Die Geschwindigkeiten nehmen infolge des erhaltenen Dammabschnittes im westlichen Bereich des Rückhalterumes von ca. 0,1 m/s auf ca. 0,05 m/s (Stufe 5) bzw. von ca. 0,2 m/s auf ca. 0,1 m/s (Stufe 6) ab.
 - Im BHQ-Fall sind die Geschwindigkeiten für beide Varianten ähnlich und zeigen keine großen Unterschiede auf.
 - Insgesamt wirkt sich der erhaltene Dammabschnitt auf das Strömungsbild aus. Dieser Einfluss des erhaltenen Dammabschnittes bleibt primär auf das westliche Gebiet beschränkt, weil der Sommerdamm weiterhin als Strömungsenker dient und das Waldgebiet von der westlichen Strömung beschattet.
 - Infolge des erhaltenen Sommerdammabschnittes stellt sich ein dazu paralleles Geschwindigkeitsbild auf beiden Seiten ein. Ein vorherrschender Zustrom aus dem Rhein in den Rückhalteraum wird auf diese Weise verhindert.

Insgesamt sind durch den Teilabtrag für den mittleren Abflussbereich leicht geringere Wasserspiegellagen zu erwarten. Von größerer Bedeutung ist das Geschwindigkeitsbild im Rückhalteraum, das sich deutlich verändert.

6.2.2 Vergleich Varianten D_k_04 und D_k_05 (Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, Flutmulde und ohne bzw. mit durchgängigen Schluten)

Zum Erreichen eines früheren Überströmens des Rückhalterauges sowie einer durchgehenden Durchströmung wurden die Schluten durchgängig gestaltet und zusätzlich zur Flutmulde an BW01 Flutmulden weiter westlich im abgetragenen Teil des HWD XXXI und im Sommerdamm eingebaut.

Die Ergebnisauswertung der Varianten D_k_04 und D_k_05 zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Ohne die Flutmulden im Süden des Rückhalterauges beginnt die Überströmung aus dem Süden (Alte Minthe) ab Stufe 5 (s. D_k_06 in Kapitel 6.1.1).
 - Mit Flutmulden beginnt die Überströmung ab Stufe 3 (geringe Wassermengen)
- Wasserspiegellagen
 - Infolge der frühen Überströmung aus dem Süden stellen sich für die kleinen Stufen höhere Wasserspiegellagen ein (Stufe 4). Dieser Einfluss nimmt mit zunehmendem Abfluss schnell ab, sodass ab Stufe 5 keine signifikanten Unterschiede in den Wasserspiegellagen mehr zu verzeichnen sind.
 - Die Schluten wirken sich ab Stufe 4 deutlich aus. Es strömt deutlich mehr Wasser aus dem Süden in den Rückhalteraum. Zudem ist der Wasserspielraum am südlichen Straßendamm sowie am Sommerdamm am westlichen Waldrand deutlich geringer bzw. nicht mehr gegeben.
 - Im Waldgebiet nehmen bei Stufe 4 die Wasserspiegellagen durch die Schluten von ca. 98,53 mNHN auf 98,16 mNHN ab (Wasser strömt aus dem Wald in das tief liegende westliche Gebiet). Ab Stufe 5 sind die Unterschiede nahezu nicht mehr gegeben.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Die Durchströmung wird insgesamt durch die Schluten sowie Flutmulden verbessert:
 - im Süden durch höheren Zufluss in den Rückhalteraum und
 - im westlichen Bereich, weil das vom Süden kommende Wasser nach Nordwesten wegfließt bzw. der Sommerdamm keine Barriere darstellt und die Strömung durch das Waldgebiet sowie durch das westliche Sommerdammgebiet nicht mehr trennt.
 - Die Durchströmung im Waldgebiet verschlechtert sich jedoch für die Stufe 5 (vorher ähnliche Strömungsbilder). Es wird lediglich der südliche Waldbereich durchströmt. Da der Sommerdamm als Strömungsenker entfällt, fließen die von Süden eintretenden Wassermassen nicht mehr östlich des Sommerdamms durch das Waldgebiet ab, sondern in Richtung Nordwesten. Mit zunehmendem Abfluss fallen die Unterschiede geringer aus.

Insgesamt strömt infolge der Flutmulde sowie der Schluten deutlich früher Wasser in den Rückhalteraum aus dem Süden. Zudem ist ein größerer Wasserspiegel für Abflüsse der Stufe 4 zu erkennen. Nachteilig an den Schluten ist, dass insgesamt weniger Waldgebiet durch-

strömt wird. Große Gebiete des Rückhalteraaumes (Osten) bleiben bis Stufe 6 ohne Durchströmung benetzt.

Der Einfluss der Schluten/Flutmulden nimmt mit zunehmendem Abfluss wieder ab.

6.2.3 Vergleich Varianten D_k/m/g (Dammrückverlegung klein, mittel, groß)

Die Ergebnisauswertung der Varianten D_k_06, D_m_04 und D_g_03 zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Keine signifikanten Unterschiede
 - Rußheimer Altrhein
 - Nicht betroffen bei der kleinen Variante
 - Ständig durchströmt bei der großen Variante
 - Primär Rückstau für den nördlichen Teil bei der mittleren Variante
- Wasserspiegellagen
 - Die Wasserspiegellagen sind für die kleine Variante bei höheren Abflüssen mehrere Zentimeter größer als bei der mittleren sowie großen Variante
 - ca. 5 cm bei Stufe 5
 - ca. 7 cm bei Stufe 6
 - ca. 8 cm bei BHQ
 - Das Wasserspiegelgefälle im Rückhalteraum ist für die kleine und große Variante gering. Bei der mittleren Variante ist mit einem Wasserspiegelgefälle von ca. 10 cm das größte Gefälle zu verzeichnen. Dies ist auf die deutlich bessere Entwässerung nach Norden in das letzte Stück Rußheimer Altrhein zurückzuführen. Bei der großen Variante ist dies nicht der Fall, weil der Rußheimer Altrhein selbst viel Wasser bringt.
 - Die Wasserspiegellagen in der Alten Minthe fallen bei der großen Variante geringer aus als bei den anderen beiden Varianten. Dies ist darin begründet, dass aus der Alten Minthe Wasser nach Norden in den Rückhalteraum entwässert und zusätzlich über ein Bauwerk Wasser in den Rußheimer Altrhein geführt wird.
 - Der östliche Sommerdammbereich wird bei Stufe 6 einzig bei der großen Variante überströmt. Dies ist auf den größeren Rückstau im Einzugsgebiet zurückzuführen, der in dem Rußheimer Altrhein begründet ist.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Das Geschwindigkeitsbild im Rückhalteraum ist bis einschließlich Stufe 6 bei allen Varianten ähnlich.
 - Infolge des größeren Wasserspiegelgradienten nach Norden (mittlere Variante) bzw. der weiträumigeren Umströmung (große Variante) ist im BHQ-Fall die Strömung im östlichen Bereich des Rückhalteraaumes etwas höher (Anstieg von ca. 5 cm/s auf ca. 10 cm/s).

6.2.4 Vergleich Varianten P_k/m/g (Polder klein, mittel bzw. groß)

Die Ergebnisauswertung der Varianten P_k_02, P_m_02 und P_g_02 zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Kein signifikanter Unterschied zwischen der kleinen und mittleren Variante.

- Bei der großen Variante stellt sich bis einschließlich Stufe 6 im Rückhalteraum selbst primär Rückstau ein (keine Überflutung von Süd nach Nord).
- Rußheimer Altrhein
 - Nicht betroffen bei der kleinen Variante
 - Ständig durchströmt bei der großen Variante
 - Primär Rückstau für den nördlichen Teil bei der mittleren Variante
- Wasserspiegellagen
 - Die Wasserspiegellagen sind für die kleine und mittlere Variante bis einschließlich Stufe 7 nahezu identisch. Beim BHQ sind die Wasserspiegellagen für die kleine Variante ca. 10 cm größer. Dies ist auf die bessere Durchströmung der mittleren Poldervariante zurückzuführen.
 - In allen Poldervarianten stellen sich nahezu horizontale Wasserspiegellagen ein.
 - Bei der kleinen und mittleren Variante stellt sich ein Wasserspiegelsprung entlang des südlichen Straßendamms ein.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Das Geschwindigkeitsbild im Rückhalteraum ist für die mittlere und kleine Variante ähnlich.
 - Die große Variante zeigt erst ab Stufe 7 eine Durchströmung des Rückhalterumes auf.
- Abflüsse

| Abflussstufe | P_k_02 Abfluss in m³/s | P_m_02 Abfluss in m³/s | P_g_02 Abfluss in m³/s |
|--------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 2 | 0 | 0 | 40 |
| 3 | 0 | 0 | 57 |
| 4 | 0 | 0 | 75 |
| 5 | 7 | 7 | 105 |
| 6 | 14 | 14 | 121 |
| 7 | 40 | 40 | 158 |
| BHQ | 169 | 182 | 257 |

Insgesamt ähneln sich die beiden Varianten „mittel“ und „klein“ sehr stark. Die große Variante stellt hingegen ein völlig anderes Strömungsbild dar.

