

Vollautomatisierte Simulation des Befüllungs- und Entleerungsprozesses des geplanten Hochwasserrückhalteraums am Rheintaler Binnenkanal im physikalischen Modellversuch

Arnd Hartlieb, Nicola Lutz, Roland Hollenstein und Sascha Weder

Zusammenfassung

An der Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München in Obernach wurde ein physikalisches Modell des geplanten Hochwasserrückhalteraums am Rheintaler Binnenkanal errichtet, um insbesondere den Befüllungs- und Entleerungsprozess bei verschiedenen Hochwasserszenarien zu untersuchen. Für die vollautomatisierte Simulation wurde das Modell mit eng gekoppelter Steuerungs- und Messtechnik ausgestattet. In den Versuchen wurden die Zu- und Abflüsse, die Wasserstände im Hochwasserrückhalteraum, die Verschlussöffnungen des Drosselbauwerks sowie der Unterwasserstand des Drosselbauwerks automatisch gesteuert bzw. in hoher zeitlicher Auflösung gemessen. Zusätzlich wurde die Entwicklung der Überflutungsflächen im Hochwasserrückhalteraum durch Kameras in senkrechter Perspektive erfasst.

1 Einleitung

Der Rheintaler Binnenkanal (RBK) wurde im Rahmen der Begradigung und Eindeichung des Alpenrheins Anfang des 20. Jahrhunderts errichtet. Er verläuft auf der orographisch linken, schweizerischen Seite parallel zum Alpenrhein und mündet wenige Kilometer vor dem Bodensee bei St. Margarethen in den Alten Rhein. In seinem etwa 23 km langen Verlauf nimmt er die linken Zuflüsse des Alpenrheins auf. Als wesentliches Element eines umfassenden Hochwasserschutzprojekts für den RBK ist ein Hochwasserrückhalteraum (HRR) südlich von Widnau geplant. Das erforderliche Dammbauwerk einschließlich des Drosselbauwerks in Form eines dreifeldrigen Schützwehrs soll unterhalb der Einmündung der Rietaach in den RBK errichtet werden.

Insbesondere für die Simulation des Befüllungs- und Entleerungsprozesses des HRR wurden physikalische und numerische Modelluntersuchungen durchgeführt. Zusätzlich wurden im physikalischen Modell der Zusammenfluss von RBK und Rietaach oberstrom des Drosselbauwerks, das Schwemholzverhalten am Rückhalteteich oberstrom des Drosselbauwerks und die Hydraulik des Drosselbauwerks untersucht. Als Bauherr des Projekts beauftragte der Zweckverband Rheintaler Binnenkanalunternehmen die Versuchsanstalt Obernach mit der Durchführung der physikalischen Modelluntersuchungen. Die Planung des Modells und die Durchführung der Versuche erfolgte in enger Abstimmung mit dem Planer, einer Planungsgemeinschaft der Ingenieurgesellschaften HOLINGER AG, NRP Ingenieure AG und B+S AG.

Abb. 1 zeigt das physikalische Modell mit teilgefülltem HRR. Als geometrischer Maßstab des nach dem Modellgesetz von Froude betriebenen Modells wurde 1:40 gewählt. Das Modell deckt mit einer Länge von 400 m (10 m im Modell) in Fließrichtung des RBK und einer maximalen Breite von 1,3 km (32,5 m im Modell) einen Großteil des HRR ab. Aufgrund des Maßstabs und der geringen Höhenunterschiede war die Genauigkeitsanforderung bei der Modellierung besonders hoch. Bei den geringen Fließtiefen und Überströmungshöhen im Modell muss man grundsätzlich davon ausgehen, dass die Oberflächenspannung nicht mehr zu vernachlässigen ist und sich in verfälschenden Maßstabeffekten bei der Übertragung der Versuchsergebnisse auf die Realität auswirkt.

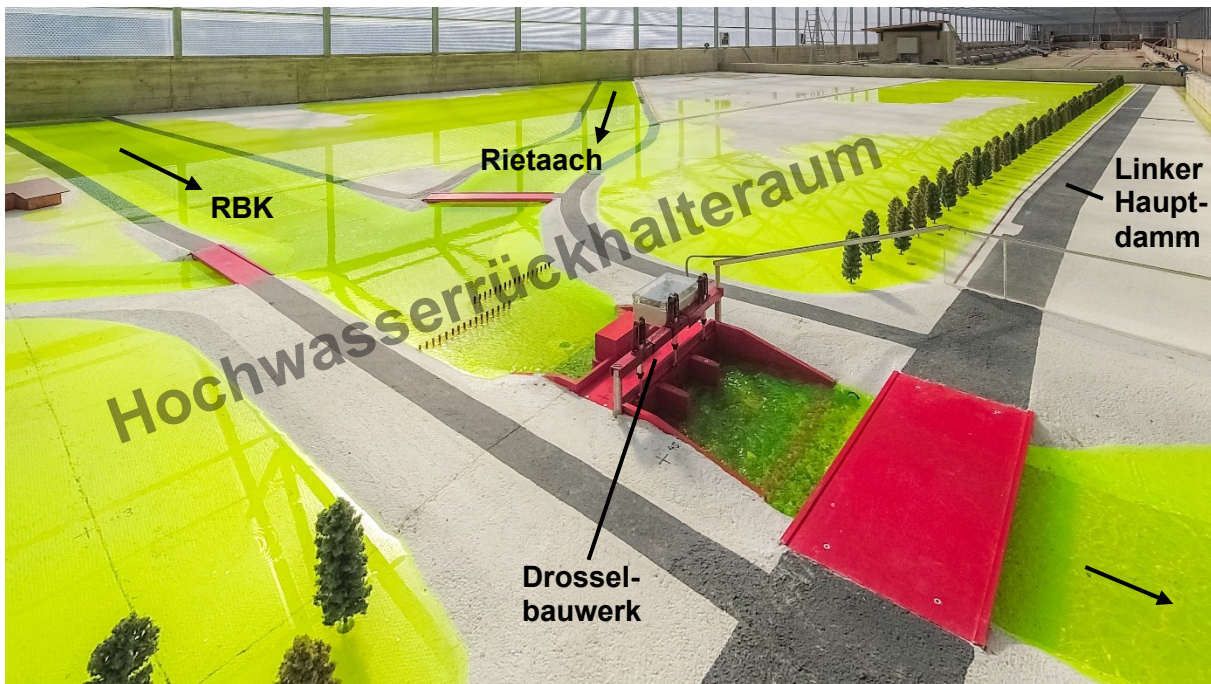


Abb. 1 Physikalisches Modell des geplanten Hochwasserrückhalteriums am Rheintaler Binnenkanal im teilgefüllten Zustand

