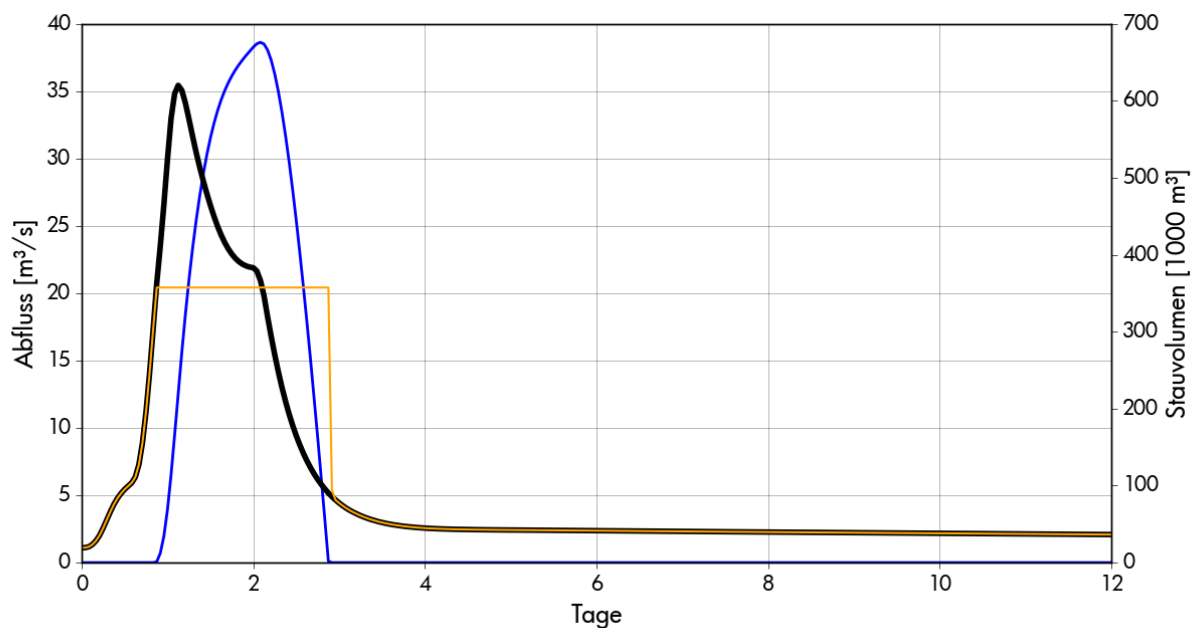


Untersuchung der exemplarischen Wirkung von fiktiven Rückhaltebecken an Gewässern im Einzugsgebiet auf den Hochwasserscheitel an der Donau im Vergleich zur Wirkung geplanter Flutpolder mittels Wasserhaushaltsmodell LARSIM



Auftraggeber: Bayerisches Landesamt für Umwelt

Bearbeitung: Dipl.-Hyd. Mario Böhm (M. Sc.)
Dipl.-Ing. Patrick Preuß
Irina Rohrmüller B. Sc.
Tim Trautmann M. Sc.
Dr.-Ing. Ingo Haag

Stand: Schlussbericht vom 26.03.2018

Untersuchung der exemplarischen Wirkung von fiktiven Rückhaltebecken an Gewässern im Einzugsgebiet auf den Hochwasserscheitel an der Donau im Vergleich zur Wirkung geplanter Flutpolder mittels Wasserhaushaltsmodell LARSIM

Inhalt	Seite
Abkürzungsverzeichnis	1
Zusammenfassung	2
1. Hintergrund und Zielsetzung.....	7
2. Festlegung und Bemessung der fiktiven HRB	10
2.1 Überblick	10
2.2 Festlegung der 300 HRB-Standorte	10
2.3 Durchführung des KOSTRA-N ₁₀₀ -Bemessungslaufs.....	16
2.4 Festlegung der HRB-Rückhaltevolumina	17
2.5 Festlegung der HRB-Drosselabflüsse	18
3. Einbau der fiktiven HRB in das LARSIM-Modell.....	19
4. Durchführung der LARSIM-Simulationen	20
4.1 Berücksichtigung des Flutpoldereinsatzes bei den Simulationen.....	20
4.2 Simulationen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet A	24
4.2.1 KOSTRA-N ₁₀₀ -Ereignis.....	24
4.2.2 HW-Ereignis vom Typ „April 1994“	24
4.2.3 HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“	26
4.3 Simulationen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet B.....	28
4.3.1 HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“	28
4.3.2 HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“	30
4.4 Simulationen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet C	32
4.4.1 HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“	32
4.4.2 HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“	33
5. Auswertung der LARSIM-Simulationen.....	35
5.1 Auswertungen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet A	35
5.1.1 Ergebnisse des KOSTRA-N ₁₀₀ -Ereignisses	35
5.1.2 Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „April 1994“	39
5.1.3 Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (A)“	44
5.2 Auswertungen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet B.....	49

5.2.1	Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (B)“	49
5.2.2	Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“	57
5.3	Auswertungen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet C	65
5.3.1	Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „Januar 2011“	65
5.3.2	Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“	72
6.	Fazit	81

Abkürzungsverzeichnis

AG.....	Auftraggeber
AN.....	Auftragnehmer
DONW	Pegel Donauwörth/Donau
DWD.....	Deutscher Wetterdienst
EZG	Einzugsgebiet
FP	Flutpolder
HQ ₁₀₀	100-jährlicher Hochwasserabfluss
HRB.....	Hochwasserrückhaltebecken
HW.....	Hochwasser
KELH	Pegel Kelheim/Donau
KOSTRA ...	Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung des DWD
LARSIM.....	Large Area Runoff Simulation Model
LAWA.....	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
LfU	Bayerisches Landesamt für Umwelt
N ₁₀₀	100-jährlicher Niederschlag
Q _{gem}	gemessener Abfluss
Q _{sim}	simulierter Abfluss
STRB.....	Pegel Straubing/Donau
TGB.....	Teilgebiete

Zusammenfassung

Im Zuge der Flutpolderplanungen an der bayerischen Donau wurde die Frage aufgeworfen, ob das Hochwasserrisiko statt mit Flutpoldern direkt an der Donau alternativ mit vielen Hochwasserrückhaltemaßnahmen in den Oberläufen der seitlichen Donauzuflüsse reduziert werden könne. Ziel der Untersuchungen war daher, die Wirkung einer größeren Anzahl fiktiver Hochwasserrückhaltebecken (HRB) an den Gewässern im Einzugsgebiet auf sehr große Hochwasserabflüsse der Donau exemplarisch darzustellen und mit der Wirkung von Flutpoldern an der Donau zu vergleichen. Die simulierten Hochwasserabflüsse sollten die Bemessungsabflüsse der Hochwasserschutzanlagen an der Donau dabei deutlich übersteigen (Überlastfall), da erst dann ein Flutpoldereinsatz vorgesehen ist. Die Untersuchungen wurden mit LARSIM durchgeführt, einem Wasserhaushaltsmodell mit hoher räumlicher (1x1 km) und zeitlicher (1 h) Auflösung. Das Untersuchungsgebiet erstreckte sich dabei auf das gesamte Donaugebiet oberhalb des Pegels Straubing, wobei folgende drei Projektgebiete, in denen jeweils im untersten Donauabschnitt ein Überlastfall angenommen wurde, betrachtet wurden:

- Projektgebiet A: Donau-EZG bis zum Zielpiegel Donauwörth/Donau
- Projektgebiet B: Donau-EZG bis zum Zielpiegel Kelheim/Donau
- Projektgebiet C: Donau-EZG bis zum Zielpiegel Straubing/Donau

Um einen Wirkungsvergleich „HRB im EZG“ gegenüber „Flutpoldern“ durchführen zu können, sollten im bayerischen Teil des EZG im Projektgebiet A sowie bei den anderen jeweils hinzukommenden Teileinzugsgebieten je 100 fiktive HRB angenommen werden, deren Rückhaltevolumina in der Summe dem vorgesehenen Rückhaltevolumen der im entsprechenden Donauabschnitt geplanten Flutpolder entspricht.

Als hydrologische Szenarien für die Wirkungsanalysen mittels LARSIM-Simulationen wurden für die drei Projektgebiete A, B und C folgende Niederschlagsereignisse als Input verwendet:

Projektgebiet A

- Ein flächendeckender KOSTRA-Bemessungsniederschlag mit einer Jährlichkeit von 100 a und einer Dauerstufe von 48 h
- Ein hochskaliertes Ereignis vom Typ „April 1994“ (basierend auf den Niederschlagsmessungen beim HW-Ereignis vom April 1994)
- Ein hochskaliertes Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“ (basierend auf den Niederschlagsmessungen beim HW-Ereignis vom Mai 1999)

Projektgebiet B

- Ein hochskaliertes Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ (basierend auf den Niederschlagsmessungen beim HW-Ereignis vom Mai 1999)
- Ein hochskaliertes Ereignis vom Typ „Juni 2013“ (basierend auf den Niederschlagsmessungen beim HW-Ereignis vom Juni 2013)

Projektgebiet C

- Ein hochskaliertes Ereignis vom Typ „Januar 2011“ (basierend auf den Niederschlagsmessungen beim HW-Ereignis vom Januar 2011)
- Ein hochskaliertes Ereignis vom Typ „Juni 2013“ (basierend auf den Niederschlagsmessungen beim HW-Ereignis vom Juni 2013)

Die auf historischen Niederschlägen basierenden HW-Ereignisse wurden stets so hochskaliert, dass am jeweiligen Zielpiegel ein sehr großes Hochwasserereignis im Bereich eines HQ₂₀₀ bis HQ₅₀₀ auftrat.

Für die vorliegende, rein hypothetische Untersuchung wurden die 300 fiktiven Beckenstandorte in den bayerischen Einzugsgebieten der Projektgebiete A, B und C ohne Planungsbezug ins Modell eingebaut (d. h. keine Berücksichtigung lokaler Notwendigkeit, Topographie, Umsetzbarkeit etc.). Dabei wurden die HRB-Standorte so festgelegt, dass sie zum einen „parallel geschaltet“ sind (d. h. pro Gewässer nur ein HRB) und zum anderen eine möglichst große Einzugsgebietsfläche abdecken (in Summe ca. 70 % der jeweiligen bayerischen Einzugsgebiete oberhalb der drei Zielpiegel).

Auf Basis des oben genannten KOSTRA-Niederschlags (N₁₀₀; 48h Dauerstufe) wurde für das gesamte Untersuchungsgebiet (Projektgebiete A – C) ein einheitliches Szenario für die Beckenbemessung abgeleitet.

Die ermittelten Ganglinien des KOSTRA-Bemessungsereignisses an den insgesamt 300 fiktiven Beckenstandorten waren Grundlage für die Bestimmung der jeweiligen Rückhaltevolumina. Zur Verfügung standen im jeweiligen Projektgebiet folgende Volumina (= summarisches Rückhaltevolumen der pro Donauabschnitt vorgesehenen Flutpolder):

- Donauabschnitt I: 51,0 Mio. m³ (3 Flutpolder) bis zum Pegel Donauwörth
- Donauabschnitt II: weitere 46,8 Mio. m³ (4 Flutpolder) bis zum Pegel Kelheim
- Donauabschnitt III: weitere 45,8 Mio. m³ (3 Flutpolder) bis zum Pegel Straubing

Diese Rückhaltevolumina wurden relativ zu den Füllen der Bemessungsganglinien auf die jeweils 100 HRB-Standorte im Projektgebiet A bzw. in den jeweils hinzukommenden Teileinzugsgebieten der anderen Projektgebiete verteilt. Mit Hilfe der Ganglinien an den Beckenstandorten wurden auch die standortspezifischen Drosselabflüsse so bestimmt, dass das jeweilige Rückhaltevolumen gerade vollständig ausgenutzt wird (lokal optimierte Scheitelkappung).