6.2.5 Vergleich Varianten D_k und P_k (Dammrückverlegung klein und Polder klein)

Die Ergebnisauswertung der Varianten D_k_06 und P_k_02 zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Varianten
- Wasserspiegellagen
 - Grundsätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Rechenzeiten zwischen der Polder- und der Dammrückverlegungsvariante unterschiedlich sind (stationärer Endzustand ist tlw. abweichend).
 - Die Wasserspiegellagen sind im Rückhalteraum bis einschließlich Stufe 4 gleich (primär Rückstau von Norden).
 - Tendenziell sind die Wasserspiegellagen für die Poldervariante geringer (ca. 17 cm bei Stufe 5, ca. 24 bei Stufe 6 und ca. 16 cm bei BHQ). Dies ist darin begründet, dass bei der Poldervariante das Einlaufbauwerk als Drossel wirkt. Zudem scheint der südliche Straßendamm die Abflusskapazität des Einlaufbauwerkes zu reduzieren.
 - Die Wasserspiegellagen sind bei beiden Varianten nahezu horizontal.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Bei Betrachtung des Waldgebietes stellen sich ab Stufe 5 deutliche Unterschiede im Strömungsbild dar. In der Poldervariante wird ein sehr schmaler Pfad am westlichen Waldrand durchströmt. Dieser Pfad ist für die Dammrückverlegungsvariante deutlich größer, deckt aber nur einen Teil der Waldflächen ab.
 - Bei Stufe 6 werden die Unterschiede beider Fließpfade geringer. Dabei ist anzumerken, dass durch eine Anpassung des südlichen Straßendamms weitere Optimierungsmöglichkeiten bestehen.
 - Ein großer Unterschied stellt sich in einem BHQ-Fall ein. Hier sind die Strömungsgeschwindigkeiten in der Poldervariante deutlich geringer und lediglich die Hälfte des Rückhalterumes ist durchströmt. Bei der Dammrückverlegungsvariante ist das gesamte Gebiet sehr gut durchströmt.

Insgesamt unterscheiden sich die beiden Varianten Polder und Dammrückverlegung (jeweils kleine Variante) in den Wasserspiegellagen und dem Geschwindigkeitsbild (jeweils ab Stufe 5).

6.2.6 Vergleich Varianten P_k_02 und P_k_05 (Einfluss maximal optimierter Schluten)

Zum Erreichen eines früheren Überströmens des Rückhalterumes sowie einer durchgehenden Durchströmung wurden die Schluten optimiert und zusätzlich das BW01 um 0,5 m tiefer gelegt.

Die Ergebnisauswertung der Varianten P_k_02 und P_k_05 im Vergleich zeigt:

- Überflutungsbeginn:
 - Der Einfluss der maximal optimierten Schluten in Kombination mit der Tieferlegung der Sohle des Einlaufbauwerkes um 0,5 m ist deutlich. Hierdurch sind bereits ab Stufe 2 alle Schluten mit Wasser gefüllt. Eine Überströmung der Flächen ist jedoch erst ab Stufe 3 gegeben.
 - Die Schluten ermöglichen wegen einer guten hydraulischen Leistungsfähigkeit zudem eine schnellere Überströmung des Rückhalterums infolge Rückstaus.

- Wasserspiegellagen
 - Die Wasserspiegellagen im Rückhalteraum liegen für die Variante P_k_05 für alle Abflussstufen höher (6 cm bei BHQ und ca. 10 cm bei Stufe 5 und 6).
 - Die höheren Wasserspiegellagen sind auf die bessere Durchströmung zurückzuführen.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Grundsätzlich stellt sich eine leichte Verbesserung der Durchströmungssituation für die Variante P_k_05 ein.
 - Für kleinere Abflussstufen liegt allerdings lediglich in den Schluten selbst eine Strömung vor. Hinzu kommt der westliche Waldbereich, der mit einer Geschwindigkeit von ca. ca. 0,02 - 0,05 cm/s durchströmt wird.

Insgesamt ist durch die Optimierung des Einlaufbauwerkes (0,5 m tiefer) und der Schluten eine frühere Durchströmung des Rückhalterumes möglich. Die Überflutung durch Rückströmung nimmt infolge der hydraulisch leistungsfähigen Schluten zu. Diese bewirken zudem insgesamt eine etwas bessere Durchströmung (insbesondere des westlichen Waldgebietes).

6.2.7 Vergleich Varianten P_k_06 und P_k_05 (Einfluss Verbreiterung Ein- und Auslaufbauwerk)

Zur Untersuchung des Einflusses der Bauwerksbreiten auf die Hydraulik im Rückhalteraum wurde die Variante P_k_06 (doppelte Breite Einlaufbauwerk und 1,5-fache Breite Auslaufbauwerk) simuliert.

Die Ergebnisauswertung der Varianten P_k_06 und P_k_05 im Vergleich zeigt insgesamt, dass die Unterschiede in den Wasserspiegellagen und im Strömungsbild nicht signifikant sind. Lediglich für einen BHQ-Abfluss liegen die Wasserspiegellagen für die Variante P_k_06 um ca. 0,07 m höher und die Durchströmung des Rückhalterumes ist besser.

6.2.8 Vergleich P_k_05 und P_k_08

Durch den Vergleich der Varianten P_k_05 und P_k_08 werden folgende Aspekte betrachtet:

1. Einfluss Verlagerung Auslaufbauwerk mit dem Ziel das Schrankenwasser möglichst vor Durchströmung zu schützen.
2. Schluten 2.0 (maximale Schluten) und Schluten 3.0 (reduziert und tlw. verlagert) im Vergleich (Befüllung + Entleerung)
3. Einfluss Durchbrüche bzw. Schneise im Sommerdamm West

Die Modellergebnisse zeigen im Vergleich:

Zu 1.: Durch die Verlagerung des Auslaufbauwerks fallen die Geschwindigkeiten im Schrankenwasser deutlich geringer aus (bis einschließlich Stufe 5 reiner Rückstaubereich).

Zu 2.: Die Schluten 2.0 und Schluten 3.0 scheinen gleichwertig zu sein. D.h. eine Reduktion der Schluten auf einen geringeren Umfang sowie die Verlagerung einzelner Schlutenverläufe ermöglichen weiterhin eine gute Befüllung und Entleerung des RHR.

Zu 3.: Der Einfluss der Durchbrüche im Sommerdamm ist signifikant. So stellen sich für kleine bis mittlere Abflussstufen unterschiedliche Geschwindigkeitsbilder ein. Konkret wird der einzige Strömungspfad am westlichen Waldrand entlang des Sommerdamms-Ost durch die Durchbrüche im Sommerdamm aufgeteilt und es stellt sich ein Strömungspfad in die Westgewanne ein.

6.2.9 Vergleich D_k_08, P_k_08 und DP_k_02

Für einen Vergleich der drei kleinen Varianten DRV, Polder und DRV/Polder wurden die drei Varianten D_k_08, P_k_08 und DP_k_02 untersucht. Hierzu wurde in diesen Modellen jeweils ein möglichst einheitlicher Grundzustand gewählt, indem die Dimensionen sowie Lage der geplanten Bauwerke sowie Schluten etc. in allen Varianten gleich gewählt wurden.

Der Vergleich dieser drei Varianten zeigt:

- Überflutungsbeginn/Befüllung:
 - Überströmung erfolgt bei allen Varianten ab Stufe 2 aus Süden über das Einlaufbauwerk und das Schlutensystem.
 - Mit Ausnahme der Westgewanne verhalten sich alle drei Varianten vergleichbar.
 - Im Bereich der Westgewanne verhalten sich die Varianten P_k_08 und D_k_08 ähnlich. Bei der Variante DP_k_02 wird dieser Bereich deutlich später überflutet (ab Stufe 4).
- Wassertiefen/Wasserspiegellagen
 - Die Entwicklung der Wasserspiegellagen verhält sich heterogen. Die Wasserspiegellagen im Waldbereich sind bei der Variante DP_k_02 bis Stufe 5 am höchsten. Ab Stufe 6 sind die Wasserspiegellagen im Waldbereich bei der Variante D_k_08 und im westlichen Waldbereich bei DP_k_02 am höchsten.
- Geschwindigkeiten/Durchströmung
 - Das Durchströmungsbild ist bei allen drei Varianten grundsätzlich unterschiedlich.
 - Bei kleinen Abflussstufen (bis Stufe 4) sind die Strömungsbilder für die Varianten P_k_08 und D_k_08 vergleichbar (ein Strömungspfad entlang des westlichen Waldrandes und ein Strömungspfad durch die Schneisen im Sommerdamm West zum Auslaufbauwerk). Bei der Variante DP_k_02 erfolgt die Durchströmung allein entlang des westlichen Waldrandes.
 - Für mittlere Abflussstufen (Stufe 5-6) ändern sich die Geschwindigkeitsbilder.
 - Bei Variante P_k_08 bleiben die beiden Strömungspfade (Einlaufbauwerk entlang westlicher Waldrand zum Auslaufbauwerk und Einlaufbauwerk durch die Schneisen im Sommerdamm Ost zum Auslaufbauwerk) bestehen,
 - Bei Variante D_k_08 werden die beiden Strömungspfade aus P_k_08, die auch hier zu beobachten sind, über die Durchströmung vom Rhein überlagert.
 - Bei Variante DP_k_02 bleibt im Polder-Bereich der Strömungspfad entlang des westlichen Waldrandes. Hinzu kommt im DRV-Bereich die Durchströmung vom Rhein (analog zu Variante D_k_08).
 - Bei hohen Abflüssen (ab Stufe 7) ändern sich erneut die Geschwindigkeitsbilder. Hier nähern sich die Geschwindigkeitsbilder der Varianten D_k_08 und DP_k_02 prinzipiell an. Allerdings liegt im nördlichen Rand bei der Variante D_k_08 eine deutlich höhere Durchströmung vor. Bei der Variante P-K_08 bildet sich ein Strömungspfad vom Einlaufbauwerk zum Auslaufbauwerk ein.
 - Im Waldbereich sind die Strömungsbilder bis Stufe 6 für die Varianten P_k_08 und D_k_08 ähnlich. Die Variante DP_k_02 weist bei kleinen Abflussstufen höhere Geschwindigkeiten im Waldbereich (westlicher Waldrand) auf.