2 Simulationsergebnisse im Lastfall HQ₁₀₀

2.1 Zufluss- und Abflussganglinien HQ₁₀₀

Einer der wichtigsten Lastfälle für den Modellversuch war das hundertjährige Hochwasserereignis HQ₁₀₀ im n-Fall des Drosselbauwerks. Vor dem Start der instationären Zuflussganglinien, die mit magnetisch induktiven Durchflussmessern und gekoppelten Motorschiebern gesteuert wurden, wurde ein stationärer Abflusszustand mit einem konstanten Gesamtzufluss $Q_{Zu} = 90 \text{ m}^3/\text{s}$ eingestellt. Der Gesamtzufluss war auf RBK und Rietaach gleichmäßig aufgeteilt ($Q_{Zu,RBK} = Q_{Zu,Rie} = 45 \text{ m}^3/\text{s}$). Bei diesem Gesamtzufluss kommt es noch zu keiner Drosselung am Drosselbauwerk und zu keinem Einstau im HRR. Allerdings wird eine Basisfüllung des Modells und der Messsysteme erreicht, ohne die es beispielsweise bei der Abflussmessung für das Drosselbauwerk zu einer zusätzlichen modellbedingten Verzögerung zwischen tatsächlichem (direkt am Drosselbauwerk) und gemessenem Abfluss (in einer Messrinne im Ablauf) kommen würde.

Aus dem stationären Abflusszustand erfolgte ein stetiger Übergang in die instationären Zuflussganglinien. Abb. 2 zeigt die Ganglinien der Zuflüsse von RBK $Q_{Zu,RBK}$ und Rietaach $Q_{Zu,Rie}$, des Gesamtzu- und -abflusses Q_{Zu} und Q_{Ab} während des einschlägigen Versuchs am 28.03.2022 sowie die Sollganglinie des Gesamtzuflusses $Q_{Zu,Soll}$ im Lastfall HQ₁₀₀ ab dem Beginn des instationären Zustands. Der Gesamtabfluss Q_{Ab} entspricht in diesem Fall dem Abfluss über das Drosselbauwerk. Der Versatz zwischen der etwas höher liegenden Ganglinie Q_{Zu} und der Ganglinie Q_{Ab} zu Beginn zeigt die unvermeidliche Modellundichtigkeit (in der Natur ca. $4 \text{ m}^3/\text{s}$, im Modell ca. $0,4 \text{ l/s}$). Mit im Diagramm enthalten ist auch die Ganglinie für die Öffnung a der drei synchron gesteuerten Schütze.

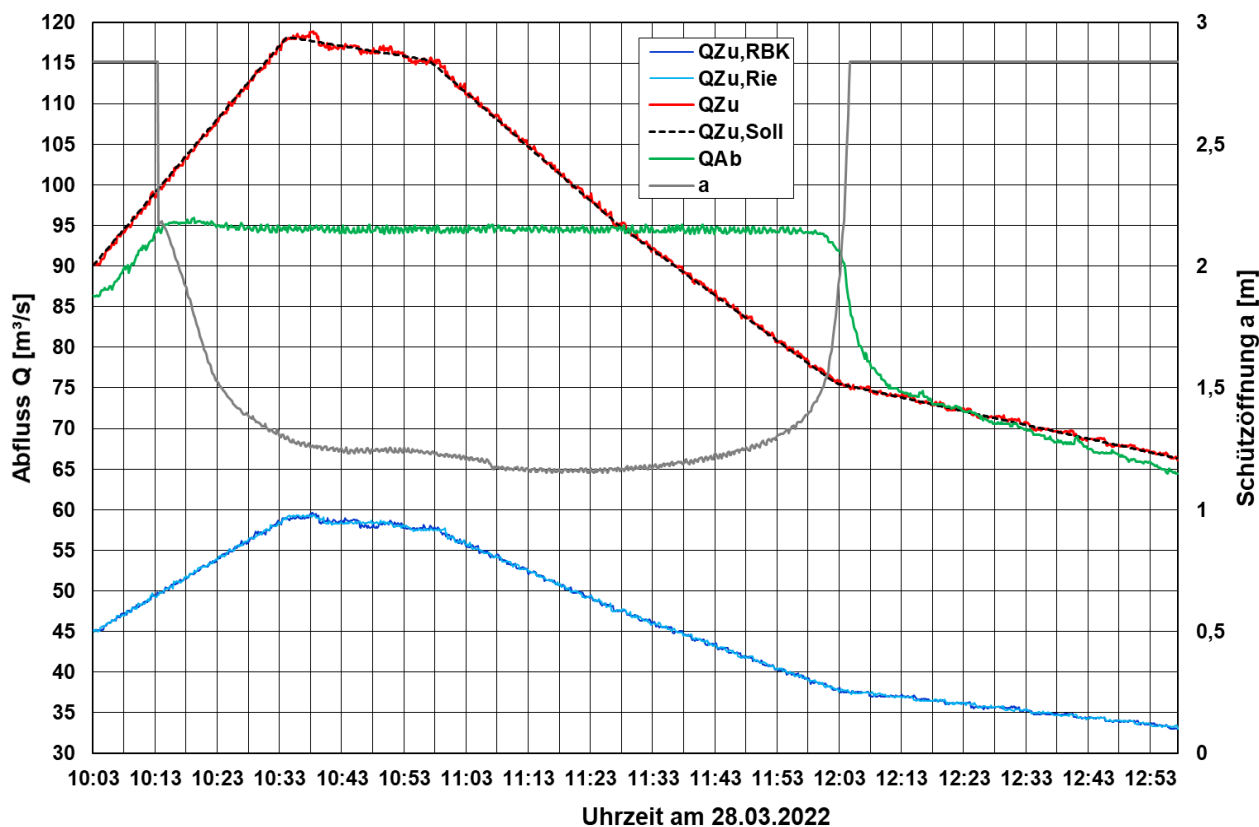


Abb. 2 Ganglinien der Zuflüsse von RBK $Q_{Zu,RBK}$ und Rietaach $Q_{Zu,Rie}$, des Gesamtzu- und -abflusses Q_{Zu} und Q_{Ab} sowie die Sollganglinie des Gesamtzuflusses $Q_{Zu,Soll}$ und die Ganglinie der Schützöffnung a (Versuch HQ₁₀₀ am 28.03.2022)