Die nachfolgenden LARSIM-Simulationen wurden mit den oben beschriebenen Niederschlagsereignissen durchgeführt, einmal für den Status-Quo ohne HRB (Szenario 0), einmal mit den 100 bis 300 HRB je nach Projektgebiet (Szenario 1) und einmal unter Einsatz der je nach Ausprägung des Hochwasserereignisses an der Donau aktivierbaren Flutpolder (Szenario 2). Das in erster Linie zur Bemessung der HRB erzeugte KOSTRA-Ereignis ist dabei ein rein hypothetisches Ereignis. Das Auftreten eines flächendeckenden hundertjährigen 48h-Niederschlags im gesamten Untersuchungsgebiet ist unrealistisch. Die Abflüsse stiegen dabei wie erwartet in großen Einzugsgebieten auf extreme Werte an (z. B. am Pegel Donauwörth bereits deutlich über HQ₁₀₀₀). Dieses Ereignis wurde aber für das Projektgebiet A trotzdem simuliert und hinsichtlich der Beckenwirkung ausgewertet, da bei ihm alle 100 HRB lokal optimal in vollem Umfang wirken, d. h. das Retentionsvolumen von 51,0 Mio. m³ innerhalb des Projektgebiets A in Gänze eingesetzt wird.

Ergebnisse der Simulationen im Projektgebiet A

Im Szenario 0 ohne HRB wurden mit dem KOSTRA-Niederschlag am Pegel Donauwörth/Donau Scheitelabflüsse von 1 956 m³/s (gut HQ₁₀₀₀) erreicht. Mit den beiden skalierten historischen Ereignissen ergaben sich Scheitelabflüsse von 1 677 m³/s bzw. 1 670 m³/s (jeweils ca. HQ₄₀₀). Theoretisch könnten mit 51,0 Mio. m³ Rückhaltevolumen, indem man von den Ganglinien am Pegel Donauwörth/Donau jeweils die Spitze in dieser Größenordnung entfernt, maximale Spitzenkappungen von ca. 330 m³/s (17 %) für das KOSTRA-Ereignis, von ca. 450 m³/s (27 %) für

das Ereignis vom Typ „April 1994“ und von ca. 440 m³/s (26 %) für das Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“ erzielt werden.

Im Szenario 1 konnten durch den Einsatz der 100 fiktiven HRB im Projektgebiet A die HW-Scheitel an den Zuflüssen z. T. deutlich reduziert werden. Auf die HW-Scheitel an der Donau hatten die 100 HRB aber nur einen vergleichsweise geringen Einfluss. So wurden am Zielpegel Donauwörth/Donau die HW-Scheitel wie folgt reduziert:

- KOSTRA-Ereignis: Von 1 956 m³/s auf 1 901 m³/s (55 m³/s bzw. 2,8 % gegenüber theoretisch max. möglichen 17 %)
- Ereignis vom Typ „April 1994“: Von 1 677 m³/s auf 1 596 m³/s (81 m³/s bzw. 4,8 % gegenüber theoretisch max. möglichen 27 %)
- Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“: Von 1 670 m³/s auf 1 605 m³/s (65 m³/s bzw. 3,9 % gegenüber theoretisch max. möglichen 26 %)

Da die Frage, wie die im Bereich donauparalleler Aueströme vorgesehenen Flutpolder bei einem lokalen Überlastfall in effektiver Kombination eingesetzt werden sollen, zum Zeitpunkt dieser Untersuchung noch in Diskussion war, wurde keine Simulation der Wirkung der im Donauabschnitt I geplanten Flutpolder durchgeführt. Im Rahmen der „Vertieften Wirkungsanalyse zu Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“ hat die Technische Universität München aber die Wirkung von Flutpoldern bei Hochwasserereignissen in einer ähnlichen Größenordnung mit einem 2D-hydraulischen Modell untersucht. Dabei konnte im Ergebnis beispielsweise allein durch eine nahezu horizontale Kappung am Flutpolder Neugeschüttwörth B (32 Mio. m³) eine Scheitelreduktion am Pegel Donauwörth um 234 m³/s bzw. 13,9 % erreicht werden. Der entsprechende Schlussbericht liegt beim AG vor.

Ergebnisse der Simulationen im Projektgebiet B

Im Szenario 0 ohne HRB wurden beide ausgewählten HW-Ereignisse auf einen Scheitelabfluss von ca. 2 530 m³/s am Zielpegel Kelheim/Donau hochskaliert. Diese Hochskalierung entsprach in beiden Fällen dem Erreichen von Spitzenabflüssen im Bereich eines HQ₃₀₀₋₄₀₀.

Im Szenario 1 konnten durch den Einsatz der insgesamt 200 fiktiven HRB die HW-Scheitel an den Zuflüssen z. T. deutlich reduziert werden. Auf die HW-Scheitel an der Donau hatten die 200 HRB aber, analog zum Projektgebiet A, nur einen vergleichsweise geringen Einfluss. So konnten am Zielpegel Kelheim/Donau folgende HW-Scheitelreduzierungen erzielt werden:

- Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“: Von 2 525 m³/s auf 2 488 m³/s (37 m³/s bzw. 1,5 % gegenüber theoretisch max. möglichen 25 %)
- Ereignis vom Typ „Juni 2013“: Von 2 525 m³/s auf 2 512 m³/s (13 m³/s bzw. 0,5 % gegenüber theoretisch max. möglichen 23 %)

Durch den optimalen Einsatz von 5 der 7 geplanten Flutpolder in den Donauabschnitten I und II (Szenario 2) könnten die Scheitelabflüsse entlang der Donau bei beiden hochskalierten HW-Ereignissen hingegen deutlich gesenkt werden. Es ergaben sich so am Zielpegel Kelheim/Donau unter idealisierten Bedingungen folgende HW-Scheitelreduzierungen:

- Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“: Von 2 525 m³/s auf 2 041 m³/s (484 m³/s bzw. 19,2 %)
- Ereignis vom Typ „Juni 2013“: Von 2 525 m³/s auf 2 186 m³/s (339 m³/s bzw. 13,4 %)

Ergebnisse der Simulationen im Projektgebiet C

Im Szenario 0 ohne HRB fand für beide ausgewählten HW-Ereignisse eine Hochskalierung auf einen Scheitelabfluss von ca. 3 900 m³/s am Zielpegel Straubing/Donau statt. Diese Hochskalierung entsprach in beiden Fällen dem Erreichen von Spitzenabflüssen im Bereich eines HQ₃₀₀. Das Ereignis vom Typ „Juni 2013“ stellt dabei einen Überlastfall in den Donauabschnitten II und III dar.

Beim Szenario 1 konnten durch den Einsatz der insgesamt 300 fiktiven HRB die HW-Scheitel an den Zuflüssen teilweise deutlich reduziert werden. Auf die HW-Scheitel an der Donau hatten die 300 HRB aber, wie bereits in den Projektgebieten A und B beobachtet, nur einen vergleichsweise geringen Einfluss. So wurden am Zielpegel Straubing/Donau die HW-Scheitel wie folgt reduziert:

- Ereignis vom Typ „Januar 2011“: Von 3 910 m³/s auf 3 838 m³/s (72 m³/s bzw. 1,8 % gegenüber theoretisch max. möglichen 24 %)
- Ereignis vom Typ „Juni 2013“: Von 3 910 m³/s auf 3 874 m³/s (36 m³/s bzw. 0,9 % gegenüber theoretisch max. möglichen 24 %)

Der optimale Einsatz von 5 der 10 geplanten Flutpolder beim Ereignis vom Typ „Januar 2011“ und von 8 Flutpoldern beim Ereignis vom Typ „Juni 2013“ (Szenario 2) könnte entlang der Donau bei beiden hochskalierten HW-Ereignissen hingegen deutliche Reduzierungen der Scheitelabflüsse erbringen. Am Zielpegel Straubing/Donau könnten so unter idealisierten Annahmen folgende HW-Scheitelreduzierungen erzielt werden:

- Ereignis vom Typ „Januar 2011“: Von 3 910 m³/s auf 3 433 m³/s (477 m³/s bzw. 12,2 %)
- Ereignis vom Typ „Juni 2013“: Von 3 910 m³/s auf 3 167 m³/s (743 m³/s bzw. 19,0 %)

Die bei allen HW-Ereignissen beobachtete vergleichsweise geringe Wirkung der HRB im EZG (Szenario 1) auf die Scheitelkappung an der Donau hat verschiedene Gründe. Einerseits zeigt sich, dass bei den simulierten HW-Ereignissen (basierend auf hochskalierten historischen Niederschlagsverteilungen) aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Ausprägung der Niederschläge bei vielen HRB kein oder nur ein geringer Einstau erfolgt. Das tatsächlich aktivierte Rückhaltevolumen variiert bei den hochskalierten historischen Ereignissen zwischen 22,6 % und 50,2 %.

Andererseits treten HW-Scheitel-reduzierende Effekte an den Nebenflüssen der Donau oft so auf, dass sie zeitlich nicht mit den HW-Scheiteln an der Donau zusammentreffen. So kommen z. B. Reduzierungen an Nebenflüssen, die der Donauwelle vorauslaufen, für die Reduzierung des Scheitels an der Donau in der Regel zeitlich zu früh. Eine zeitliche Verzögerung des Abflusses an vorauslaufenden Zuflusswellen kann unter Umständen sogar eine Verschiebung des im Becken temporär gespeicherten Abflussanteils Richtung Scheitel der Donauwelle bewirken. HRB an Nebenflüssen, deren Hochwasserscheitel erst nach dem Durchgang des Donauscheitels zufließen, beeinflussen (sofern sie nicht die Donauwelle maßgeblich überprägen) in der Regel nur den abfallenden Ast der Donauganglinie und wirken folglich auch nicht im Bereich des Donauscheitels.

Die vergleichsweise bessere Scheitelkappung der 100 HRB im Projektgebiet A (4,6 bzw. 3,9 % im Vergleich zu 0,5 bis 1,8 % in den Projektgebieten B und C) ist auf den höheren Anteil des in den HRB aktivierten Rückhaltevolumens sowie auf das im Vergleich zum Volumen der Donauwelle größere Rückhaltevolumen der im Donauabschnitt I geplanten Flutpolder und damit auch der 100 HRB zurückzuführen.

Fazit

Insgesamt zeigt die vorliegende Studie, dass mit vielen ungesteuerten HRB (Szenario 1), die das gleiche Gesamtvolumen wie die geplanten Flutpolder haben und an den Nebenflüssen des bayerischen Donau-Projektgebiets platziert sind, die Scheitel sehr großer Hochwasser auch an der Donau reduziert werden könnten. Im Vergleich zur scheinbar reduzierenden Wirkung der optimal gesteuerten Flutpolder mit gleichem Gesamtvolumen (Szenario 2) wäre die Wirkung der HRB im EZG aber um ein Vielfaches geringer.

1. Hintergrund und Zielsetzung

Nach dem verheerenden Hochwasser 2013 wurde die bewährte bayerische Hochwasserschutzstrategie erweitert und neu ausgerichtet. Die bayerische Hochwasserschutzstrategie setzt dabei in einem integralen Ansatz auf die Kombination der drei Handlungsfelder natürlicher Rückhalt, technischer Hochwasserschutz und Hochwasservorsorge.

Auch für sehr große Hochwasserereignisse, welche die Bemessungsabflüsse der Hochwasserschutzanlagen an der Donau übersteigen (Überlastfall), sind geeignete Maßnahmen vorzusehen. Hochwasserschutzsysteme sollen so gestaltet werden, dass die einzelnen Elemente – wie z. B. Deiche, Mauern und Flutpolder – in ihrer Gesamtheit ein System bilden, das schädliche Auswirkungen bei einer Überlastung begrenzt und möglichst resilient reagiert. Flutpolder stellen dabei sicher, dass Wasser zuerst dorthin geleitet wird, wo geringere Schäden zu erwarten sind.