- Die Poldervariante zeigt grundsätzlich über alle Abflussstufen hinweg eine eher geringe Durchströmung auf.
- Im Bereich des Schrankenwassers zeigt die Variante D_k_08 die höchste Durchströmung auf. Die Varianten DP_k_02 und P_k_08 sind hier vergleichbarer.
- Eine Restentleerung des RHR ist bei allen Varianten grundsätzlich vergleichbar.

7 Zusatzuntersuchungen

7.1 Stauinhaltskurven

Folgende Abbildung zeigt die Stauinhaltskurven für die kleine, mittlere und große Poldervariante. Die Volumina für die DRV-Varianten sind nicht eingetragen, entsprechen aber im Wesentlichen denen der Poldervarianten zzgl. der Volumen der rückgebauten Dämme.

Hinsichtlich des Retentionsvolumens sind die Anfangsfüllung sowie das maßgebliche Stauziel (Poldervariante) bzw. der maximale Wasserspiegel (DRV-Variante) zu berücksichtigen.

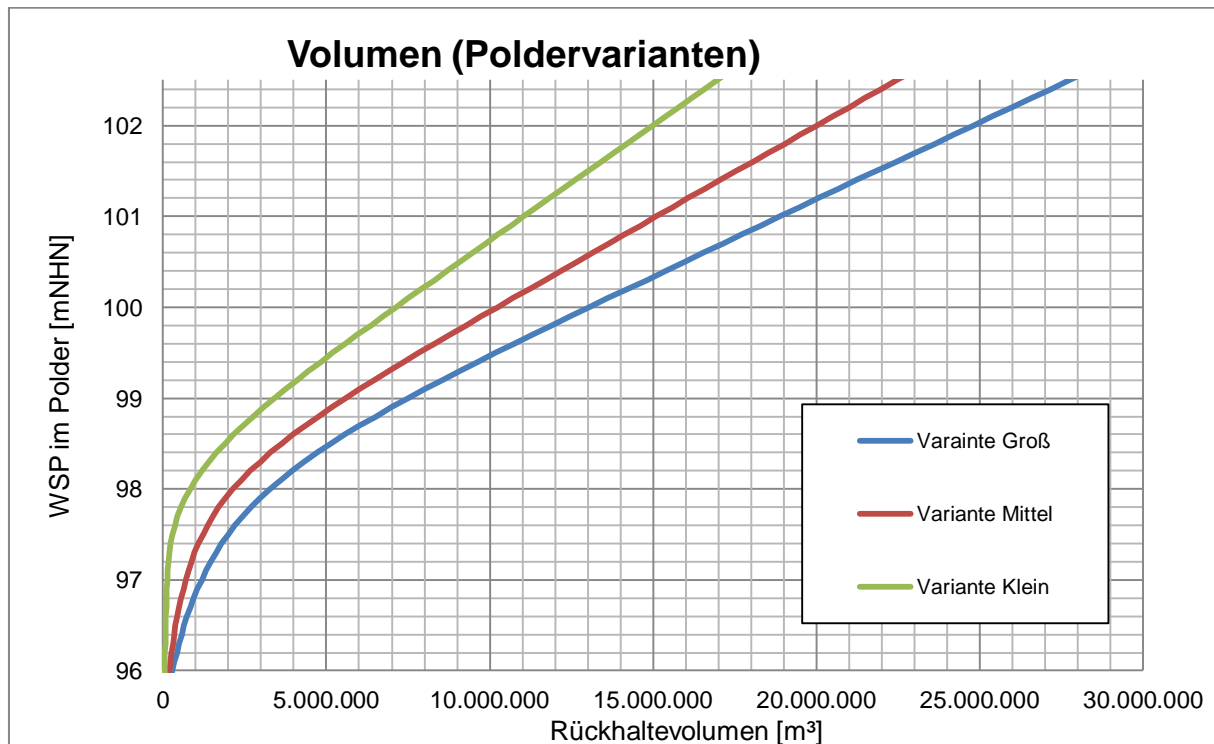


Abbildung 7-1: Stauinhaltskurven Poldervariante Klein, Mittel und Groß

Die Ergänzung der Stauinhaltskurve für die DRV/Polder-Variante mittel (DP_m_01) ist in Abbildung 7-2 dargestellt.

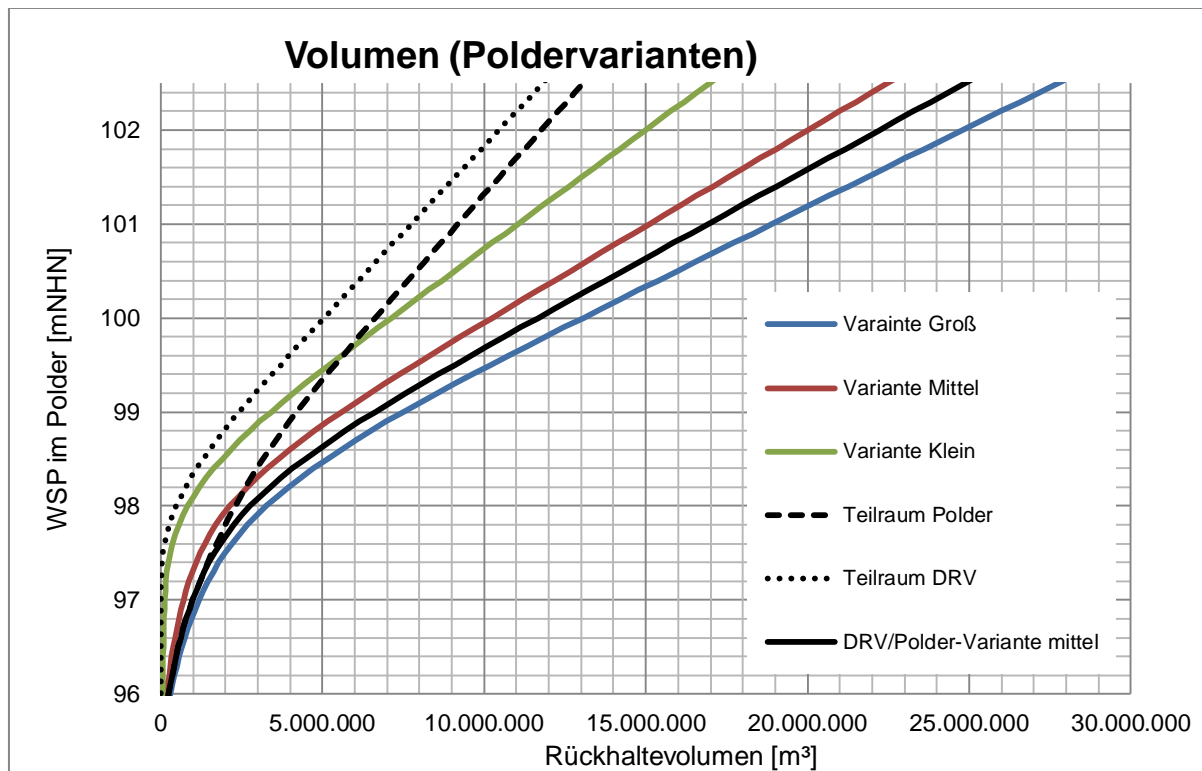


Abbildung 7-2: Stauinhaltskurven Poldervariante Klein, Mittel, Groß und DRV/Polder-Variante mittel

Die Ergänzung der Stauinhaltskurve für die DRV/Polder-Variante klein (DP_k_02) ist in folgender Abbildung dargestellt.