Die Sollganglinie der Zuflüsse von RBK $Q_{Zu,RBK}$ und Rietaach $Q_{Zu,Rie}$ wurde mit hoher Genauigkeit nachgefahren. Um ca. 10.15 Uhr erreichte der Gesamtabfluss Q_{Ab} , der in diesem Bemessungsfall während des gesamten Versuchs dem Abfluss über das Drosselbauwerk $Q_{Ab,Dr}$ entspricht, den Soll-Maximalwert $Q_{Ab,Dr} = 95 \text{ m}^3/\text{s}$. Bis ca. 10.23 Uhr überstieg der Gesamtabfluss Q_{Ab} geringfügig den Soll-Maximalwert und lag bei maximal $95,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Danach lag Q_{Ab} zwischen 94 und $95 \text{ m}^3/\text{s}$, bis um ca. 12.00 Uhr mit dem Ende der Drosselung das Absinken auf den Zufluss Q_{Zu} begann, der um ca. 12.12 Uhr bei ca. $75 \text{ m}^3/\text{s}$ erreicht wurde. Ab diesem Zeitpunkt sanken die Ganglinien des Gesamtzu- und -abflusses Q_{Zu} und Q_{Ab} bei annähernd gleichen Werten bis zum Versuchsende um ca. 12.57 Uhr ab.

2.2 Wasserstandsganglinien HQ₁₀₀

In Abb. 3 sind die Pegelstandorte in einen schematischen Lageplan des Modells eingetragen. An den Pegelstandorten befinden sich kreisförmige, offene Messstellen an der Modelloberfläche, die über unterirdische Verbindungsleitungen mit Standrohren verbunden sind. In den Standrohren wird der Wasserstand durch Laserdistanzmessung zu einem Schwimmkörper an der Wasseroberfläche (Tischtennisball) erfasst. Abb. 4 zeigt die Ganglinien der an den 13 Pegeln (P0-P12) gemessenen Wasserstände während des Versuchs am 28.03.2022. Mit im Diagramm enthalten ist auch die Ganglinie für die Öffnung a der drei synchron gesteuerten Schütze.

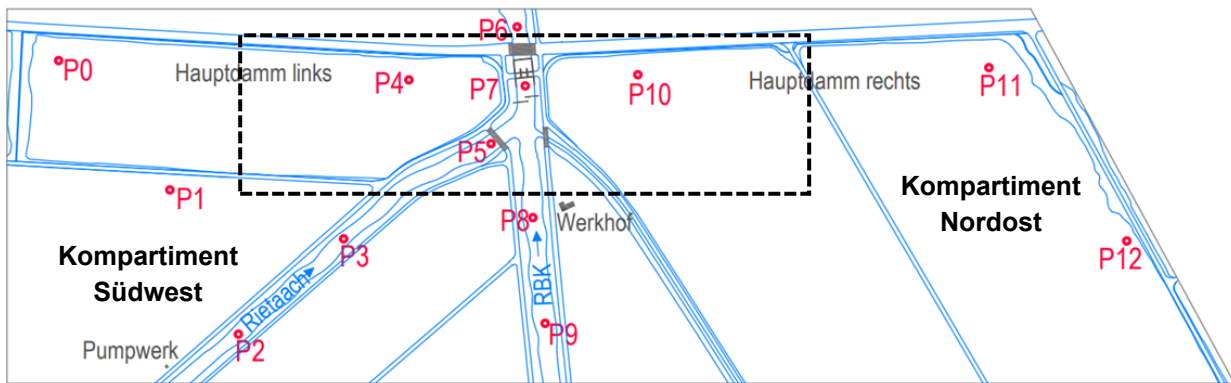


Abb. 3 Schematischer Lageplan des Modells mit den Pegelstandorten und dem von den Vertikalkameras erfassten Ausschnitt (schwarz gestrichelter Rahmen)