Der Abfluss in der Donau wird maßgeblich durch große seitliche Zuflüsse (Iller, Lech, Isar etc.) geprägt. Dadurch können sich die Abflüsse und die Hochwasserjährlichkeiten vor und nach einem großen Zufluss signifikant unterscheiden und ggf. nur einzelne Abschnitte von einem Überlastfall betroffen sein. Eine Einteilung der Donau in hydrologische Abschnitte ist daher sinnvoll. Entlang der bayerischen Donau sind für den Einsatz bei sehr großen Hochwasserereignissen im Überlastfall mehrere Flutpolder im Bereich der Donauabschnitte I-III geplant (siehe Bild 1.1). Vor Ort gibt es bei fast allen Standorten starke Bedenken gegen diese Flutpolder. So fordern Vertreter der Projektgegner eine Prüfung des konkreten Bedarfs der Flutpolder und die Untersuchung von alternativen Maßnahmen, auch an den Donauzuflüssen. Häufig wird argumentiert, dass das Hochwasserrisiko an der Donau statt mit den geplanten Flutpoldern alternativ mit vielen Hochwasserrückhaltmaßnahmen in den Oberläufen der seitlichen Donauzuflüsse reduziert werden könne. Vor diesem Hintergrund sollte im Auftrag des Bayerischen Landesamtes für Umwelt (LfU) die Wirkung fiktiver Hochwasserrückhaltebecken (HRB) an den Oberläufen mit jener von gesteuerten Flutpoldern auf sehr große Hochwasserabflüsse entlang der Donau verglichen werden.

Ziel dieser Untersuchung ist die exemplarische Darstellung der Wirkung einer größeren Anzahl fiktiver HRB an den Gewässern im Einzugsgebiet auf sehr große Hochwasserabflüsse der Donau. Hierbei wird LARSIM eingesetzt, ein Wasserhaushaltsmodell mit hoher räumlicher (1x1 km) und zeitlicher Auflösung (1 h), welches beim LfU als sogenanntes 1-Donau-Wasserhaushaltsmodell vorliegt und für den Auftrag zur Verfügung gestellt wird. Dabei sollen ausgewählte typische, zur Erzeugung sehr großer Donauabflüsse entsprechend hochzukalierende Niederschlagsereignisse als Input verwendet werden, um die Wirkung vieler im gesamten Einzugsgebiet verteilter fiktiver HRB auf den Abfluss in der Donau zu simulieren. Um einen Vergleich mit der Wirkung der in dem jeweils betrachteten Donauabschnitt geplanten Flutpolder ziehen zu können, wird das summarische Volumen der HRB entsprechend dem vorgesehenen Rückhaltvolumen der im betrachteten Donauabschnitt geplanten Flutpolder gewählt. Für diese rein hypothetische Untersuchung sollen folglich im Modell fiktive Standorte ohne Planungsbezug (d. h. keine Berücksichtigung lokaler Notwendigkeit, Topographie, Umsetzbarkeit etc.) im bayerischen Teil des Einzugsgebiets oberhalb des jeweils betrachteten Donaupegels (Zielpiegel) bestmöglich platziert und die Wirkung dieser HRB vor allem am jeweiligen Zielpiegel ermittelt werden.

Die Untersuchungen werden für folgende Projektgebiete durchgeführt, welche auch weitgehend der Einteilung der hydrologischen Donauabschnitte in Bild 1.1 entsprechen:

- Projektgebiet A: Donau-EZG bis zum Zielpegel Donauwörth/Donau
- Projektgebiet B: Donau-EZG bis zum Zielpegel Kelheim/Donau
- Projektgebiet C: Donau-EZG bis zum Zielpegel Straubing/Donau

Für das Projektgebiet A wird von drei im Donauabschnitt I geplanten Flutpoldern ausgegangen (siehe auch Bild 1.1):

- Leipheim (Rückhaltevolumen 12,0 Mio. m³)
- Helmeringen (Rückhaltevolumen 7,0 Mio. m³)
- Neugeschüttwörth B (Rückhaltevolumen 32,0 Mio. m³)

Dieses Gesamtvolumen von 51,0 Mio. m³ soll auf eine gewählte Anzahl von 100 fiktiven HRB im bayerischen Einzugsgebiet oberhalb des Pegels Donauwörth verteilt werden.

Für das Projektgebiet B wird von zusätzlich vier geplanten Flutpoldern im Donauabschnitt II ausgegangen (siehe auch Bild 1.1):

- Bertoldsheim (Rückhaltevolumen 18,0 Mio. m³)
- Riedensheim (Rückhaltevolumen 8,1 Mio. m³)
- Großmehring (Rückhaltevolumen 13,5 Mio. m³)
- Katzau (Rückhaltevolumen 7,2 Mio. m³)

Dieses Gesamtvolumen von 46,8 Mio. m³ soll wiederum auf weitere 100 fiktive HRB im Einzugsgebiet unterhalb des Pegels Donauwörth und oberhalb des Pegels Kelheim verteilt werden.

Für das Projektgebiet C wird von zusätzlich drei geplanten Flutpoldern im Donauabschnitt III ausgegangen (siehe auch Bild 1.1):

- Eltheim (Rückhaltevolumen 16,0 Mio. m³)
- Wörthhof (Rückhaltevolumen 16,0 Mio. m³)
- Oberauer Schleife (Rückhaltevolumen 13,8 Mio. m³)

Auch dieses Gesamtvolumen von 45,8 Mio. m³ soll auf weitere 100 fiktive HRB im Einzugsgebiet unterhalb des Pegels Kelheim und oberhalb des Pegels Straubings verteilt werden.

- **In Bau:**
Riedensheim
- **Im Planfeststellungsverfahren als gesteuerter Rückhalteraum:**
Steinkirchen
- **Raumordnungsverfahren abgeschlossen:**
Katzau, Überauer Schleife
- **Standortanalyse und Grundwassermodellierung:**
Großmehring, Eltheim, Wörthhof, Leipheim, Helmeringen, Neugeschüttwörth
- **Bürgerdialog:**
Bertoldsheim
- **Nicht vorrangige Standorte:**
Schwenningen/Tapfheim, Höchstädt/Blindheim, Lauingen/Dillingen, Steinheim, Bischofswörth/Christianswörth

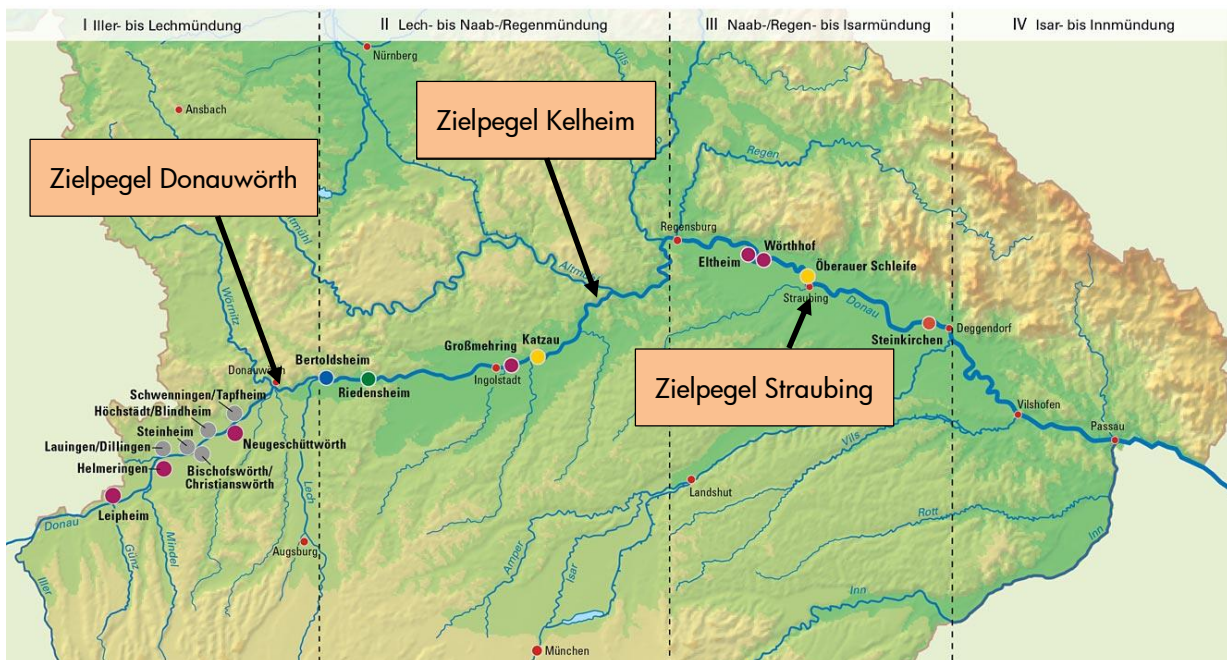


Bild 1.1: Vorgesehene Maßnahmen entlang der Donau innerhalb der hydrologischen Donauabschnitte I-III sowie die Zielpegel der drei Projektgebiete A (Donauwörth), B (Kelheim) und C (Straubing)

Die eigentliche Untersuchung zur Wirkung der fiktiven HRB in den drei Projektgebieten auf die Abflüsse an den Zielpegeln Donauwörth, Kelheim und Straubing im Vergleich zu den geplanten Flutpoldern ist in den nachfolgenden Kapiteln beschrieben:

- Festlegung und Bemessung der fiktiven HRB (s. Kapitel 2)
- Einbau der fiktiven HRB in das LARSIM-Modell (s. Kapitel 3)
- Durchführung der LARSIM-Simulationen (s. Kapitel 4)
- Auswertung der LARSIM-Simulationen (s. Kapitel 5)

2. Festlegung und Bemessung der fiktiven HRB

2.1 Überblick

Der Ansatz zur Festlegung und Bemessung von insgesamt 300 fiktiven HRB (100 HRB je Projektgebiet) an Gewässern im Einzugsgebiet der Donau dient dazu, die potentielle hochwassermindernde Wirkung dieser HRB mit der Wirkung von geplanten Flutpoldern zu vergleichen. Es handelt sich hierbei um rein fiktive HRB-Standorte ohne konkreten Planungsbezug. Folglich wurde keine Überprüfung bzgl. realer Umsetzbarkeit der ermittelten HRB-Standorte (Topographie, Ortslagen, vorliegende Landnutzung etc.) durchgeführt. Die Festlegung sollte nur auf Basis der hydrologischen Eigenschaften Flussnetz und Einzugsgebietsgröße erfolgen.

Für die Festlegung und Bemessung der fiktiven HRB wurde ein klar nachvollziehbares und zugleich fachgerechtes Verfahren erarbeitet und angewandt. Im Modell werden die HRB durch ein Rückhaltevolumen und einen konstanten Regelabfluss, in dieser Untersuchung auch Drosselabfluss genannt, definiert. Beim Überschreiten des Rückhaltevolumens wird davon ausgegangen, dass die Hochwasserentlastung anspringt und der gesamte zusätzliche Zufluss ohne weitere Retention nach Unterstrom weitergegeben wird.

Das Rückhaltevolumen der drei (Projektgebiet A), vier (zusätzlich bei Projektgebiet B) beziehungsweise drei (zusätzlich bei Projektgebiet C) Flutpolder von 51,0 Mio. m³, 46,8 Mio. m³ und 45,8 Mio. m³ sollte fachgerecht auf die jeweils 100 fiktiven HRB in den einzelnen bayerischen Teileinzugsgebieten verteilt werden.

Vor diesem Hintergrund ergaben sich für die Vorbereitung der HRB-Implementierung vier Teilaufgaben:

1. Festlegung der fiktiven Standorte der jeweils 100 HRB pro Projektgebiet im bayerischen Donaueinzugsgebiet bis zum Pegel Straubing/Donau
2. Durchführung eines KOSTRA-Bemessungslaufs als Grundlage für die Beckenbemessung
3. Differenzierte Bestimmung der Rückhaltevolumina der einzelnen Beckenstandorte
4. Ermittlung des jeweiligen konstanten Drosselabflusses für die insgesamt 300 HRB-Standorte

2.2 Festlegung der 300 HRB-Standorte

Bei der Standortfestlegung wurde davon ausgegangen, dass alle 300 fiktiven HRB parallel geschaltet werden, d. h. an jedem Gewässer gibt es höchstens ein HRB in der Art, dass kein HRB von einem anderen HRB direkt beeinflusst wird (s. Bild 2.1).