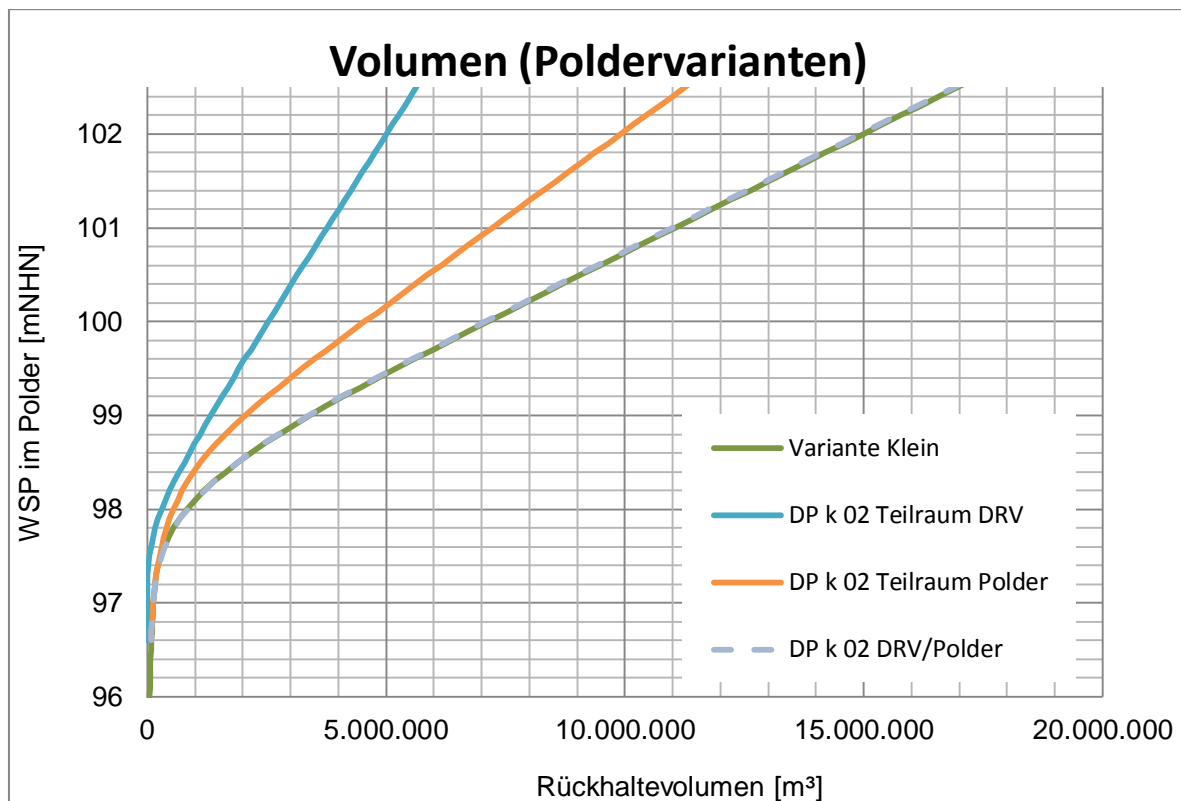


Abbildung 7-3: Stauinhaltskurven Poldervariante Klein und DRV/Polder-Variante klein

7.2 Hydraulische Untersuchung zur Polder-Befüllung

Die Befüllung des Polders kann grundsätzlich über das Ein- und/oder das Auslaufbauwerk erfolgen. Eine gleichmäßigere und höhere Befüllung des Rückhalteraaumes ist über das Einlaufbauwerk gegeben.

Mit den aktuell vorliegenden Geländeverhältnissen würde der Beginn der Befüllung über das Auslaufbauwerk ab Stufe 3 erfolgen. Durch Optimierung der Schluten könnte bereits ab Stufe 2 eine Durchströmung der Schluten von Süd nach Nord erreicht werden (vgl. P_k_08). Der Überflutungsprozess der Polderfläche ist anschließend hoch instationär.

Aus Modellrechnungen mit der Variante D_k_05 geht hervor, dass sich ein stationärer Zustand (bei einem konstanten Abfluss von 2.100 m³/s) nach ca. 90 Stunden einstellt. Die entsprechende Flächenentwicklung im Rückhalteraum ist in Anlage 7 dargestellt.

Weitere Untersuchungen zeigen für die Poldervariante, dass bei einem Abfluss von ca. 2.100 m³/s ein bordvoller Abfluss in ausgewählten Schluten angenommen werden kann, sodass dieser Abflusswert vorläufig als Schwellenwert für den Abbruch einer ökologischen Flutung in der Vegetationsperiode herangezogen werden kann (vgl. Kap. 5.1.1.3). Wird das instationäre Verhalten des Rückhalteraaumes jedoch berücksichtigt, so könnte bei einer ansteigenden Hochwasserwelle der Abbruch der ökologischen Flutung auch bei deutlich höherem Abfluss im Rhein (bis ca. 2.300 m³/s oder höher) erfolgen, bevor relevante Waldbereiche überflutet werden.

7.3 Hydraulische Untersuchung zur Polder-Durchströmung

Für die Poldervariante ist aus ökologischer Sicht, insbesondere nach Erreichen des Stauziels, das Ein- und Auslaufbauwerk so zu steuern, dass stets ein konstantes Durchströmen des Rückhalteraaumes gewährleistet wird. Hierdurch werden mit Blick auf die Vegetation stagnierende und sauerstoffarme Verhältnisse über einen langen Zeitraum (z. T. langanhaltende Hochwasserstände) reduziert.

Die Interpretation der Geschwindigkeitskarten aus Anlage 5 zeigt ähnliche Verhältnisse für die kleine und mittlere Poldervariante. Hier wird grundsätzlich eine gute Durchströmung des westlichen Waldgebietes erreicht, wobei die östliche Hälfte stets kaum ein Strömen aufzeigt (< 1 cm/s). Die große Poldervariante zeigt mit Ausnahme von extremen Abflussverhältnissen lediglich Rückstaueffekte.

Durch den Einbau von Schluten (vgl. P_k_08) kann die Durchströmung des Waldgebietes grundsätzlich verbessert werden. Allerdings liegt diese Verbesserung in höheren Fließgeschwindigkeiten im westlichen Waldgebiet sowie in den Schluten im östlichen Waldanteil. Somit bleiben signifikante Waldanteile im östlichen Bereich kaum durchströmt.

7.4 Polderentleerung

Das Thema der Polderentleerung ist für alle Betriebsfälle relevant. Wichtig ist dabei die Entleerung des Raumes nach ökologischer Flutung oder Retentionseinsatz. Bei einem Abbruch einer ökologischen Flutung ist vor allem die Frage maßgeblich, wie schnell der Rückhalteraum entleert werden kann, bevor die Bauwerke geschlossen werden, um auf den Retentionseinsatz zu warten. Weiterhin stellt sich die Frage nach der Restentleerung des RHR.

Eine Entleerung des Rückhalteraaumes ist grundsätzlich über das Ein- und das Auslaufbauwerk möglich, solange der Wasserspiegel im Rückhalteraum höher liegt als außerhalb. Für die geringeren Abflussstufen ist das Auslaufbauwerk maßgeblich für die Entleerung, weil dort der Wasserspiegel im Rhein deutlich tiefer liegt als beim Einlaufbauwerk. Das maximale Entleerungspotenzial wird vom Wasserspiegel im Rhein am Auslaufbauwerk bestimmt.

Abbildung 7-4 zeigt die überströmten Flächen, wenn im Rückhalteraum die Geländeoberfläche mit einem Wasserspiegel der Abflussstufen 2 bis 6 am Auslaufbauwerk (außerhalb des Rückhalterumes) verschnitten werden würde. Somit geben diese Flächen eine Information hinsichtlich einer maximalen Entleerung in Abhängigkeit des Wasserspiegels im Rhein.

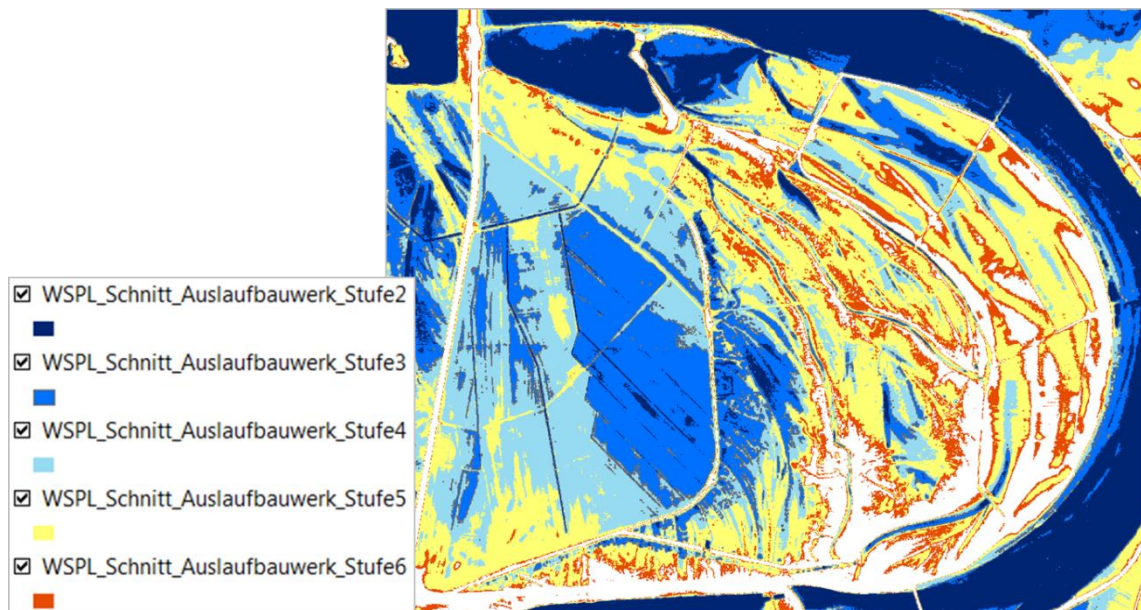


Abbildung 7-4: Geländeschnitt mit Wasserspiegel (WSPL) am Auslaufbauwerk

Bezüglich der Entleerung des Rückhalterumes mit absinkendem Wasserspiegel im Rhein zeigen die Modellergebnisse, dass ohne Geländeangepassungen Totwasserbereiche mit teilweise mehreren Metern Wassertiefe zurückbleiben. Die folgende Abbildung zeigt die verbleibenden Wassertiefen (dargestellt sind die Wassertiefenklasse in Meter) nach nahezu vollständiger Entleerung. Infiltration sowie Verdunstung sind hier nicht abgebildet und sind gesondert zu berücksichtigen.