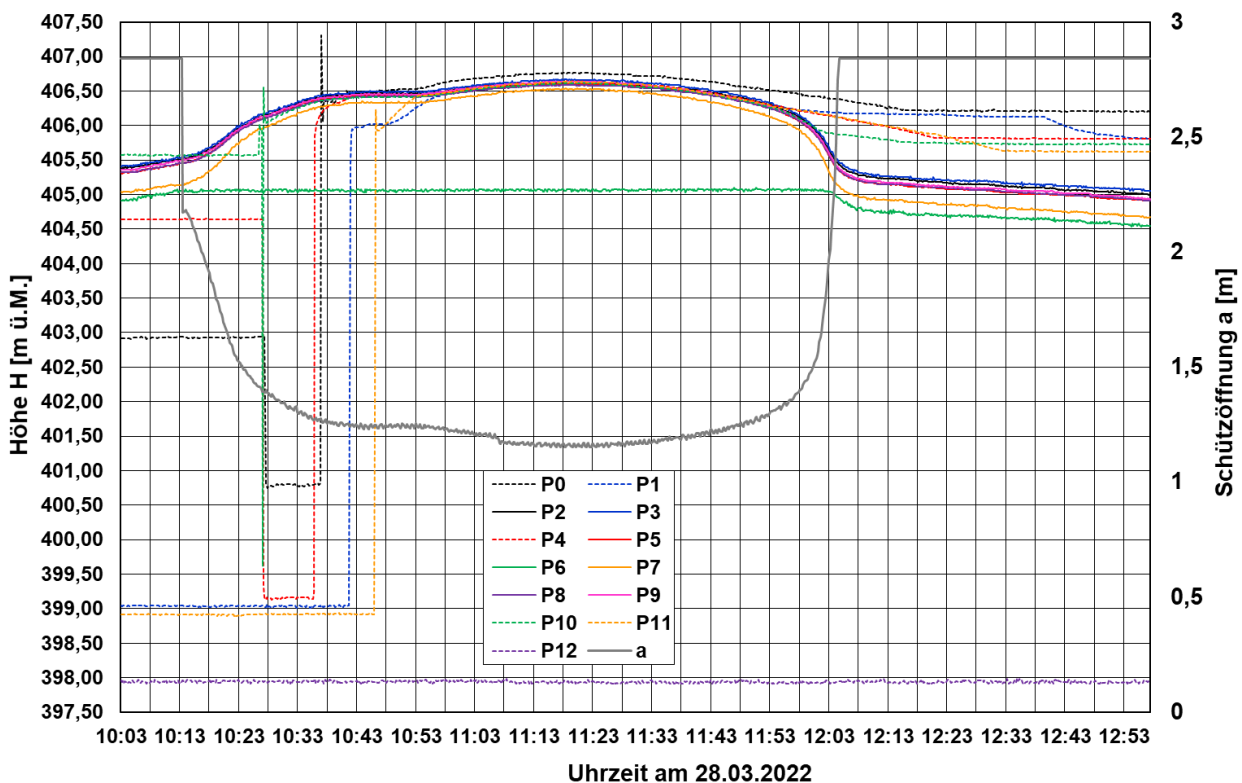


Abb. 4 Wasserstandsganglinien aller 13 Pegel und die Ganglinie der Schützöffnung a (Versuch HQ₁₀₀ am 28.03.2022)

Die Pegel in den permanent beaufschlagten Gewässern RBK und Rietaach zeigten von Beginn an realistische Wasserstände, die mit steigenden Zuflüssen bis zum Beginn der Drosselung um ca. 10.15 Uhr in ähnlichem Maße zunahm. Die Wasserstände in den Zuläufen von RBK (P9, P8) und Rietaach (P2, P3 und P5) lagen dabei auf sehr ähnlichem Niveau, während die beiden Pegel im RBK unterhalb des Zusammenflusses oberstrom (P7) und unterstrom (P6) des Drosselbauwerks um ca. 40 cm niedriger lagen. Dies ist bedingt durch den gegenseitigen Rückstau der Zuläufe bei diesen bereits hohen Zuflüssen und durch die Abflussbeschleunigung unterhalb des Zusammenflusses. Mit dem Beginn der Drosselung verharrte der Wasserstand am Pegel P6 entsprechend der vorgegebenen, unterstromigen Wasserstand-Abfluss-Beziehung auf einem Wasserstand von 405,08 m ü.M. bei annähernd konstantem Abfluss $Q_{Ab,Dr} = 95 \text{ m}^3/\text{s}$. Dagegen stieg der Wasserstand am Pegel P7 oberstrom des Drosselbauwerks mit Beginn der Drosselung

steil an und näherte sich den Wasserständen in den Zuläufen an, erreichte diese aber nie vollständig, da unmittelbar vor dem Drosselbauwerk auch bei maximalem Einstau die höchste Fließgeschwindigkeit im gesamten Rückhalteraum und ein entsprechend abgesenkter Wasserspiegel auftritt.

Die Pegel in den zu Beginn nicht eingestauten Bereichen zeigten zunächst modellbedingte Wasserstände ohne Bezug zur Realität, bis die jeweilige Messstelle beim Einstau vom steigenden Wasserstand erreicht wurde. Die Pegel P0, P4 und P10 wurden um ca. 10.27 Uhr noch einmal für sehr kurze Zeit entwässert. Pegel P10 wurde kurz vorher schon vom steigenden Wasserstand erreicht. Nach einem steilen Abfall und einem sofortigen druckstoßartigen Wiederanstieg des Messwerts aufgrund des schnellen Öffnens und Schließens des Entwässerungshahns pendelte sich der gemessene Wasserstand schnell auf einem realistischen Wert ein. Die Pegel P0 und P4 wurden erst einige Zeit nach dem Entwässern vom Wasser erreicht (um ca. 10.37 Uhr bzw. 10.36 Uhr) und erreichten mit (P0) und ohne einen Druckstoß (P4) beim Befüllen der Pegelleitungen realistische Werte. Als letztes „sprangen“ die Pegel P1 ohne Druckstoß (um ca. 10.42 Uhr) und P11 mit Druckstoß (um ca. 10.46 Uhr) an, die in den als letztes gefluteten Kompartimenten im Südwesten (P1) und Nordosten (P11) liegen (siehe Abb. 3). Pegel P12 liegt so hoch, dass er im Lastfall HQ₁₀₀ auch beim höchsten Wasserstand nicht erreicht wurde und dauerhaft einen modellbedingt unrealistischen, konstanten Wasserstand anzeigte.

Bei den Pegeln in RBK und Rietaach oberstrom des Drosselbauwerks und den schon angesprungenen Pegeln im Rückhalteraum zeigte sich von ca. 10.42 Uhr bis ca. 10.55 Uhr ein konstantes Wasserstandsniveau auf etwa 406,40 m ü.M. Auf dieser Kote liegt die Oberkante der Straßendämme, die die beiden oben schon genannten Kompartimente im Südwesten und Nordosten vom restlichen Rückhalteraum trennen. Im genannten Zeitraum wurden diese Straßendämme mit geringer Fließtiefe und auf großer Länge überströmt, so dass der weitere Wasserstandsanstieg in den Hauptkompartimenten erst wieder erfolgte, nachdem der Wasserstand in den genannten Kompartimenten das Niveau im übrigen Rückhalteraum erreicht hatte.

Um ca. 11.23 Uhr war der maximale Wasserstand im Stauraum von im Mittel 406,50 m ü.M. erreicht. Diese Kote entspricht der Oberkante des niedrigsten Dammabschnitts, der gerade nicht überströmt wurde. Damit wurde die Bemessungsanforderung für den HRR genau erfüllt. Zu diesem Zeitpunkt wurden insgesamt sieben der im Modell angeordneten Entwässerungsschächte entlang des Hauptdamms geöffnet. Die Wasserstände im Rückhalteraum begannen langsam zu sinken. Mit dem Ende der Abflussdrosselung um ca. 12.00 Uhr sanken die Wasserstände in den permanent beaufschlagten Gewässern RBK und Rietaach stark, jetzt auch wieder derjenige am Pegel P6 unterstrom des Drosselbauwerks. Die Wasserstände in den nur im Hochwasserfall eingestauten Bereichen des Hochwasserrückhalteraus sanken langsamer ab und verharrten früher oder später konstant auf dem Sohlniveau an der Messstelle. Auffällig ist die Ganglinie des Wasserstands am Pegel P1. Bis ca. 12.39 Uhr war schon über längere Zeit ein konstantes Niveau erreicht, das ab diesem Zeitpunkt plötzlich abfiel. Der Grund war die Öffnung der im Modell angeordneten beiden Binnenentwässerungsschächte des südwestlichen Kompartiments, in dem P1 liegt.