Alle HRB-Standorte im Projektgebiet A sollten dabei im ca. 9 860 km² großen bayerischen Teil des insgesamt ca. 15 130 km² großen Einzugsgebietes des Pegels Donauwörth/Donau liegen. Die 100 HRB-Standorte zwischen Donauwörth und Kelheim liegen im 6 740 km² umfassenden bayerischen Teil des zusätzlichen hinzukommenden Einzugsgebietes beim Projektgebiet B. Die übrigen 100 HRB-Standorte zwischen Kelheim und Straubing liegen im ca. 13 990 km² großen bayerischen Teil des zusätzlichen hinzukommenden Einzugsgebietes beim Projektgebiet C.

In den Einzugsgebieten oberhalb der großen vorhandenen Wasserspeicher (z. B. Forgensee am Lech oder Grüntensee an der Wertach) wurden keine HRB angeordnet, da deren Wirkung in den unterhalb liegenden Speichern verpuffen würde.

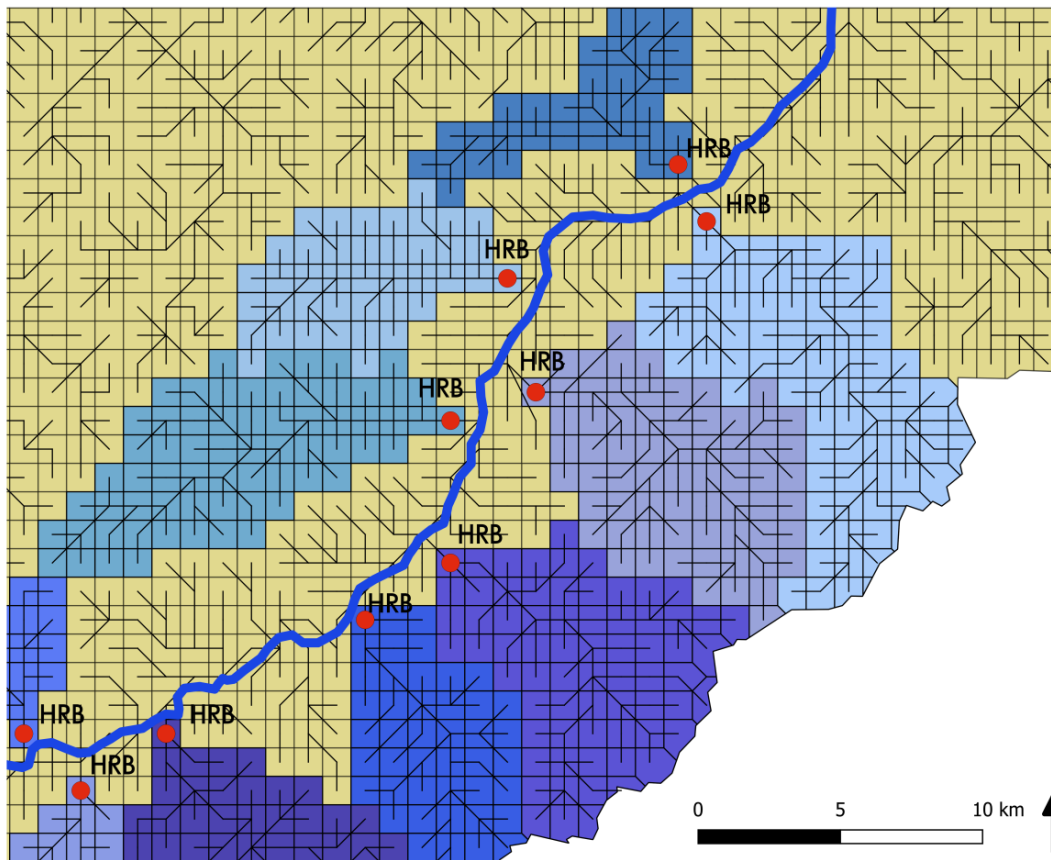


Bild 2.1: Schematische Darstellung der HRB-Standorte an den Zuflüssen zu einem Hauptfluss mit dazugehörigen Modelleinzugsgebieten

Auswahl der HRB-Standorte

Als Datenbasis für die Auswahl der HRB-Standorte diente der Geodatenatz (Polygon-Shapefile) der bayerischen Hochwasserregionalisierung, welcher vom AG zur Verfügung gestellt worden ist. Darin sind für jedes hydrologische Teileinzugsgebiet die LAWA-Gewässerkennzahl, die LAWA-Gebietskennzahl, die Einzugsgebietsgröße und eine Reihe regionalisierter statistischer Kennwerte (z. B. HQ_{100}) aufgelistet. Ziel der Standortauswahl war es, mit den 100 parallel geschalteten HRB je Projektgebiet eine möglichst große Einzugsgebietsfläche abzudecken.

HRB-Standorte an der Donau selbst waren grundsätzlich ausgeschlossen. Des Weiteren fanden theoretisch sinnvolle HRB-Standorte im EZG der Schmutter innerhalb des Projektgebietes A keine Berücksichtigung, weil die Schmutter im HW-Fall zum Großteil via Überleitung in den Egelseebach entwässert und somit nicht auf die HW-Ganglinie am Zielpegel Donauwörth/Donau wirkt. Aus diesem Grund wurden diese HRB-Standorte dem Projektgebietes B zugeordnet.

Nach sorgfältiger Auswahl ergaben sich für jedes Projektgebiet 100, insgesamt also 300 HRB-Standorte.

Das Donau-EZG zwischen Ulm (also ohne baden-württembergische Donau vor dem Zufluss der Iller) und dem Pegel Donauwörth, ohne Schmutter, ist ca. 9 370 km² groß. In diesem

Projektgebiet A beläuft sich die summarische EZG-Größe der 100 HRB auf 6 620 km². Entsprechend werden ca. 71 % des bayerischen Donau-EZG bis Donauwörth durch die fiktiven HRB erfasst.

Das zusätzlich beim Projektgebiet B hinzukommende EZG (inklusive des Schmitter-EZG) ist ca. 6 740 km² groß. Ca. 70 % dieses Zwischeneinzugsgebiets werden durch die 100 weiteren fiktiven HRB-Standorte erfasst.

Das zusätzlich beim Projektgebiet C hinzukommende EZG ist ca. 13 990 km² groß. Ca. 72 % dieses Zwischeneinzugsgebiets werden durch die dort gewählten 100 fiktiven HRB-Standorte erfasst.

In allen drei Projektgebieten werden also gut 70 % des jeweiligen relevanten Einzugsgebiets durch HRB-Standorte erfasst. Diese Abdeckungen sind, bei Wahrung des Kriteriums „parallel geschaltet“, als sehr hoch einzustufen und gewährleisten so eine hohe Beeinflussbarkeit der Abflussreaktion des gesamten Einzugsgebietes durch die insgesamt 300 HRB.

Zuordnung der HRB-Standorte zu den LARSIM-Teilgebieten:

Im nächsten Schritt mussten die 300 HRB-Standorte den passenden Teilgebieten (TGB) des LARSIM-Modells zugewiesen werden. Diese Zuweisung erfolgte in Handarbeit.

Im Zuge dieser manuellen TGB-Zuweisung wurden, sofern erforderlich, Modellanpassungen zur besseren Abbildung der Abflussverhältnisse in den zum Teil relativ kleinen EZG der HRB vorgenommen. Bei diesen Anpassungen handelte es sich um modelltechnische Zusammenlegungen kleiner EZG, um für den betroffenen HRB-Standort eine möglichst gute Übereinstimmung von Modell-EZG-Größe und realer EZG-Größe zu erzielen. Dank dieser Zusammenlegungen konnten für alle 300 HRB-Standorte gut passende LARSIM-TGB zugeordnet werden.

Zur abschließenden Qualitätsprüfung wurde die Lage der 300 HRB-Standorte, also die Lage der TGB in der LARSIM-Modellvernetzung, nochmals manuell kontrolliert.

Die räumliche Verteilung der in Projektgebiet A letztlich gewählten 100 HRB-Standorte ist in Bild 2.2 dargestellt. Tabelle 2.1 gibt einen Überblick darüber, wie viele Becken in den einzelnen Flussgebieten des Projektgebiets A liegen. Zudem ist angegeben, wie sich die (in Kapitel 2.4 abgeleiteten) Rückhaltevolumina auf die Flussgebiete aufteilen.

Tabelle 2.1: Aufteilung der HRB-Anzahl und der Rückhaltevolumina auf die Flussgebiete im Projektgebiet A

Flussgebiet	Anzahl []	Σ der Rückhaltevolumina [Mio. m ³]
Iller	28	15,46
Günz	11	4,26
Mindel	12	4,39
Wörnitz	26	14,82
andere	23	12,07
Summe	100	51,00

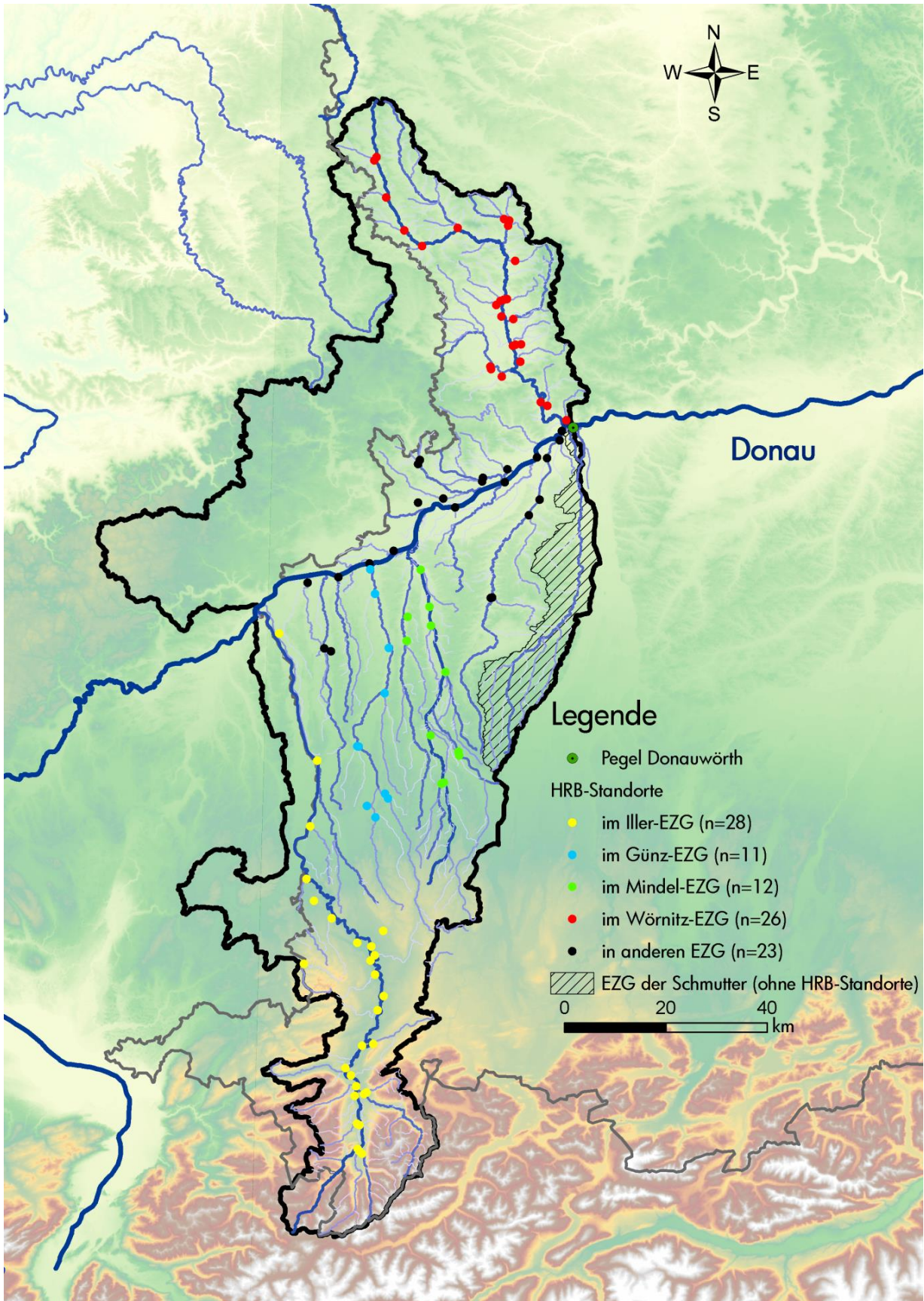


Bild 2.2: Lage der 100 fiktiven HRB-Standorte im Projektgebiet A

Die räumliche Verteilung der in Projektgebiet B gewählten zusätzlichen 100 HRB-Standorte ist in Bild 2.3 dargestellt. Tabelle 2.2 gibt einen Überblick darüber, wie viele Becken in den einzelnen Flussgebieten der beim Projektgebiet B hinzukommenden Fläche liegen. Zudem ist angegeben, wie sich die (in Kapitel 2.4 abgeleiteten) Rückhaltevolumina auf die Flussgebiete aufteilen.