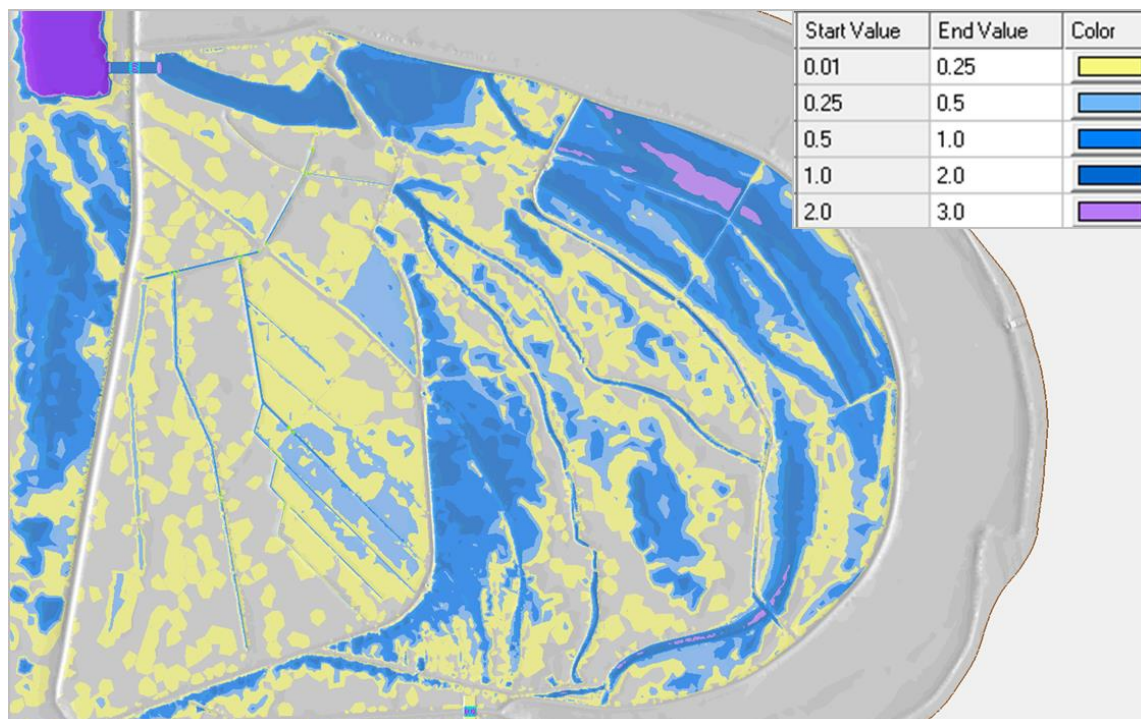


Abbildung 7-5: Totwasserbereiche ohne Geländeangepassungen (Tiefen in m)

Demnach sind unbedingt Geländeanpassungen im Rückhalteraum erforderlich, um insbesondere im östlichen Sommerdammbereich eine Entleerung zu ermöglichen.

Eine sehr gute Entleerung des Rückhalteraaumes wird für die Modellvariante P_k_05 (maximal optimierte Schluten) aufgezeigt (vgl. Abbildung 7-6).

Hierbei bewirken die Schluten zum einen eine frühere Überströmung des Rückhalteraaumes, aber auch gleichzeitig eine deutliche Verbesserung des Entleerungsvermögens.

Die Ergebnisse zeigen, dass mit den Schluten der gesamte Rückhalteraum nahezu vollständig entleert werden kann (ohne Berücksichtigung von Verdunstung und Infiltration). Verbleibende Flecken werden in Natur verdunsten und infiltrieren. Im Sommer kann Wasser in Höhe von ca. 4 cm pro Tag verdunsten. Die Infiltrationsrate ist vom Boden abhängig und kann ebenfalls mehrere Zentimeter pro Tag betragen.

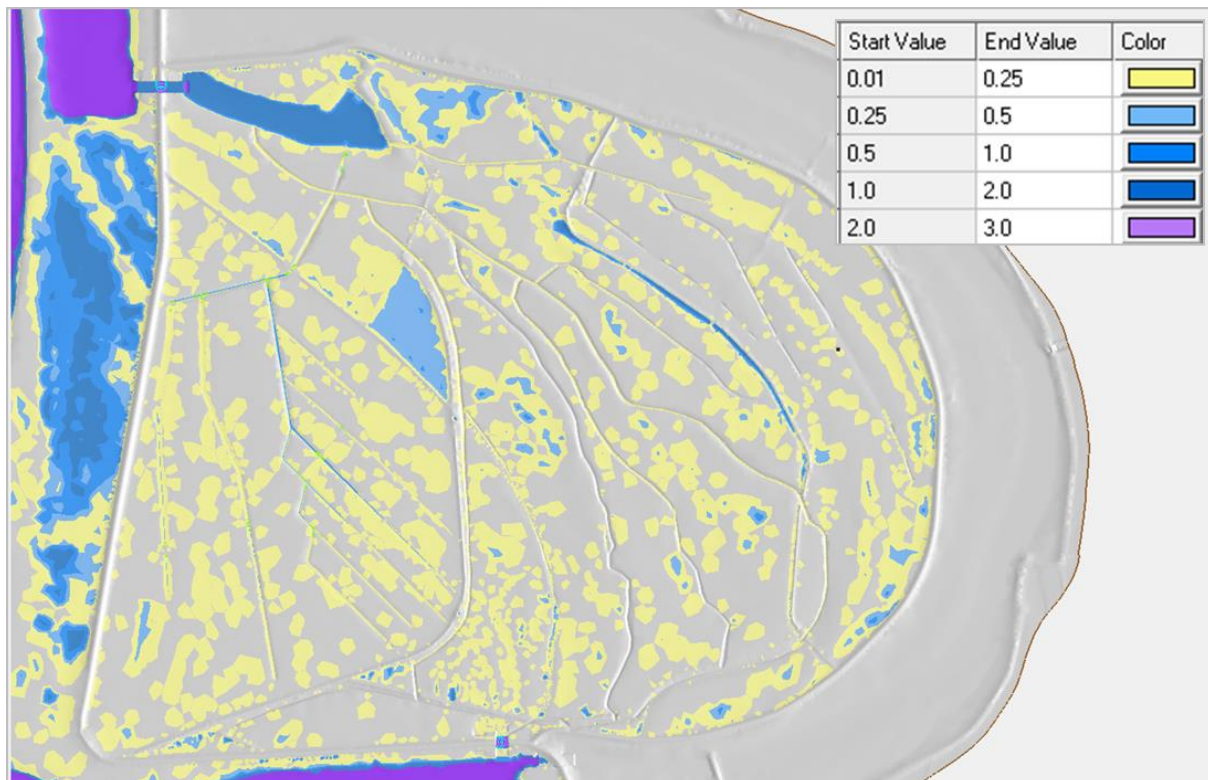


Abbildung 7-6: Totwasserbereiche mit Geländeanpassungen (Tiefen in m)

Hinsichtlich der Dynamik der Entleerung sind in folgender Abbildung die Wasserspiegellagen am Ein- und Auslaufbauwerk (jeweils auf Rheinseite) und an drei Punkten im Rückhalteraum dargestellt (horizontaler Linienverlauf entspricht einem Trockenfallen).