2.3 Befüllungsprozess HQ₁₀₀

Der Befüllungsprozess wurde für einen 15 m langen und 5 m breiten Streifen vor dem Drosselbauwerk und entlang der Hauptdämme durch drei Industriekameras aus senkrechter Perspektive mit einem einminütigen Aufnahmeintervall erfasst (siehe Abb. 3). Durch die Einfärbung des Wassers mit einem gelbgrünen Farbstoff ist der Befüllungsprozess gut zu erkennen. Abb. 5 zeigt Aufnahmen der mittleren Kamera in der Anfangsphase der Befüllung. Die angegebenen Uhrzeiten entsprechen der Modellzeit der Ganglinien.

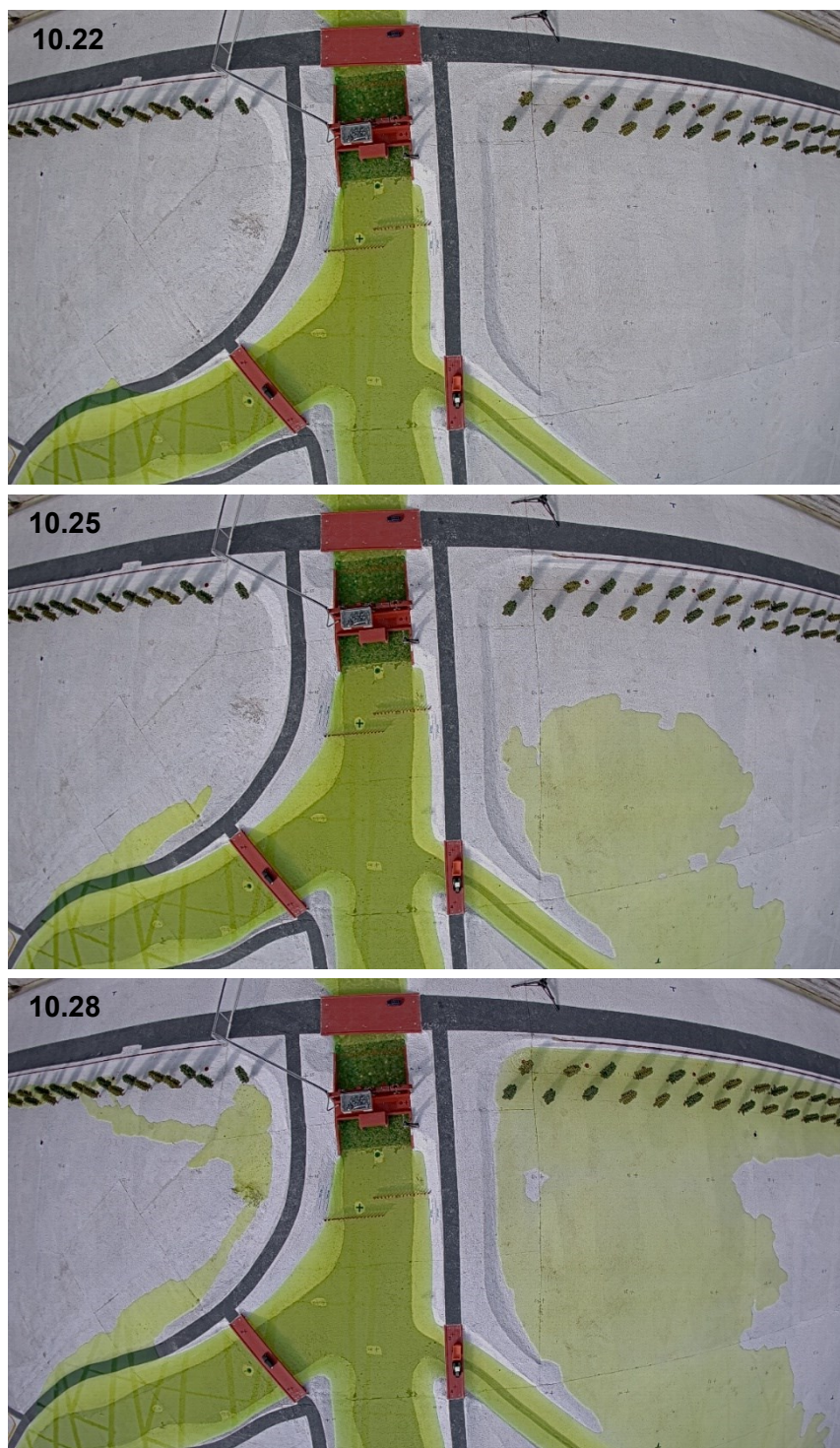


Abb. 5 Aufnahmen der mittleren Vertikalkamera in der Anfangsphase der Befüllung (Versuch HQ₁₀₀ am 28.03.2022)

2.4 Speicherinhaltslinie HQ₁₀₀

Aus den Pegel­daten und der aufsummierten Differenz von Gesamtzu- Q_{Zu} und -abfluss Q_{Ab} des Versuchs für den Lastfall HQ₁₀₀ am 28.03.2022 lässt sich die Speicherinhaltslinie des HRR ermitteln. Abb. 6 zeigt die Speicherinhaltslinie, die sich für den Bezugspegel P7 oberstrom des Drosselbauwerks und für die Daten von Q_{Zu} und Q_{Ab} ergibt, wenn eine konstante Modellundichtheit von 0,4 l/s (in der Natur 4 m³/s) zugrunde gelegt wird.