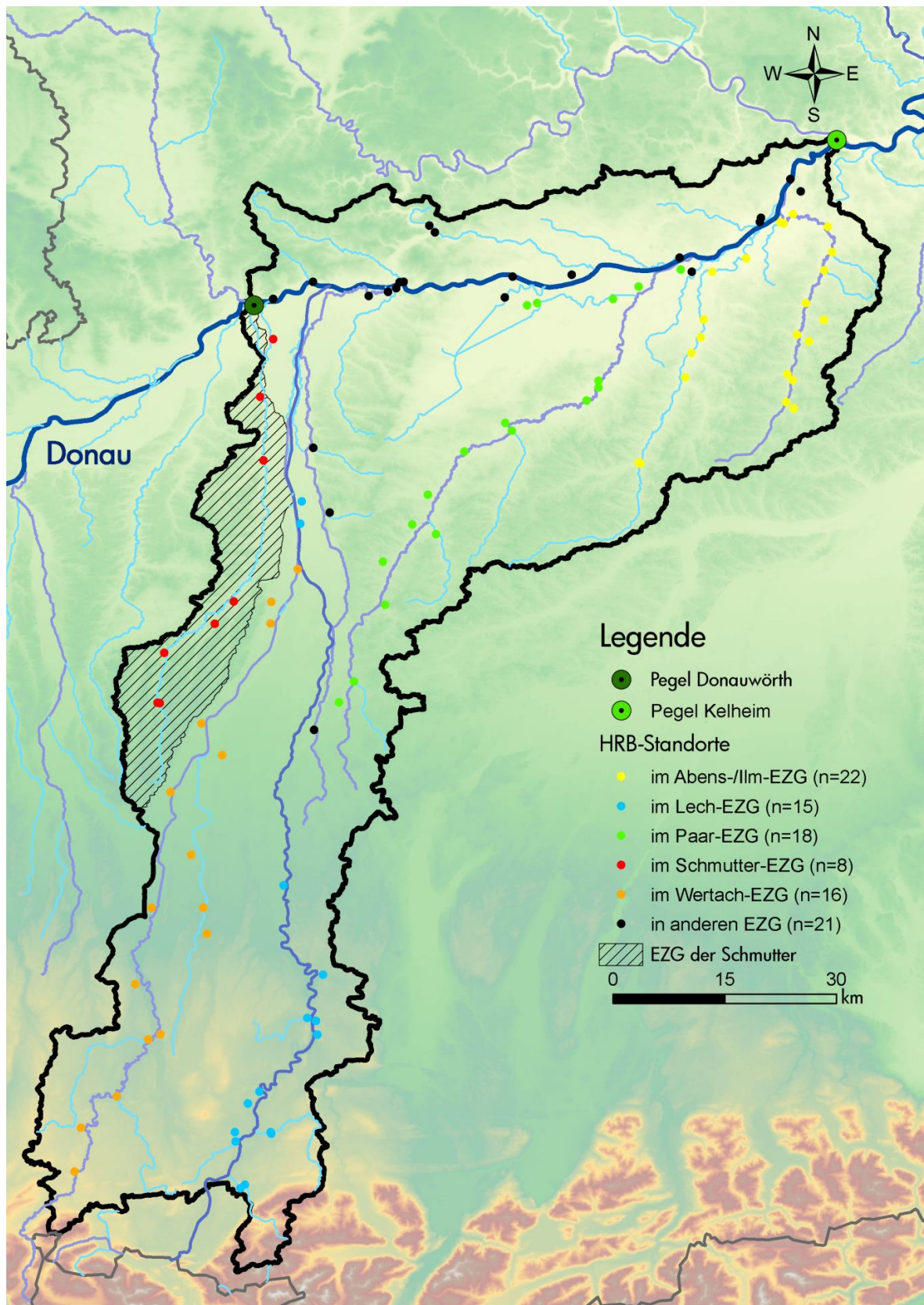


Bild 2.3: Lage der 100 zusätzlichen fiktiven HRB-Standorte im Projektgebiet B

Tabelle 2.2: Aufteilung der HRB-Anzahl und der Rückhaltevolumina auf die Flussgebiete im hinzukommenden Teileinzugsgebiet bei Projektgebiet B

Flussgebiet	Anzahl []	Σ der Rückhaltevolumina [Mio. m ³]
Abens/Ilm	22	7,08
Lech	15	13,08
Paar	18	3,88
Schmutter	8	3,08
Wertach	16	10,25
andere	21	9,43
Summe	100	46,80

Die räumliche Verteilung der in Projektgebiet C gewählten zusätzlichen 100 HRB-Standorte ist in Bild 2.4 dargestellt. Tabelle 2.3 gibt einen Überblick darüber, wie viele Becken in den einzelnen Flussgebieten des bei Projektgebiet C hinzukommenden Teileinzugsgebiets liegen. Zudem ist auch hier angegeben, wie sich die (in Kapitel 2.4 abgeleiteten) Rückhaltevolumina auf die Flussgebiete verteilen.

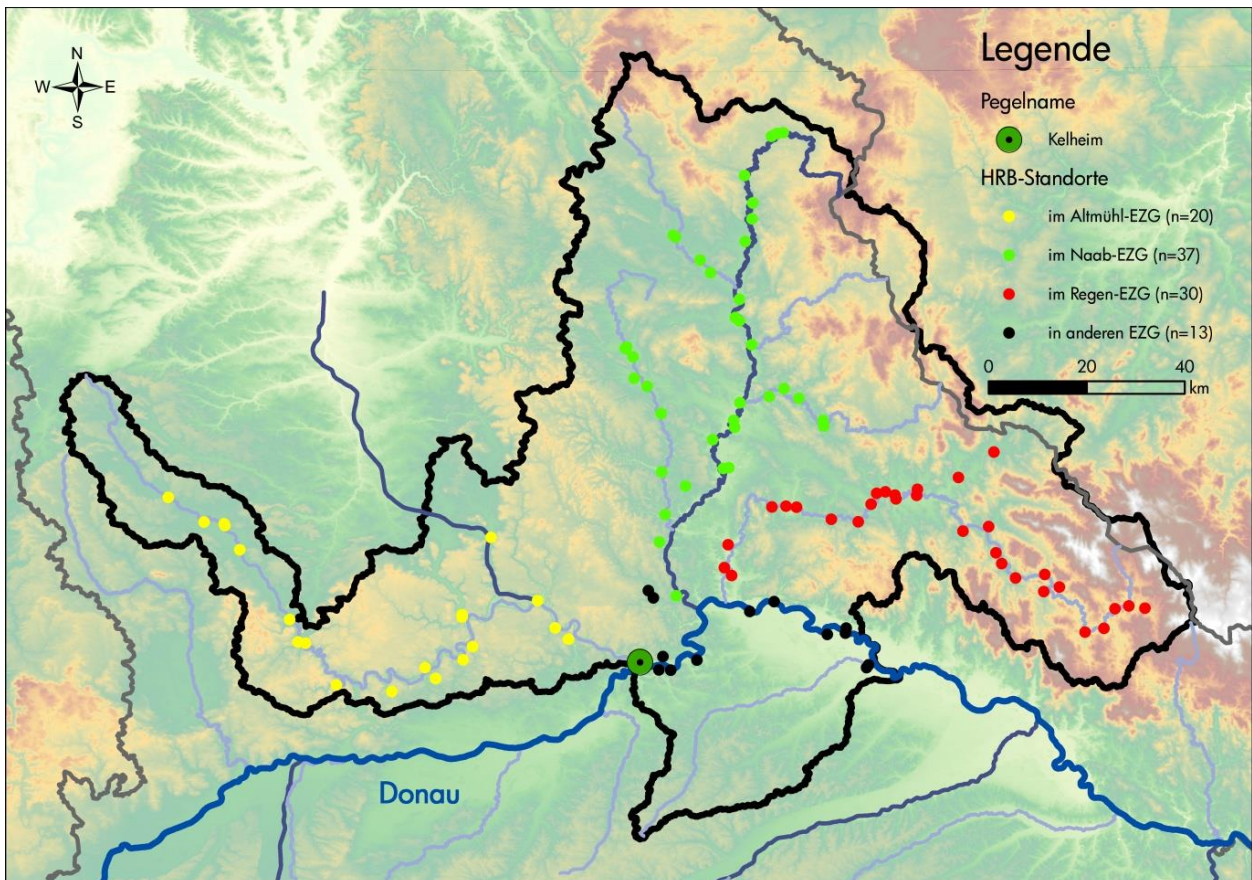


Bild 2.4: Lage der 100 zusätzlichen fiktiven HRB-Standorte im Projektgebiet C

Tabelle 2.3: Aufteilung der HRB-Anzahl und der Rückhaltevolumina auf die Flussgebiete im hinzukommenden Teileinzugsgebiet bei Projektgebiet C

Flussgebiet	Anzahl []	Σ der Rückhaltevolumina [Mio. m ³]
Altmühl	20	12,27
Naab	37	17,63
Regen	30	9,22
andere	13	6,68
Summe	100	45,80

2.3 Durchführung des KOSTRA-N₁₀₀-Bemessungslaufs

KOSTRA (KOSTRA-2010-DWD) ist ein vom Deutschen Wetterdienst herausgegebener Starkregenkatalog und steht für Koordinierte Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung. Für die Bemessung von wasserwirtschaftlichen Anlagen (Rückhaltebecken, Talsperren usw.) werden Eintrittswahrscheinlichkeiten und weitere Charakteristika von Starkregenereignissen benötigt. Zu diesem Zweck hat der DWD nach umfangreichen Auswertungen historischer Regenereignisse und statistischen Berechnungen einen Katalog von regionalisierten Niederschlagshöhen herausgegeben.

Das Standardvorgehen für die Bemessung eines HRB basiert auf der Überregnung des EZG mit einem 100-jährlichen KOSTRA-Niederschlag. Die aus diesem 100-jährlichen Niederschlag resultierende Hochwasserabflussganglinie wird genutzt, um das jeweilige HRB zu bemessen. Mit dem Ziel eines einheitlichen und gleichzeitig effizienten und fachgerechten Verfahrens für die Bemessung der 300 HRB wurde für die vorliegende Studie ein KOSTRA-N₁₀₀-Bemessungsniederschlag der Dauerstufe 48 Stunden als maßgeblich ausgewählt. Hiermit sollten für die Bemessung der 300 HRB in deren Einzugsgebiete näherungsweise 100-jährliche Abflüsse erzeugt werden.