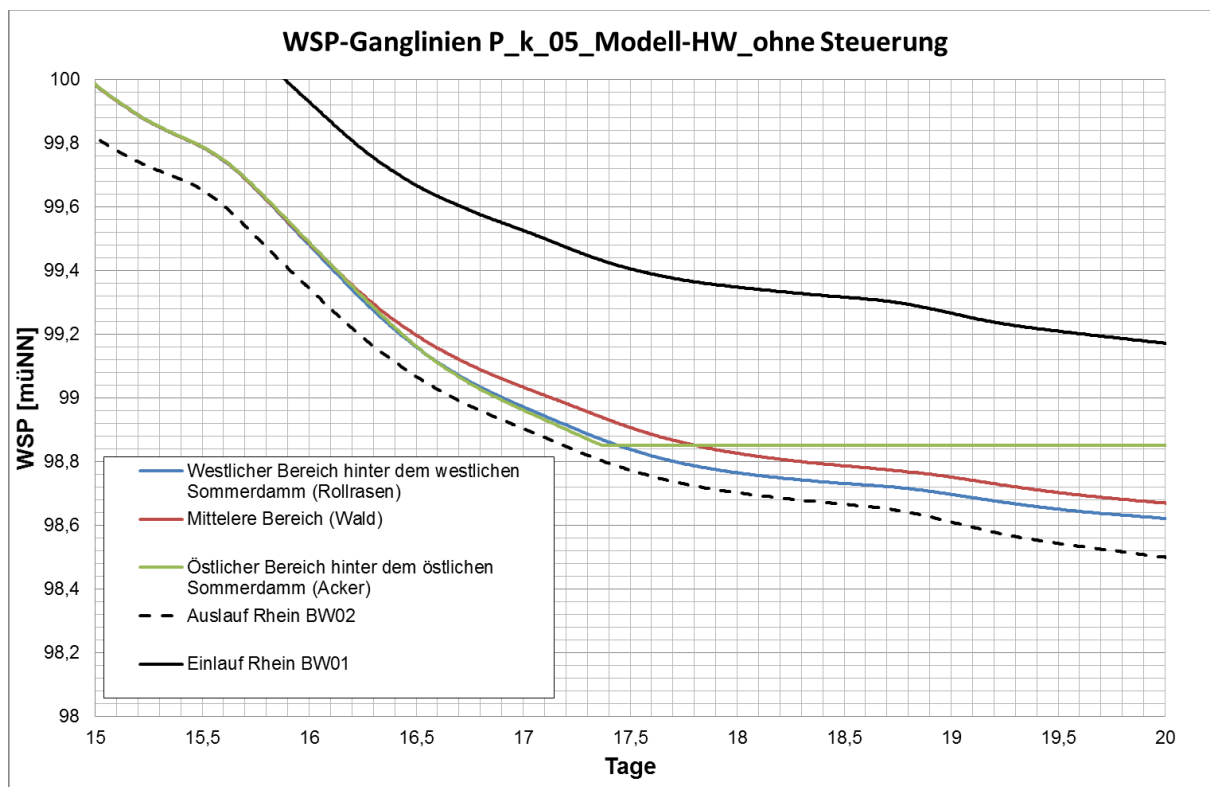


Abbildung 7-7: Dynamische Entleerung P_k_05 nach Modell-HW

Die Modellergebnisse zeigen, dass beim Prozess der Entleerung bis zu einem Wasserspiegel von ca. 99,3 mNHN im Rückhalteraum ein nahezu horizontaler Wasserspiegel vorliegt (gleichmäßige Entleerung). Anschließend erfolgt die Entleerung im Waldgebiet sukzessive langsamer als in den waldfreien Flächen.

Weiterhin wird deutlich, dass die Entleerung an den Wasserspiegel am Auslaufbauwerk (Rheinseite) gekoppelt ist. Für kleine Abflussbereiche kann im Rahmen der Entleerung davon ausgegangen werden, dass der Wasserspiegel im Rückhalteraum dem Wasserspiegelverlauf am Auslaufbauwerk zzgl. ca. 5-10 cm entspricht. Die zeitliche Verzögerung der beiden Wasserspiegel variiert je nach Wasserspiegel stark und liegt bei ca. 5-10 Stunden bei einem RHR-Wasserspiegel von ca. 99 mNHN. Bei sehr kleinen Abflüssen kann die zeitliche Verzögerung bei ca. 1 Tag liegen. Die Waldfläche entleert sich hierbei etwas langsamer, als die anderen Flächen.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse eine an den Rheinwasserspiegel gekoppelte Entleerung des Rückhalteriums. Zudem ist eine Restentleerung für den gesamten Rückhalteraum gegeben. Dies gilt auch, wenn die maximalen Schluten auf einen hydraulisch relevanten Umfang reduziert und tlw. hinsichtlich der Lage angepasst werden (vgl. Ergebnisse Restentleerung für die Varianten P_k_08, D_k_08 und DP_k_02 in Abbildung 7-8).

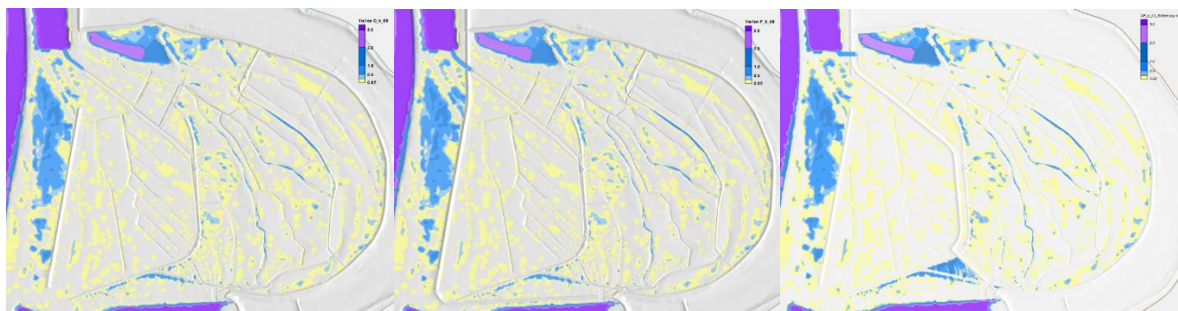


Abbildung 7-8: Vergleich Restentleerung D_k_08 (links), P_k_08 (mitte) und DP_k_02 (rechts)

Neben der klassischen Entleerung des RHR wurde zudem das Entleerungspotenzial bei einem Abbruch ökologischer Flutungen untersucht. Hierzu wurde der Rechenlauf mit der Simulation des Modell-HW aus Kapitel 5.1.1.3 betrachtet. Darin wird zunächst eine ökologische Flutung ermöglicht und nach einer entsprechenden HW-Vorhersage abgebrochen. In der folgenden Abbildung werden die Wasserspiegelverläufe für den Zeitraum Beginn Abbruch ökologische Flutungen (ca. Stunde 117) bis maximaler Entleerungszeitpunkt (ca. Stunde 132) im Rückhalteraum (Wald: Waldbereich und SD-West: Sommerdamm-West-Bereich) dargestellt.

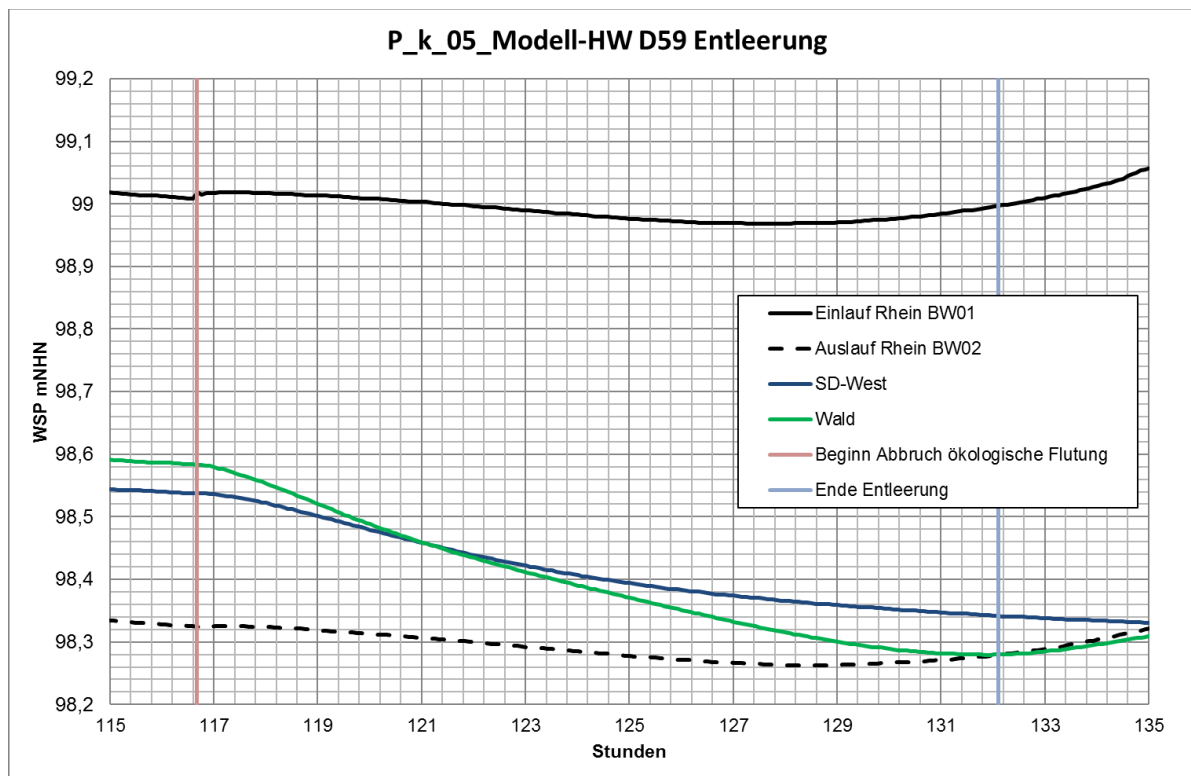


Abbildung 7-9: Wasserspiegelganglinien im RHR

Zu Beginn der ökologischen Flutungen beträgt der Abfluss im Rhein ca. 2.300 m³/s.

Aus den Wasserspiegellagenverläufen wird deutlich, dass bei einem Rhein-Abfluss von ca. 2.300 m³/s ein Wasserspiegelunterschied am Ein- und Auslaufbereich (jeweils Rheinseite bzw. außerhalb des RHR) von ca. 0,7 m vorherrscht (Wasserspiegel Oberwasser BW01: 99 mNHN und Wasserspiegel Unterwasser BW02: 98,32 mNHN) und der Wasserspiegel im RHR bei ca. 98,56 mNHN liegt. Mit Verschluss des Einlaufbauwerks kann sich somit eine Entleerung des RHR einstellen, solange der Wasserspiegel im RHR höher liegt als der Wasserspiegel am BW02. Dies ist nach ca. 15 h der Fall. In diesem Zeitraum fällt der Wasserspiegel im RHR von ca. 98,56 mNHN auf ca. 98,3 mNHN. Unter Betrachtung der Speicherinhaltslinie bedeutet diese Wasserspiegelabsenkung einen Gewinn an Rückhaltevolumen in Höhe von ca. 750.000 m³.