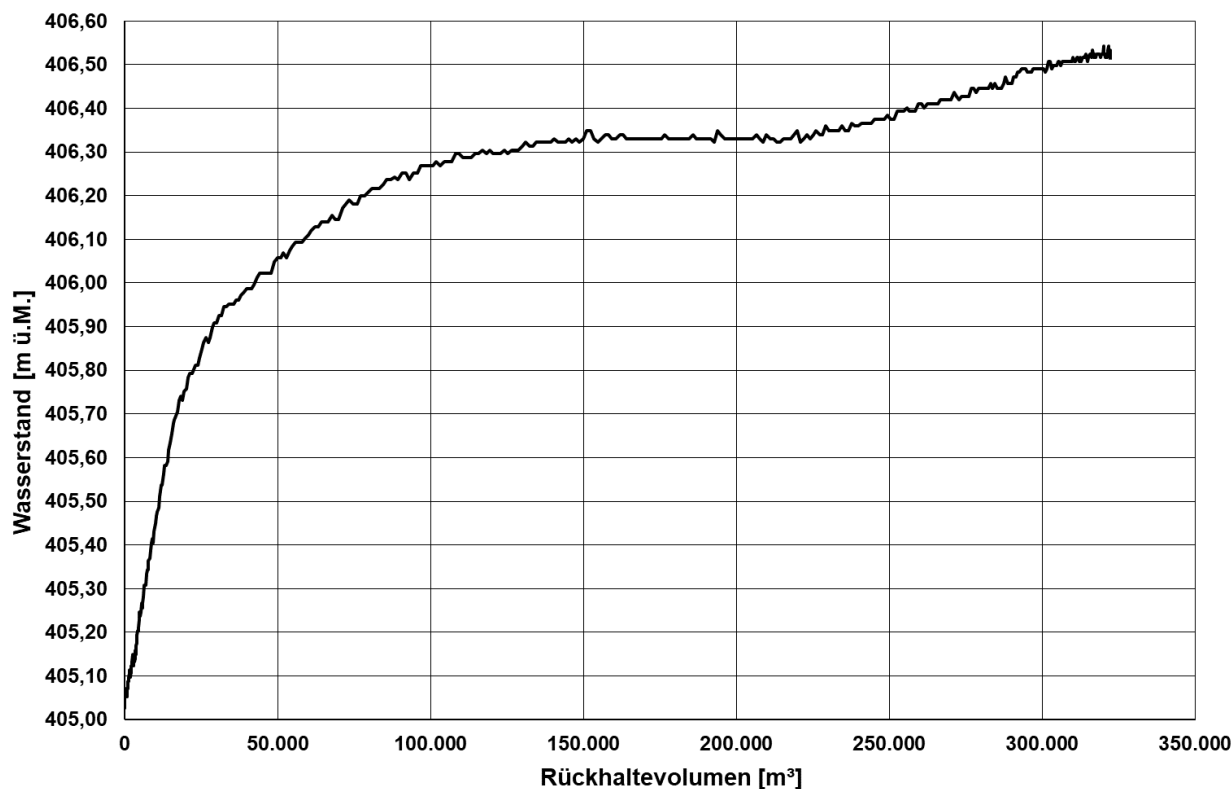


Abb. 6 Speicherinhaltslinie des HRR für den Bezugspegel P7 und die Differenz von Gesamtzu- Q_{Zu} und -abfluss Q_{Ab} unter Berücksichtigung einer konstanten Modellundichtheit von 0,4 l/s (in der Natur 4 m³/s) (Versuch HQ₁₀₀ am 28.03.2022)

Das Rückhaltevolumen im Modell beträgt bei einem Wasserstand am Pegel P7 von 406,50 m ü.M. umgerechnet auf Naturmaße etwa 305.000 m³. Auffällig an der Speicherinhaltslinie ist der horizontale Verlauf auf dem Wasserstandsniveau von etwa 406,33 m ü.M. am Pegel P7, der sich aus der Überströmung der Straßendämme mit geringer Fließtiefe und auf großer Länge ergibt, die die Kompartimente im Südwesten und Nordosten vom restlichen Rückhalte­raum trennen. Dies steht in guter Übereinstimmung mit der Wasserstandsganglinie für den Pegel P7 (siehe Abb. 4).

2.5 Ganglinie Schützöffnung HQ₁₀₀

Die Ganglinie der Öffnung a der drei synchron gesteuerten Schütze während des Versuchs für den Lastfall HQ₁₀₀ am 28.03.2022 ist in Abb. 2 und Abb. 4 enthalten. Sie zeigt zu Beginn die Grundeinstellung der Schütze in der maximalen Öffnung $a = 2,84$ m. Sobald um ca. 10.14 Uhr der im Modell festgelegte Schwellenwert $Q_{Ab,Dr} = 94,5$ m³/s erreicht war, gingen die Schütze in eine Art Bereitschaftsstellung mit $a = 2,17$ m. Um ca. 10.15 Uhr begann mit dem Erreichen des Soll-Maximalwerts $Q_{Ab,Dr} = 95$ m³/s die Abflussdrosselung durch eine zügige Verringerung der

Schützöffnung a , um den Abfluss über das Drosselbauwerk, der in diesem Bemessungsfall während des gesamten Versuchs dem Gesamtabfluss Q_{Ab} entsprach, bei rasant steigenden Wasserständen im Rückhalteraum annähernd konstant zu halten. Mit dem Erreichen des annähernd konstanten Wasserstandsniveaus auf etwa 406,40 m ü.M. blieb auch die Schützöffnung a mit ca. 1,24 m in etwa konstant, bis mit dem weiteren Anstieg des Wasserstands im Stauraum auf das Maximum von im Mittel 406,50 m ü.M. die Schützöffnung ein Minimum a von ca. 1,15 m erreichte. Mit sinkenden Wasserständen im Stauraum nahm auch die Schützöffnung a zunächst langsam, dann immer schneller zu, bis um ca. 12.05 Uhr kurz nach dem Ende der Drosselung wieder die maximale Öffnung von $a = 2,84$ m erreicht war.

3 Simulationsergebnisse im Lastfall HQ₃₀₀

3.1 Zufluss- und Abflussganglinien HQ₃₀₀

Als Überlastfall wurde im Modell das dreihundertjährige Hochwasserereignis HQ₃₀₀ im n-Fall des Drosselbauwerks untersucht. Abb. 7 zeigt die Ganglinien der Zuflüsse von RBK $Q_{Zu,RBK}$ und Rietaach $Q_{Zu,Rie}$, des Gesamtzuflusses Q_{Zu} und die Sollganglinie des Gesamtzuflusses $Q_{Zu,Soll}$ während des einschlägigen Versuchs am 28.04.2022. Außerdem sind darin die Ganglinien des Abflusses über das Drosselbauwerk $Q_{Ab,Dr}$, des Abflusses über den niedrigeren linken Hauptdamm Dammsabschnitt $Q_{Ab,Da}$ und als Summe aus beiden die Ganglinie des Gesamtabflusses Q_{Ab} dargestellt. Mit im Diagramm enthalten ist auch die Ganglinie für die Öffnung a der drei synchron gesteuerten Schütze.