Die Simulationen wurden anhand der HQ₁₀₀-Werte von 31 Pegeln im Projektgebiet A, 21 Pegeln im Projektgebiet B sowie 41 Pegeln im Projektgebiet C plausibilisiert und ggf. angepasst. Für große Einzugsgebiete deutlich über 1 000 km² sind dagegen Abflüsse weit über HQ₁₀₀ zu erwarten, da hier eine gleichmäßige Überregnung des gesamten Einzugsgebiets mit einem hundertjährigen Niederschlag unwahrscheinlich ist.

Die Anpassung des Bemessungslaufs erfolgte dabei in drei Schritten:

- Festlegung einheitlicher Anfangsbedingungen für die Bodenspeicherfüllung (relative Bodenfeuchte) aller TGB im gesamten Modellgebiet als Ausgangspunkt
- Weitergehende gebietsspezifische Anpassung der Bodenfeuchte-Anfangsbedingungen für die meisten EZG
- Sofern erforderlich, zusätzliche Anpassung des KOSTRA-N₁₀₀-Impulses (letztlich im Projektgebiet A nur für 3 der 31 Pegel, im Projektgebiet B für 4 der 21 Pegel und in Projektgebiet C für 7 der 41 Pegel notwendig)

Von den 93 plausibilisierten und ggf. angepassten Pegeln weisen ca. zwei Drittel EZG-Werte zwischen 30 km² und 500 km² auf. Das ist in etwa der Größenbereich der anvisierten HRB-Standorte. Nach Anpassung des Bemessungslaufs in drei Schritten (s.o.) wurden an den Pegeln dieses Größenbereichs in der Regel Scheitelabflüsse im Bereich von HQ₁₀₀ erreicht.

Der Bemessungslauf mit jeweils einem etwa 100-jährlichen Abfluss an den HRB-Standorten stellt somit eine gute Grundlage für die Bemessung der 300 HRB dar.

2.4 Festlegung der HRB-Rückhaltevolumina

Mit dem angepassten Bemessungslauf wurden die 300 fiktiven HRB dimensioniert. Es galt, das Rückhaltevolumen der drei im Projektgebiet A, der vier im Projektgebiet B und der weiteren drei im Projektgebiet C vorgesehenen Flutpolder von jeweils 51,0 Mio. m³, 46,8 Mio. m³ beziehungsweise 45,8 Mio. m³ sinnvoll auf die jeweils 100 HRB-Standorte zu verteilen. Dabei wurde eine standortabhängige Festlegung der HRB-Rückhaltevolumina angestrebt, die den vor Ort vorliegenden Gegebenheiten (EZG-Größe, Wasserdargebot etc.) Rechnung trägt.

Die Rückhaltevolumina der 300 HRB wurden gemäß der vor Ort erreichten Füllen aus dem beschriebenen Bemessungslauf bestimmt. Hierbei wurden an allen HRB-Standorten die Füllen ermittelt, welche sich aus dem Bemessungslauf ergaben. Danach wurden diese in Relation zueinander gestellt. Gemäß diesen Relationen wurden anschließend die zur Verfügung stehenden 51,0 Mio. m³, 46,8 Mio. m³ beziehungsweise 45,8 Mio. m³ auf die jeweils 100 HRB verteilt:

$$HRB_VOL_i = \frac{KOSTRA_VOL_i}{\sum_{j=1}^{100} KOSTRA_VOL_j} \cdot RV$$

mit:

HRB_VOL_i	[m ³]	Rückhaltevolumen des i-ten HRB
$KOSTRA_VOL_i$	[m ³]	Volumen des KOSTRA-N ₁₀₀ -Bemessungslaufs am Standort des i-ten HRB
$\sum_{j=1}^{100} KOSTRA_VOL_j$	[m ³]	Summe der Volumina des KOSTRA-N ₁₀₀ -Bemessungslaufs an allen 100 Standorten
RV	[m ³]	Gesamtrückhaltevolumen der jeweiligen 100 HRB bzw. Rückhaltevolumen der je Projektgebiet vorgesehenen Flutpolder

Insgesamt ergaben sich aus dieser differenzierten Art der Festlegung der HRB-Rückhaltevolumina, wie zu erwarten und erwünscht, größere Standortunterschiede. Die Rückhaltevolumina der insgesamt 300 HRB reichen von ca. 25 000 m³ bis zu ca. 4,0 Mio. m³. Dabei gibt es 50 kleine bis sehr kleine HRB mit Rückhaltevolumina kleiner 100 000 m³ und 36 große HRB mit Rückhaltevolumina größer 1 Mio. m³. Die Aufteilung der Rückhaltevolumina auf die einzelnen Flussgebiete ist Tabelle 2.1, Tabelle 2.2 und Tabelle 2.3 zu entnehmen.

2.5 Festlegung der HRB-Drosselabflüsse

HRB im Hauptschluss eines Gewässers haben in der Regel einen konstanten Drosselabfluss (auch Regelabfluss genannt). Solange der Zufluss unter diesem Drosselabfluss bleibt, wird er unverändert nach Unterstrom weitergegeben. Bei Zuflüssen, die über dem Regelabfluss liegen, wird nur der Regelabfluss nach Unterstrom weitergegeben. Der darüber hinaus gehende Abfluss wird im HRB zurückgehalten und führt dazu, dass das Rückhaltevolumen sukzessive aufgefüllt wird. Der Drosselabfluss wird in der Regel so bemessen, dass das verfügbare Rückhaltevolumen durch den Zufluss der maßgeblichen Bemessungsabflussganglinie optimal ausgenutzt wird.

Die Festlegung der konstanten HRB-Drosselabflüsse erfolgte analog zur Definition der HRB-Rückhaltevolumina mittels der Ergebnisse des in Kapitel 2.3 definierten KOSTRA-N₁₀₀-Bemessungslaufs als maßgebliche Bemessungsabflussganglinie, da Hochwasserschutzanlagen in Bayern im Allgemeinen auf ein HQ₁₀₀ bemessen werden. Der HRB-Drosselabfluss wurde so festgelegt, dass bei Verwendung des Bemessungslaufs das vorab festgelegte HRB-Rückhaltevolumen (s. Kapitel 2.4) voll ausgenutzt wird. Der Einsatz des HRB-standortabhängigen Drosselabflusses sorgt also beim Bemessungsereignis für einen perfekten Vollstau des HRB (ohne Verwendung der HW-Entlastung) und somit für eine vollständige Nutzung des im vorherigen Schritt festgelegten Stauraums (siehe auch Bild 2.5).

Die so ermittelten 300 HRB-standortspezifischen Drosselabflüsse variieren zwischen 0,5 m³/s und 170,4 m³/s. Somit werden an den 300 HRB-Standorten relative Kappungen der simulierten Scheitelabflüsse (Drosselabfluss im Vergleich zum Scheitel des jeweiligen Bemessungsereignisses) von 16,1 % bis 55,6 % (Mittelwert = 34,4 %) erzielt.

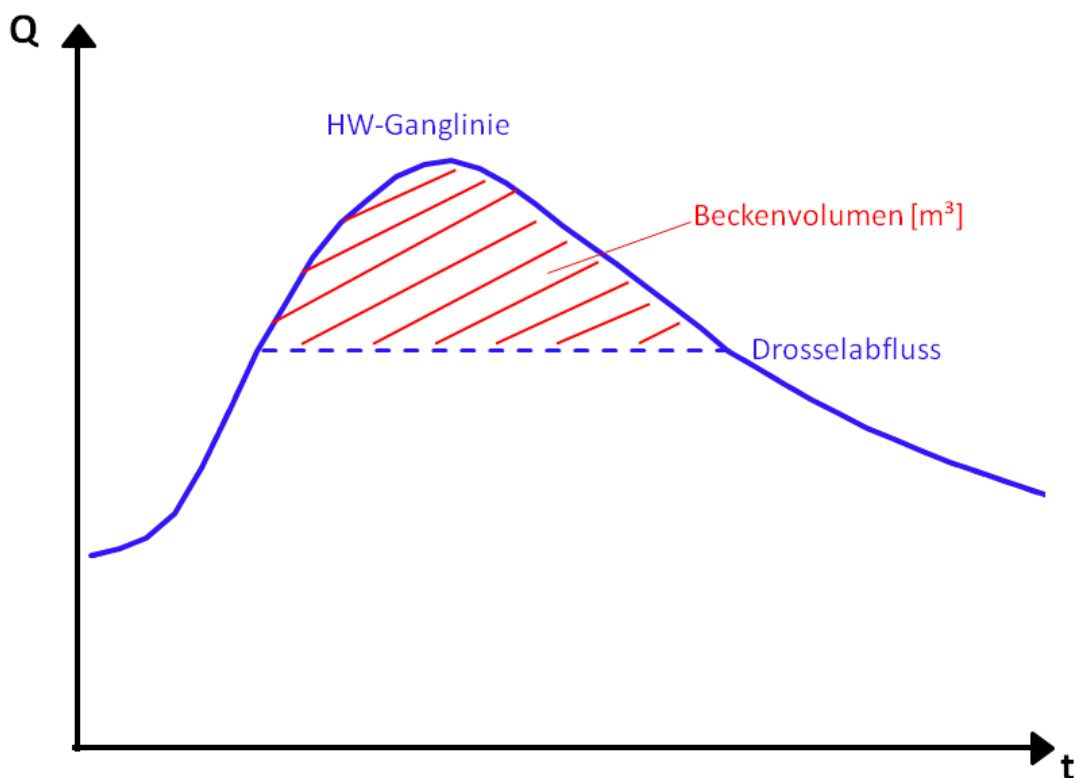


Bild 2.5: Schematische Darstellung zur Ermittlung des Drosselabflusses bei gegebenem Beckenvolumen und gegebener Hochwasserganglinie aus dem Bemessungsereignis

3. Einbau der fiktiven HRB in das LARSIM-Modell

Mit den vorherigen Schritten sind die Standorte, Rückhaltevolumina [m³] und Drosselabflüsse [m³/s] der 300 HRB festgelegt. Anschließend wurden diese von HRB zu HRB unterschiedlichen Eigenschaften LARSIM-technisch umgesetzt. Hierfür wurde in LARSIM die Form des Rückhaltebeckens mit konstantem Regelabfluss (= Drosselabfluss) und HW-Entlastungsanlage ausgewählt.

Bei dieser LARSIM-Form eines Rückhaltebeckens erfolgt ein Einstau, sobald der jeweils definierte HRB-spezifische Drosselabfluss überschritten ist und solange, bis das jeweilige Rückhaltevolumen ausgeschöpft ist. Wenn das HRB vollständig gefüllt ist, erfolgt eine unbeeinflusste Abgabe des weiteren Zuflusses über die HW-Entlastungsanlage. Die Entleerung des Rückhaltebeckens mit dem jeweiligen Drosselabfluss beginnt, sobald der Zufluss diesen Wert unterschreitet (s. auch Bild 3.1).

Die korrekte Umsetzung der HRB-Standort-spezifischen Eigenschaften wurde für alle 300 HRB einzeln überprüft. Die hierzu erstellten 300 Grafiken (als Beispiel siehe Bild 3.1) zeigen, dass mit dem KOSTRA-Bemessungsereignis das ermittelte HRB-Rückhaltevolumen (im Beispiel ca. 749 000 m³) bei Einsatz des jeweiligen Drosselabflusses (im Beispiel 18,5 m³/s) perfekt ausgenutzt wird. Beim Bemessungsereignis tritt also stets der gewünschte Vollstau ohne Anspringen der HW-Entlastung ein.