7.5 Varianteneinfluss auf den Rheinwasserspiegel

Zur Quantifizierung der Einflüsse der Varianten auf den Rheinwasserspiegel (stationärer BHQ-Abfluss) sind die Wasserspiegeldifferenzen zum Istzustand grafisch ermittelt worden. Die Ergebnisse sind Anlage 8 zu entnehmen.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich für die Poldervarianten (klein, mittel und groß) lediglich am Auslaufbauwerk eine leichte Erhöhung der Wasserspiegellagen einstellt (ca. 2 - 4 cm). Im Oberlauf nimmt hingegen der Wasserspiegel im Rhein ab. Die Reichweite dieser Wirkung nimmt mit der Größe des Rückhalteraumes zu. Bei der Poldervariante beträgt die Wasserspiegelabsenkung im Rhein bis zu ca. 4 cm (kleine und mittlere Variante) bzw. ca. 6 cm (große Variante).

Der Einfluss der Dammrückverlegungsvariante auf den Wasserspiegel ist hinsichtlich der Wasserspiegelzunahme sowie der Wasserspiegelabsenkung um ein vielfaches höher (vgl. Anlage 8). Die lokalen Wasserspiegelzunahmen im Rhein (Gewässerachse) liegen hier bei bis zu ca. 8 cm (kleine Variante), 10 cm (mittlere Variante) und 15 cm (große Variante). Die Wasserspiegelabsenkung beträgt im Rhein bis zu ca. 15 cm (kleine Variante) bzw. ca. 30 cm (mittlere und große Variante).

Die Wirkung DRV/Polder-Variante auf den Rheinwasserspiegel liegt zwischen der Wirkung der Polder- und der DRV-Variante. Die Ergebnisse zeigen, dass die lokalen Wasserspiegelzunahmen im Rhein bei ca. 7 cm liegen und die Wasserspiegelabsenkung bis zu ca. 9 cm betragen.

Im weiteren Planungsprozess bedürfen deshalb die mit den jeweiligen Varianten einhergehenden Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen der detaillierten Abstimmung mit dem Land Rheinland-Pfalz, sodass gemäß der Verwaltungsvereinbarung über Fragen des Hochwasserschutzes am Oberrhein sichergestellt wird, dass beidseits des Rheins ein einheitlicher und gleichwertiger Hochwasserschutz besteht bzw. herbeigeführt wird.

Es ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten, dass der Neckarrückstau (Überlagerung Hochwasser Rhein und Neckar) diese Ergebnisse beeinflussen kann. So ist bei einem Rückstau mit geringeren Fließgeschwindigkeiten im Rhein zu rechnen und somit mit etwas geringeren Wasserspiegeldifferenzen zwischen dem Istzustand und den Planzuständen.

8 Zusammenfassung der wesentlichen Erkenntnisse

Die hydraulische Modellierung der Oberflächengewässer ist für den Istzustand und erste Varianten erfolgt. Die bisher berechneten Varianten zeigt die folgende Tabelle 8-1.

Tabelle 8-1: Übersicht der untersuchten Varianten

| Variante | Kürzel | Beschreibung |
|---|------------|--|
| Istzustand | Istzustand | Abbildung des aktuellen Geländes s. Kapitel 5.2.1 |
| Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI und Flutmulde | D_k_04 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> Teilabtrag des Trenndamms HWD XXXI Neubau des Absperrdamms auf der Insel Bau der Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke Bau der Flutmulde BW01 |
| Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI, Flutmulde und durchgängigen Schluten | D_k_05 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> Teilabtrag des Trenndamms HWD XXXI Neubau des Absperrdamms auf der Insel Bau der Flutmulde BW01 Bau der Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke Durchgängigkeit der Schluten |
| Dammrückverlegung klein mit Komplettabtrag HWD XXXI | D_k_06 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> Abtrag des Trenndamms HWD XXXI Neubau des Absperrdamms auf der Insel Bau der Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke |
| Dammrückverlegung klein mit Teilabtrag HWD XXXI Flutmulde, optimierten Schluten 3.0 und BW02 verschoben | D_k_08 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> Teilabtrag des Trenndamms HWD XXXI Neubau des Absperrdamms auf der Insel Bau der Flutmulde BW01 (Sohle 0,5 m tiefer) Auslassbresche mit BW02 mit Flutbrücke verschoben (nach Süden) Einbau der Schluten (Schluten 3.0) |
| Dammrückverlegung mittel mit Komplettabtrag HWD XXXI | D_m_04 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> kompletter Abtrag des Trenndamms HWD XXXI Neubau des Absperrdamms auf der Insel und Ausbau des Absperrdamms HWD XXXIa Bau der Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke Bau der Auslassbresche BW04 mit Flutbrücke |
| Dammrückverlegung groß mit Komplettabtrag HWD XXXI | D_g_03 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> kompletter Abtrag des Trenndamms HWD XXXI Ausbau des Absperrdamms HWD XXXIa Bau der Einlassbresche BW03 Bau der Auslassbresche BW02 mit Flutbrücke Bau der Auslassbresche BW04 mit Flutbrücke Bau der Auslassbresche BW06 mit Flutbrücke Neubau der Flutbrücke RNK |
| Polder klein | P_k_02 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> Sanierung des Trenndamms HWD XXXI |

| Variante | Kürzel | Beschreibung |
|----------|--------|---|
| | | <ul style="list-style-type: none">• Neubau des Absperrdamms auf der Insel• Bau des Bauwerks BW01• Bau des Bauwerks BW02 |

| Variante | Kürzel | Beschreibung |
|---|--------|---|
| Polder klein und Sanierung der Sommerdämme | P_k_03 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Sanierung des Trenndamms HWD XXXI • Neubau des Absperrdamms auf der Insel • Bau des Bauwerks BW01 • Bau des Bauwerks BW02 • Sanierung der Sommerdämme auf 100 mNHN • Einbau der Schluten im Waldgebiet |
| Polder klein und doppelter Breite Einlaufbauwerk | P_k_04 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Sanierung des Trenndamms HWD XXXI • Neubau des Absperrdamms auf der Insel • Bau des Bauwerks BW02 • Doppelte Breite Einlaufbauwerk BW01 |
| Polder klein und maximal optimierten Schluten. | P_k_05 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Sanierung des Trenndamms HWD XXXI • Neubau des Absperrdamms auf der Insel • Bau des Bauwerks BW02 • Maximal optimierte Schluten • BW01 mit Einlaufbauwerkssohle 0,5 m tiefer |
| Polder klein mit maximal optimierten Schluten und doppelte Breite Einlaufbauwerk sowie 1,5-fache Breite Auslaufbauwerk. | P_k_06 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Sanierung des Trenndamms HWD XXXI • Neubau des Absperrdamms auf der Insel • Maximal optimierte Schluten • Einlaufbauwerkssohle 0,5 m tiefer • Einlaufbauwerk BW01 doppelte Breite, Auslaufbauwerk BW02 1,5-fache Breite |
| Polder klein mit Sanierung des östlichen Sommerdamms. | P_k_07 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Sanierung des Trenndamms HWD XXXI • Neubau des Absperrdamms auf der Insel • Bau des Bauwerks BW01 • Bau des Bauwerks BW02 • Sanierung östlichen Sommerdamm auf 100 mNHN • Einbau der Schluten im Waldgebiet |
| Polder klein mit Schluten 3.0. und verschobenem Auslaufbauwerk BW02 | P_k_08 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Sanierung des Trenndamms HWD XXXI • Neubau des Absperrdamms auf der Insel • BW01 mit Einlaufbauwerkssohle 0,5 m tiefer • BW02 nach Süden verschoben (Schutz Schrankenwasser) • Einbau der Schluten (Schluten 3.0) |
| Polder mittel | P_m_02 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Sanierung des Trenndamms HWD XXXI • Neubau des Absperrdamms auf der Insel und Ausbau des Absperrdamms HWD XXXIa • Bau des Bauwerks BW01 • Bau des Bauwerks BW02 • Bau des Bauwerks BW04 |

| Variante | Kürzel | Beschreibung |
|---|---------|---|
| Polder groß | P_g_02 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Sanierung des Trenndamms HWD XXXI • Ausbau des Absperrdamms HWD XXXIa • Bau des Bauwerks BW03 • Bau des Bauwerks BW02 • Bau des Bauwerks BW04 • Bau der Flutbrücke BW06 • Neubau der Flutbrücke RNK |
| Kombination DRV/Polder-Variante klein | DP_k_01 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Teilabtrag Trenndamm HWD XXXI • Neubau des Absperrdamms auf der Insel • Neubau Trenndamm auf Insel • Einbau Schluten • Bau des Bauwerks BW01 inkl. Flutmulde zum Baggersee • Versetzen BW02 (schräg) |
| Kombination DRV/Polder-Variante klein mit analogen Schluten sowie BW02 zu den Varianten P_k_08 und D_k_08 | DP_k_02 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Teilabtrag Trenndamm HWD XXXI • Neubau des Absperrdamms auf der Insel • Neubau Trenndamm auf Insel • Bau des Bauwerks BW01 inkl. Flutmulde zum Baggersee • Einbau Schluten 3.0 • BW02 nach Süden verschoben (Schutz Schrankenwasser) |
| Kombination DRV/Polder-Variante mittel | DP_m_01 | Hauptmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> • Teilabtrag des Trenndamms HWD XXXI • Teilausbau des Absperrdamms HWD XXXIa • Neubau des Trenndamms auf der Insel • Neubau Absperrdamm (Querung Altrhein) • Bau der Flutmulde BW01 und Polderbauwerk BW04 |

Die Auswertung der modellierten Varianten lässt folgende Schlüsse auf das Abflussverhalten im Bereich des Rückhalteraaumes zu.