Um ca. 10.19 Uhr begann die Überströmung des linken Hauptdamms, die sich im markanten Anstieg der Abflussganglinien $Q_{Ab,Da}$ und des Gesamtabflusses Q_{Ab} niederschlug. Um ca. 10.35 Uhr erreichten beide Ganglinien ihre Maxima: die Ganglinie für den Abfluss über den linken Hauptdamm bei ca. 60 m³/s und diejenige für den Gesamtabfluss bei ca. 155 m³/s (60 m³/s + 95 m³/s). D.h. die Abflussspitze des Gesamtzuflusses, die um ca. 10.32 Uhr mit 170,8 m³/s erreicht wurde, wurde durch den Rückhalt um nur noch ca. 15 m³/s gedämpft und um ca. 3 min (in der Natur ca. 19 min) verzögert. Erst um ca. 12.31 Uhr endete die Überströmung des linken Hauptdamms und erreichte der entsprechende Abfluss $Q_{Ab,Da}$ wieder das Niveau eines sehr niedrigen Sockelabflusses von unter 2 m³/s (im Modell 0,2 l/s), der der Modellundichtigkeit geschuldet ist. Ab diesem Zeitpunkt entsprach dann der Gesamtabfluss Q_{Ab} wieder annähernd dem Abfluss über das Drosselbauwerk $Q_{Ab,Dr}$. Etwas früher, um ca. 12.24 Uhr begann mit dem Ende der Drosselung das Absinken des Abflusses Q_{Ab} auf den Zufluss Q_{Zu} , der um ca. 12.44 Uhr bei ca. 80 m³/s erreicht wurde. Ab diesem Zeitpunkt sanken die Ganglinien des Gesamtzu- und -abflusses Q_{Zu} und Q_{Ab} bei annähernd gleichen Werten bis zum Versuchsende um ca. 14.16 Uhr ab.

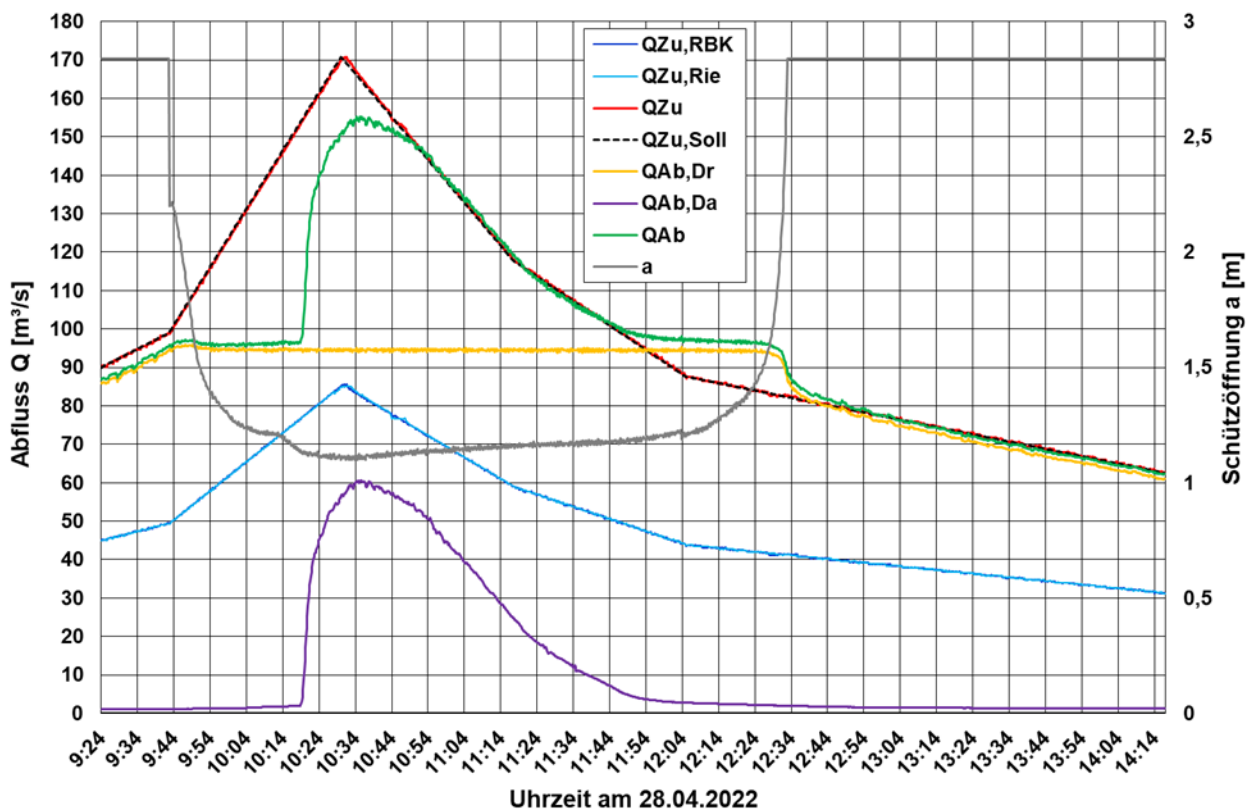


Abb. 7 Ganglinien der Zuflüsse von RBK $Q_{Zu,RBK}$ und Rietaach $Q_{Zu,Rie}$, des Gesamtzufusses Q_{Zu} , Sollganglinie des Gesamtzufusses $Q_{Zu,Soll}$, Ganglinien des Abflusses über das Drosselbauwerk $Q_{Ab,Dr}$, des Abflusses über den linken Hauptdamm $Q_{Ab,Da}$, des Gesamtabflusses Q_{Ab} und der Schützöffnung a (Versuch HQ_{300} am 28.04.2022)

3.2 Wasserstandsganglinien HQ_{300}

Abb. 8 zeigt die Ganglinien der an den 13 Pegeln (P0-P12) gemessenen Wasserstände während des Versuchs am 28.04.2022 (Pegelstandorte siehe Abb. 3). Mit im Diagramm enthalten ist auch die Ganglinie für die Öffnung a der drei synchron betriebenen Schütze.