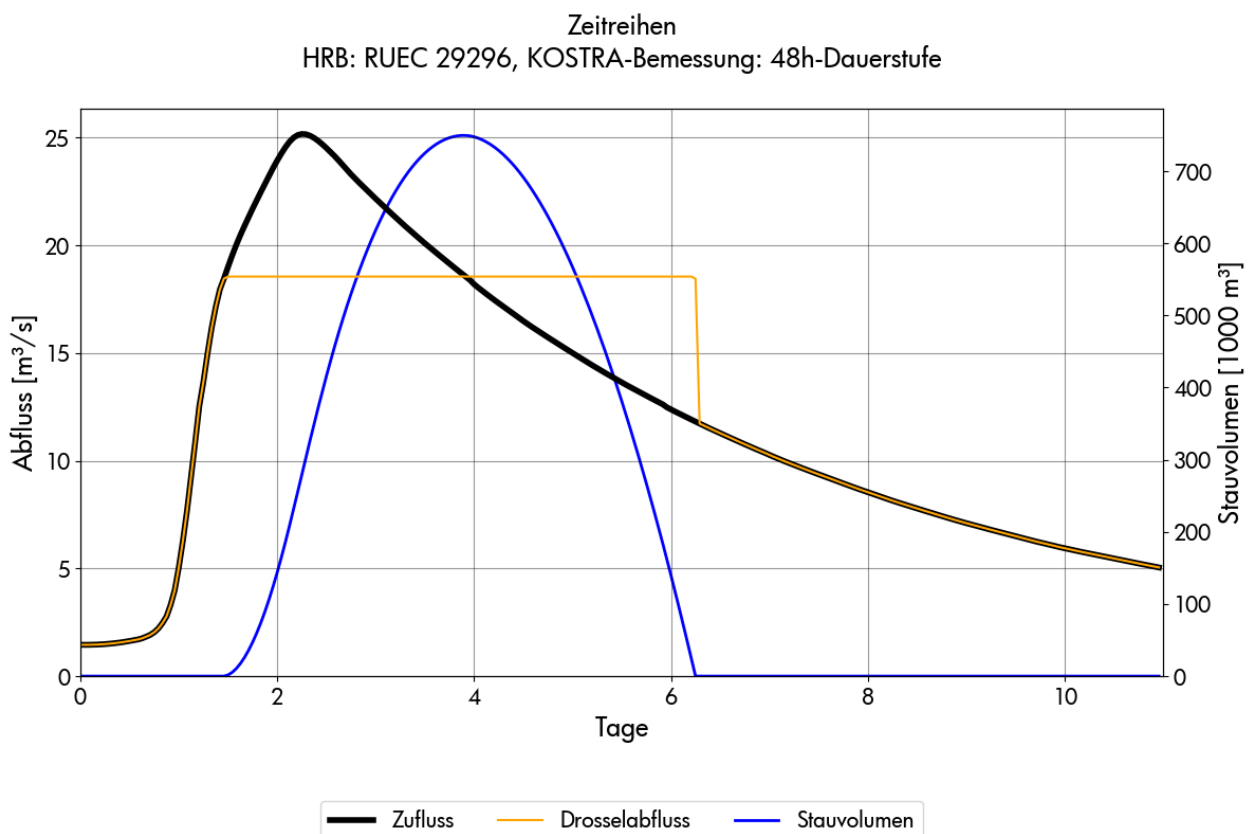


Bild 3.1: Beanspruchung des HRB-Nr. 16 (Teil C) an der Anlauter (GKZ = 13844; im Altmühl-EZG) beim KOSTRA-N₁₀₀-Ereignis mit vollständiger Nutzung des HRB-Rückhaltevolumens von ca. 749 000 m³ und ohne Anspringen der HW-Entlastung

4. Durchführung der LARSIM-Simulationen

Für die Untersuchungen innerhalb des Projektgebiets A wurden das KOSTRA-N₁₀₀-Bemessungsereignis sowie zwei vom Typ unterschiedliche, auf historischen Niederschlagsverteilungen basierende HW-Ereignisse verwendet. Bei den historischen Niederschlagsverteilungen fiel die Wahl auf das HW-Ereignis vom April 1994 (mit Niederschlagsschwerpunkt im nördlichen Wörnitzgebiet; im Folgenden Typ „April 1994“ genannt) und auf das HW-Ereignis vom Mai 1999 (mit Niederschlagsschwerpunkt im südlichen Illergebiet; im Folgenden Typ „Mai 1999 (A)“ genannt).

Da in den Projektgebieten B und C eine flächenhafte Überregnung des gesamten Donauinzugsgebiets mit einem N₁₀₀ zu unrealistisch hohen Abflüssen an der Donau führt, wurde das KOSTRA-N₁₀₀-Bemessungsereignis hier nur zur Bemessung der HRB, aber nicht für die vergleichende Untersuchung der Rückhaltewirkung von HRB und Flutpoldern verwendet. Die Untersuchung der Rückhaltewirkung in den Projektgebieten B und C erfolgte auf der Basis von je zwei vom Typ her unterschiedlichen, auf historischen Niederschlagsverteilungen basierenden HW-Ereignissen:

- Projektgebiet B: Typ „Mai 1999 (B)“ und Typ „Juni 2013“
- Projektgebiet C: Typ „Januar 2011“ und „Typ „Juni 2013“

Die historischen Niederschlagsereignisse wurden dabei jeweils so hochskaliert, dass in den betreffenden Donauabschnitten der Projektgebiete A, B und C ein Überlastfall (HQ₂₀₀ bis HQ₅₀₀) auftritt. Mit diesen Hochwasserereignissen wurden dann Simulationen für den Status-Quo ohne HRB (Szenario 0), mit Einsatz der 100 bis 300 HRB je nach Projektgebiet (Szenario 1) und mit Einsatz der je nach Ausprägung des Hochwasserereignisses an der Donau aktivierbaren Flutpolder (Szenario 2) durchgeführt.

Weitere Details zu den durchgeführten Simulationen innerhalb der drei Projektgebiete werden in den folgenden Unterkapiteln erläutert.

4.1 Berücksichtigung des Flutpoldereinsatzes bei den Simulationen

Im Bayerischen Flutpolderprogramm ist vorgesehen, dass Flutpolder grundsätzlich bei Hochwasserereignissen eingesetzt werden, die die Leistungsfähigkeit der vorhandenen Hochwasserschutzanlagen unterhalb übersteigen (sogenannter „Überlastfall“). Im Regelfall erfolgt der Einsatz bei einem Überlastfall im selben Donauabschnitt mit lokaler Scheitelkappung am Flutpolder oder regionaler Steuerung auf einen nahegelegenen Zielpegel. Zusätzlich ist auch ein Einsatz bei einem Überlastfall im nächsten unterstrom gelegenen hydrologischen Donauabschnitt vorgesehen („überregionale Steuerung“, vgl. Bild 4.1).

Welche Flutpolder bei den simulierten sehr großen HW-Ereignissen jeweils zum Einsatz kommen (Szenario 2), wurde vom AG anhand der in den einzelnen Donauabschnitten jeweils auftretenden Scheitelabflüsse festgelegt (siehe Kapitel 5).

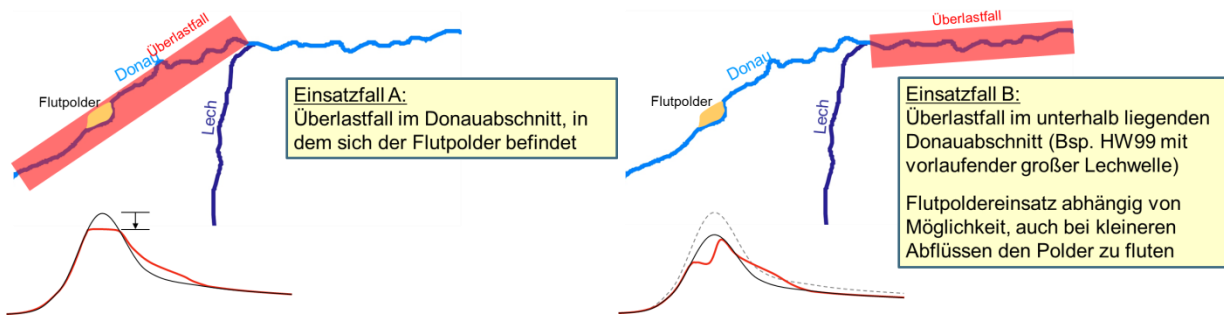


Bild 4.1: Einsatzfälle der gesteuerten Flutpolder

Im Donauabschnitt I (Projektgebiet A) liegen alle drei geplanten Flutpolder (s. Bild 4.2) im Bereich paralleler Aueströme. Dort kommt es bei kleineren Hochwasserereignissen bereits zu natürlichen Ausuferungen. Die Flutpolderstandorte Helmeringen und Neugeschüttwörth B liegen im sogenannten Riedstrom, der parallel zur Donau abfließt und in Gänze erst vor Donauwörth wieder in die Donau zurückfließt. Der Abflussanteil, der über die Leistungsfähigkeit der Donau hinausgeht, fließt somit vor allem im Riedstrom ab. Ein Hochwasserrückhalt beim lokalen Überlastfall muss bei den dort vorgesehenen Flutpoldern direkt über eine Regulierung des Auestroms erfolgen. Wie die Flutpolder dabei in effektiver Kombination eingesetzt werden sollen, war zum Zeitpunkt dieser Untersuchung noch in Diskussion. Eine Simulation der lokalen Flutpolderwirkung für einen Überlastfall im Donauabschnitt I ist daher nicht erfolgt. Allerdings zeigen Wirkungsanalysen der Technischen Universität München für vergleichbare hydrologische Szenarien, in welcher Größenordnung die Scheitelreduktionen bereits bei einem Einsatz nur von Neugeschüttwörth B ausfallen könnten (vgl. Kapitel 5.1).

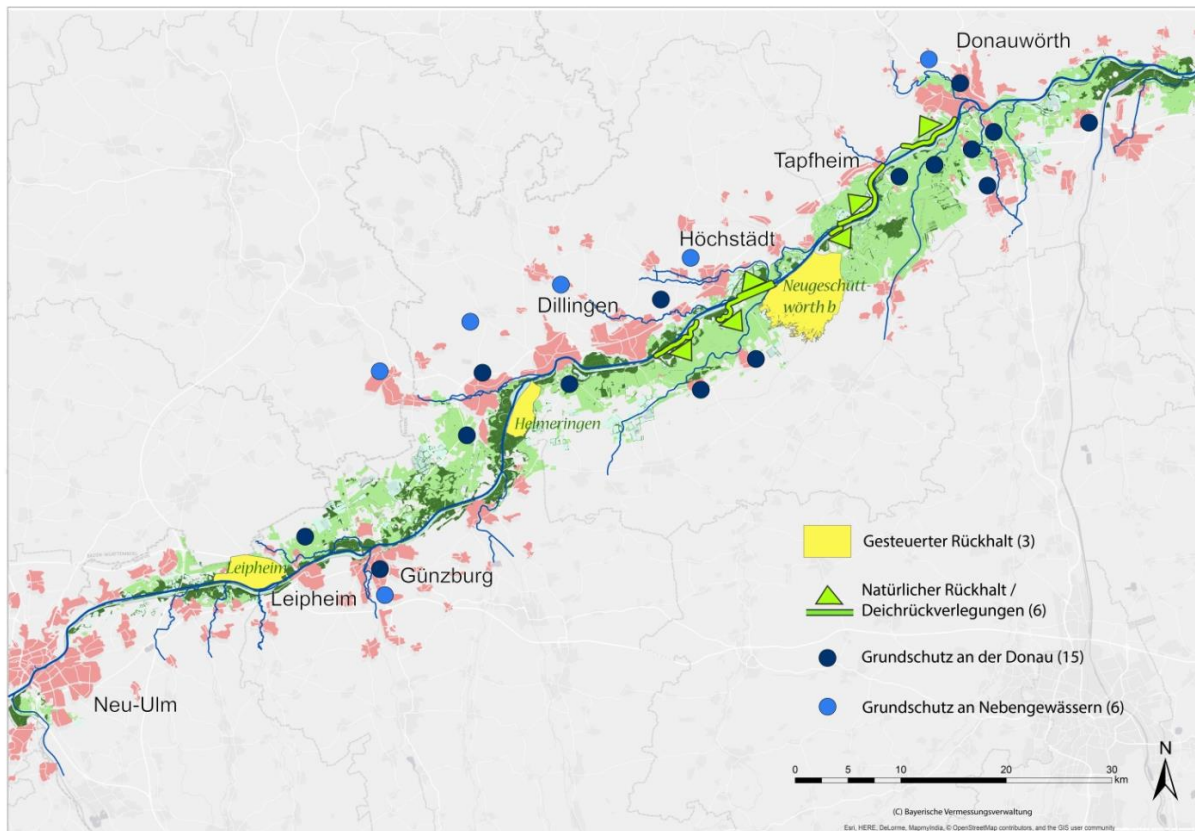


Bild 4.2: Vorgesehene Maßnahmen an der Schwäbischen Donau mit Planungsumgriffen der drei Flutpolder im Donauabschnitt I