- Frühestens ab Abflussstufe 3 bzw. Stufe 3 (1.850 m³/s) beginnt bei Polder- und DRV-Variante die Überströmung der Insel Elisabethenwört. Der Überflutungsbeginn erfolgt über das Auslaufbauwerk. Infolge optimierter Schluten in Kombination mit der Tieferlegung des Einlaufbauwerkes um 0,5 m kann eine Überströmung auch bereits ab Stufe 2 (1.550 m³/s), beginnend durch das Einlaufbauwerk, erfolgen.
- Bis Abflussstufe 4 (2.100 m³/s) erfolgt für beide Varianten die Hauptüberströmung der Insel durch Rückstau von Unterwasser. Erst ab einem höheren Abfluss gibt es ein nennenswertes Einströmen von Oberwasser (Alte Minthe).
- Die Einströmungssituation von Süden kann verbessert werden, wenn die bestehenden Schluten durchgängig gemacht werden und evtl. zusätzliche Flutmulden im südlichen Damm (Nordrand Alte Minthe) gebaut werden. Damit strömt in der DRV-Variante deutlich früher Wasser in den Rückhalteraum. Teilweise erhöhen sich auch die Wasserspiegel.
Der Einfluss der Schluten/Flutmulden nimmt mit zunehmendem Abfluss ab.

- Tendenziell sind die Wasserspiegellagen für die Poldervariante geringer als für die DRV-Variante. Grund hierfür ist die Drosselwirkung des Einlaufbauwerks und eine wahrscheinliche Zuflussreduzierung durch die im Süden der Insel in Hochlage verlaufenden Wirtschaftswege.
- Ab Abflussstufe 5 (2.630 m³/s) ergibt sich für die DRV-Variante eine signifikant größere Einströmung in die landwirtschaftlichen Flächen im Westen der Insel als in der Poldervariante. Die Einströmung erfolgt sowohl von Süden als auch von Westen, direkt vom Rhein.
- Bei höheren Abflüssen (Abflussstufe 5, 2.630 m³/s) wird in der Poldervariante der Wald auf der Insel Elisabethenwört nur am westlichen Waldrand durchströmt. In der DRV-Variante ist der durchströmte Bereich im Wald größer.
- Ein großer Unterschied stellt sich für das BHQ (5.000 m³/s) ein. Hier sind die Strömungsgeschwindigkeiten in der Poldervariante deutlich geringer und lediglich die Hälfte des Rückhalteraaumes ist signifikant durchströmt (> 0,02 m/s). In der verbleibenden Fläche dominieren sehr geringe Fließgeschwindigkeiten. Bei der Dammrückverlegungsvariante ist das gesamte Gebiet sehr gut durchströmt.
- Bezüglich Überflutungsbeginn und Durchströmung ergeben sich für die kleine, mittlere und große DRV-Variante vergleichbare Zustände.
- Die kleine und mittlere Poldervariante sind vergleichbar hinsichtlich Überflutungsbeginn, Durchströmung und Wasserspiegellagen. Die große Variante zeigt erst ab Abflussstufe 7 (3.340 m³/s) eine nennenswerte Durchströmung. Bei kleineren Abflüssen stellt sich überwiegend Rückstau im Rückhalteraum ein.
- Beim Vergleich Komplettabtrag/Teilabtrag des HWD XXXI in der DRV-Variante ist festzustellen, dass sich der stehenbleibende Dammschnitt auf das Strömungsbild auswirkt. Dieser Einfluss bleibt jedoch primär auf das westliche Gebiet beschränkt, weil der Sommerdamm weiterhin als Strömungsenker dient und das Waldgebiet von der westlichen Strömung beschattet. Die Wasserspiegellagen unterscheiden sich für die beiden Varianten kaum.
- Für den Rußheimer Altrhein ergibt sich sowohl für die Polder- als auch für die DRV-Variante ein vergleichbares Bild. Bei der jeweils kleinen Variante ist er unbeeinflusst, bei der mittleren Variante ergibt sich ein Rückstaubereich im nördlichen Teil des Altrheins, bei der großen Variante ist er ständig durchströmt.
- Der Einfluss der Bauwerksbreiten (Poldervariante) auf die Hydraulik im Rückhalteraum ist mit Ausnahme des BHQ-Abflusses nahezu zu vernachlässigen.
- Eine Entleerung des Rückhalteraaumes ist ohne eine Geländemodellierung nicht möglich. Es würden signifikante Totwasserbereiche zurückbleiben. Durch den Einbau von Schluten wird gezeigt, dass eine Entleerung des Rückhalteraaumes in Abhängigkeit des Wasserstandes am Auslaufbauwerk (Rheinseite) sehr gut möglich ist. Der Wasserspiegel im Rückhalteraum liegt dabei im Rahmen der Restentleerung um ca. 5-10 cm über dem am Auslaufbauwerk. Die zeitliche Verzögerung der beiden Wasserspiegel variiert je nach Wasserspiegel stark und liegt bei ca. 5-10 Stunden bei einem RHR-Wasserspiegel von ca. 99 mNHN. Bei sehr kleinen Abflüssen kann die zeitliche Verzögerung bei ca. 1 Tag liegen.
- Die Dammrückverlegungsvariante hat einen deutlichen Einfluss auf die Wasserspiegellagen im Rhein. Grundsätzlich sinkt der Wasserspiegel im Oberlauf des Rückhalteraaumes und steigt in dem Bereich, in dem Wasser aus dem Rückhalteraum wieder zurück in den Rhein fließt. Der Einfluss der Poldervarianten auf den Rheinwasserspiegel ist deutlich geringer.

Eine detaillierte Auswertung der bisher berechneten Varianten sowie ein ausführlicherer Vergleich einzelner Varianten kann Kapitel 6 und 7 entnommen werden.

9 Literatur

- FGG Rhein (Hrsg.) (2015): Bewirtschaftungsplan Oberrhein, Aktualisierung 2015 (Baden-Württemberg), Worms.
- hydrag (1991): Grundwassermodell – Grundwasserhydrologische Untersuchungen in den Retentionsräumen Elisabethenwört und Rheinschanzinsel, Karlsruhe.
- IB Ludwig (1991): Zweidimensionale Strömungsberechnung für die Retentionsräume Elisabethenwört und Rheinschanzinsel, Karlsruhe.
- IB Ludwig (2011): Polder Bellenkopf / Rappenwört, Hydraulische Berechnung von Oberflächengewässern, Anlage 5 des Planfeststellungsantrags, Karlsruhe.
- LUBW (2007): Bericht zum Hochwasser 8. Bis 13. August 2007, Karlsruhe.
- LUBW (Hrsg.) (2011): Deutsches Gewässerkundliches Jahrbuch, Rheingebiet, Teil I, 2009, Karlsruhe.
- LUWG RLP (2007): Hochwasser im Rheingebiet – August 2007, Kurzbericht, Mainz.
- LUWG RLP (2013): Hochwasser im Rhein - Juni 2013, Kurzbericht, Mainz.
- Ministerium für Umwelt und Verkehr (1996): Rahmenkonzept des Landes Baden-Württemberg zur Umsetzung des Integrierten Rheinprogramms, Teil I - Wiederherstellung des Hochwasserschutzes, Teil II – Erhaltung und Renaturierung der Aue-landschaft am Oberrhein, Materialien zum Integrierten Rheinprogramm, Band 7, Lahr.
- RP Freiburg (Hrsg.) (2014): Methodenhandbuch Dynamik der Wasserstände, Ökologische Erfolgskontrolle Integriertes Rheinprogramm: Rahmenkonzept Teil III, Materialien zum Integrierten Rheinprogramm, Band 17, Freiburg.
- RP Karlsruhe (Hrsg.) (1992): Retentionsraum Elisabethenwört (Rußheim), Abschlussbericht der Voruntersuchungen, Karlsruhe.
- RP Karlsruhe (2015): Beteiligungsfahrplan zum Rückhalteraum Elisabethenwört, Karlsruhe.
- Ständige Kommission (1998): Nachweis der Wirksamkeit der Hochwasserrückhaltemaßnahmen am Oberrhein zwischen Basel und Worms unter Einbeziehung Ökologischer Flutungen, Karlsruhe.
- Wald + Corbe (2014): Polder Bellenkopf / Rappenwört, Dokumentation Rheinhochwasser Juni 2013, Abschnitt Iffezheim bis Worms, Kurzbericht, Hügelsheim.
- Weber-Ingenieure (1991): Integriertes Rheinprogramm, Retentionsraum Elisabethenwört, Vorentwurf 1991, Pforzheim.

Verwendete EDV-Programmsysteme

- | | |
|--------------------------|--|
| ArcGIS®, Version 10 | - ESRI, Redlands (CA), USA |
| HYDRO_AS-2D, Version 4.1 | - Hydrotec Ingenieurgesellschaft für Wasser und Umwelt mbH, Aachen \ Dr. M. Nujic, Rosenheim |
| SMS, Version 11 | - AQUAVEO, Provo (Utah), USA |