Im Versuch für den Lastfall HQ_{300} wurden die Pegel in den zu Beginn nicht eingestauten Bereichen vor dem Versuch und nicht während der schon laufenden Messdatenaufzeichnung entwässert. Dementsprechend zeigten diese Pegel zunächst sehr niedrige, modellbedingte Wasserstände ohne Bezug zur Realität an, um dann schlagartig (mit oder ohne Druckstoß) auf realistische Werte anzusteigen, sobald sie vom steigenden Wasserstand erreicht wurden. Im Lastfall HQ_{300} wurde kurz vor dem Erreichen des maximalen Wasserstands auch der höchstgelegene Pegel P12 erreicht, der dann beim Sinken des Wasserstands als erstes wieder auf dem Sohlniveau an der Messstelle verharrte.

Um ca. 10.35 Uhr wurde der maximale Wasserstand im Stauraum von im Mittel 406,75 m ü.M. gemessen. Gleichzeitig erreichten bedingt durch die dann maximale Überströmungshöhe des linken Hauptdamms der Abfluss über diesen und der Gesamtabfluss den höchsten Wert (siehe Kap. 3.1). Gemäß der Bemessungsanforderung wurde der rechte Hauptdamm mit einer Oberkante auf 406,75 m ü.M. gerade nicht überströmt. Um 12.05 Uhr wurden die gleichen sieben Entwässerungsschächte wie im Lastfall HQ_{100} geöffnet und um 12.10 Uhr die beiden Binnenentwässerungsschächte des südwestlichen Kompartiments.

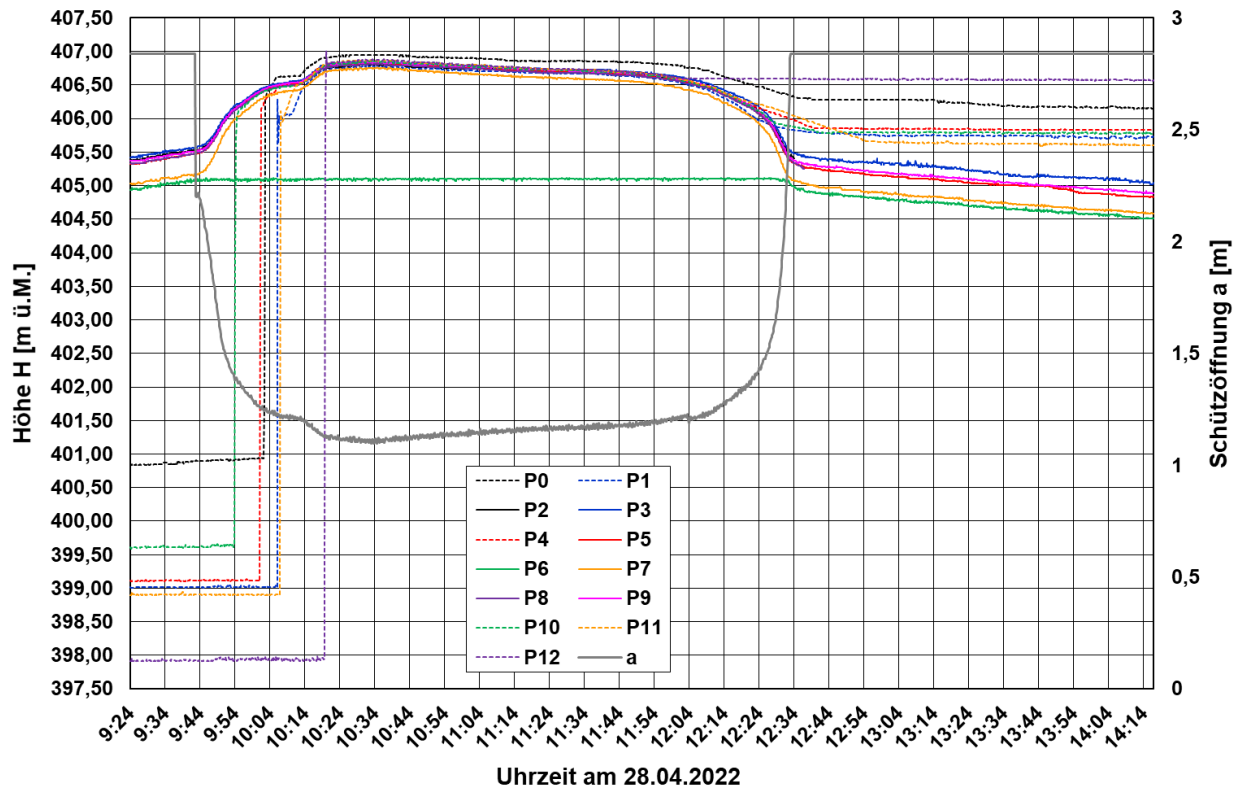


Abb. 8 Wasserstandsganglinien aller 13 Pegel und die Ganglinie der Schützöffnung a (Versuch HQ₃₀₀ am 28.04.2022)

3.3 Ganglinie Schützöffnung HQ₃₀₀

Die Ganglinie der Öffnung a der drei synchron gesteuerten Schütze während des Versuchs für den Lastfall HQ₃₀₀ am 28.04.2022 ist in Abb. 7 und Abb. 8 enthalten. Der qualitative Verlauf ist demjenigen für HQ₁₀₀ sehr ähnlich. Allerdings war die minimale Schützöffnung a mit ca. 1,10 m wegen des um 25 cm höheren maximalen Wasserstands im Stauraum bei gleichem Abfluss über das Drosselbauwerk um ca. 5 cm kleiner als für HQ₁₀₀.

Anschrift der Verfasser

Apl. Prof. Dr. Arnd Hartlieb
 Versuchsanstalt für Wasserbau, TU München
 Obernach 15, D-82432 Walchensee
 arnd.hartlieb@tum.de

Nicola Lutz, Dr. Roland Hollenstein
 NRP Ingenieure AG
 Else-Züblin-Straße 85h, CH-8404 Winterthur
 nicola.lutz@nrpag.ch, roland.hollenstein@nrpag.ch

Sascha Weder
 Zweckverband Rheintaler Binnenkanalunternehmen
 Gemeindeplatz 1, CH-9444 Diepoldsau
 sascha.weder@diepoldsau.ch