Der Einsatz der Flutpolder für den Überlastfall in den Donauabschnitten II und III für die Simulationen in den Projektgebieten B und C (Flutpolder als Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss zur Donau) wurde durch den AG vorgegeben. Hierfür wurde modelltechnisch wie folgt vorgegangen:

Zur Berücksichtigung eines Flutpolders wurde die am jeweiligen Standort in LARSIM simulierte Abflussganglinie der Donau vom AN ausgelesen. Der AG berechnete die Reduzierung der HW-Ganglinie durch den Flutpolder und stellte dem AN die reduzierte HW-Ganglinie mit Flutpolder-Berücksichtigung im Anschluss zum Wiedereinlesen an gleicher Stelle ins Modell zur Verfügung. Dies erfolgte bei jedem simulierten Abflusszenario Schritt für Schritt, d. h. für einen Flutpolder nach dem anderen. Analog wurde auch bei der Simulation des Flutpolders Weidachwiesen an der Iller vorgegangen, sofern dort die Abflüsse über der Einsatzschwelle lagen.

Bei einem lokalen Flutpoldereinsatz (s. Bild 4.1, Einsatzfall A mit Überlastfall im selben Donauabschnitt) erfolgte eine horizontale Scheitelkappung unter Ausnutzung des gesamten Rückhaltevolumens. Dies repräsentiert eine optimale Scheitelkappung und somit die maximal mögliche Reduktion des Scheitelabflusses. Um dies im realen Einsatzfall unter operationellen Bedingungen zu erreichen, müsste streng genommen der zu erwartende weitere Verlauf der Hochwasserganglinie bereits im ansteigenden Ast des Ereignisses bekannt sein. In der Realität basiert die Steuerung der Flutpolder jedoch nicht auf exakt bekannten Ganglinien, sondern auf entsprechenden operationellen Hochwasservorhersagen, die mit gewissen Unsicherheiten behaftet sind. Daher kann es im realen Einsatzfall der Flutpolder möglicherweise nicht exakt zu der hier angenommenen horizontalen Scheitelkappung kommen.

Um zu beurteilen, welche Auswirkungen die Unsicherheiten in der Vorhersage auf die Scheitelkappung haben könnten, ist zu berücksichtigen, dass während des Ereignisses eine Nachsteuerung des einzelnen Flutpolders möglich ist. Mit einer Nachsteuerung, welche die aktuelle Flutpolderfüllung und fortlaufend aktualisierte Abflussvorhersagen berücksichtigt, kann zumindest näherungsweise das gesamte Flutpoldervolumen ausgenutzt werden. Somit ist eine nahezu vollständige Nutzung des Flutpoldervolumens auch im operationellen Fall wahrscheinlich.

Am ersten eingesetzten Flutpolderstandort wäre in diesem Fall aber vermutlich keine optimale horizontale Kappung möglich. Nimmt man z. B. an, dass das Hochwasser zunächst unterschätzt wird, würde das dazu führen, dass zu Beginn des Scheitels der Abfluss auf einem niedrigeren Niveau gekappt wird. Später im Ereignis müsste die Kappung dann auf einem höheren Niveau erfolgen, um den Flutpolder nicht zu überlasten. Dieses spätere, höhere Niveau läge trotz vollständiger Ausnutzung des Poldervolumens dann über der hier angenommenen optimalen horizontalen Kappung. Würde das Hochwasser zunächst überschätzt, so hätte dies grundsätzlich denselben Effekt, nur dass nun das höhere Niveau zu Beginn des Scheitels läge (vgl. auch Zwischenbericht der TU München zur „Vertieften Wirkungsanalyse zu Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“ vom Juni 2014, verfügbar über: https://www.lfu.bayern.de/wasser/hw_flutpolder/index.htm).

Im hier betrachteten Fall der bayerischen Donau hat man für eine bestmögliche Flutpoldersteuerung den zusätzlichen Vorteil, dass mehrere Flutpolderstandorte hintereinanderliegen. Sofern die Wellenlaufzeiten zwischen den Flutpolderstandorten ausreichend lang sind, kann man eventuelle Fehleinschätzungen an Oberlieger-Flutpoldern durch eine angepasste Steuerung von Unterlieger-Flutpoldern ausgleichen. Dies kommt vor allem beim überregionalen Einsatz von Flutpoldern zum Tragen.

Bei einem überregionalen Einsatz als vorgeschalteter Flutpolder (s. Bild 4.1, Einsatzfall B) erfolgte eine konstante Ausleitung über einen längeren Zeitraum. Dieser wurde so gewählt, dass mit hoher Sicherheit der Hochwasserscheitel des unterhalb einmündenden abflussstarken Zuflusses beeinflusst werden kann. In Abhängigkeit von der Größe des Hochwasserereignisses am Flutpolder selbst ($\text{Abfluss} < \text{HQ}_{100}$) wurde ein niedrigerer maximaler Zulauf in den Flutpolder sowie nur eine Teilfüllung angesetzt. In dieser Art wurde auch ein Einsatz von Neugeschüttwörth B als vorgeschalteter Flutpolder mit Ausleitung aus der Donau beim Überlastfall im Donauabschnitt unterhalb der Lechmündung simuliert.

Grundsätzlich ist also zu beachten, dass für die hier angesetzte Steuerung der Flutpolder idealisierte Annahmen getroffen wurden. Im realen Einsatz könnte die Wirkung der Flutpolder durch die Unsicherheit der Abflussvorhersagen je nach tatsächlicher Situation vor allem bei den zuerst eingesetzten Flutpoldern etwas geringer sein. Diese Einschränkung sollte bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Insgesamt dürfte der Unterschied zwischen der realen und der hier ermittelten Flutpolderwirkung auf die Ganglinien an den betrachteten Zielpegeln aber gering sein. Trotz der ausgeführten Einschränkung können die in dieser Studie dargestellten Auswirkungen der Flutpolder daher als solide Abschätzungen gelten, die zum Vergleich mit der HRB-Wirkung herangezogen werden können.

4.2 Simulationen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet A

4.2.1 KOSTRA-N₁₀₀-Ereignis

Als einheitliches Überregnungsereignis wurde der in Kapitel 2.3 definierte KOSTRA-N₁₀₀-Bemessungslauf (48h Dauerstufe) verwendet. Mit diesem wurden die Rückhaltevolumina und Drosselabflüsse der 100 fiktiven HRB festgelegt (siehe Kapitel 2). Dieses rein hypothetische Ereignis mit flächendeckendem hundertjährlichem Niederschlag ist ein eher unrealistisches Szenario. Die Wirkung der 100 fiktiven Becken sollte aber trotzdem auch mit diesem Ereignis simuliert werden, da hierbei ein perfekter Einstau der 100 HRB erzielt werden kann. Das gesamte HRB-Rückhaltevolumen aller 100 HRB wird somit lokal optimal als Rückhalt genutzt.

Für die nachfolgenden Auswertungen wurde zunächst ein Szenario 0 mit dem Status-Quo des LARSIM-Modells (Bezugszustand) simuliert. Ihm folgte das Szenario 1 mit den eingeschalteten 100 HRB bei ansonsten identischem Input. Bei beiden Simulationsläufen wurde die ereignisspezifische Wirkung des bestehenden Flutpolders Weidachwiesen an der Iller berücksichtigt.

4.2.2 HW-Ereignis vom Typ „April 1994“

Das sehr große HW-Ereignis vom Typ „April 1994“ basiert auf einer hochskalierten Niederschlagsverteilung des historischen HW-Ereignisses vom April 1994. Dabei stammen die Niederschlagsdaten von 26 Stundenwert- und 152 Tageswertstationen. Die Tageswertdaten wurden dabei fachgerecht auf Stundenwerte disaggregiert (statistisch aufbereitet).

Der eigentliche Hochwasserzeitraum (Mitte April 1994) wurde zunächst mit den vorliegenden historischen Niederschlagsdaten durchgerechnet. Die so simulierten Ganglinien wurden an sechs wichtigen Pegeln (Wiblingen/Iller, Nattenhausen/Günz, Offingen/Mindel, Pfaffenhofen/Zusam, Harburg/Wörnitz und Donauwörth/Donau) mit den gemessenen Abflussganglinien vom April 1994 verglichen und das Modell anschließend so nachkalibriert, dass die simulierten mit den damals gemessenen Scheitelwerten zufriedenstellend übereinstimmten.

Das vorgegebene Ziel beinhaltete eine Hochskalierung des HW-Ereignisses auf einen Scheitelabfluss in Donauwörth im Bereich eines HQ₂₀₀ bis HQ₅₀₀. Gewählt wurde ein Abfluss am Zielpegel Donauwörth von rd. 1 670 m³/s (etwa HQ₄₀₀).

Für das baden-württembergische EZG der Donau oberhalb der Illermündung fand keine N/A-Simulation statt. Hier wurde vereinfachend die gemessene Zulaufganglinie des historischen Ereignisses am baden-württembergischen Pegel Berg/Donau (kurz vor Ulm gelegen) mit folgendem Faktor hochskaliert:

- $Q_{\text{sim-Ziel}}$ in DONW = rd. 1 670 m³/s
- $Q_{\text{gem-max}}$ in DONW (HW April 1994) = 1 340 m³/s
- Skalierungsfaktor = $Q_{\text{sim-Ziel}}$ in DONW / $Q_{\text{gem-max}}$ in DONW = 1,25

Somit ergab sich beim HW-Ereignis vom Typ „April 1994“ eine Erhöhung des Donauzuflusses von 130 m³/s auf 162 m³/s. Das HW im baden-württembergischen Teil ist nur sehr schwach ausgeprägt (klar unter dem dortigen HQ₂-Wert von 200 m³/s). Die Nicht-Berücksichtigung des baden-württembergischen Donauebiets bei der HRB-Standortwahl hat daher vermutlich keine bzw. nur geringe Auswirkungen auf die Ergebnisse.

Danach erfolgte in weiteren iterativen LARSIM-Läufen die Hochskalierung der historischen Niederschläge, bis der gewünschte Scheitelabfluss im Bereich eines HQ_{200} bis HQ_{500} am Pegel Donauwörth/Donau (ca. $1\,670\text{ m}^3/\text{s}$) erreicht wurde. Der so ermittelte Skalierungsfaktor für die Niederschlagswerte lag bei 1,19.

Bei der geringen Ausprägung des HW-Ereignisses vom Typ „April 1994“ im Oberlauf der Iller (simulierter Scheitelabfluss am Einlassbauwerk des FP Weidachwiesen bei ca. $160\text{ m}^3/\text{s}$) würde der Flutpolder Weidachwiesen nicht eingesetzt werden. Er wurde daher bei diesem HW-Ereignis auch nicht berücksichtigt.

Bild 4.3 zeigt den Vergleich der ursprünglich gemessenen Ganglinie Q_{gem} (hellblau) für das Hochwasser vom April 1994 mit der nach Hochskalierung der Niederschläge simulierten Q_{sim} -Abflussganglinie (rot) am Pegel Donauwörth/Donau.

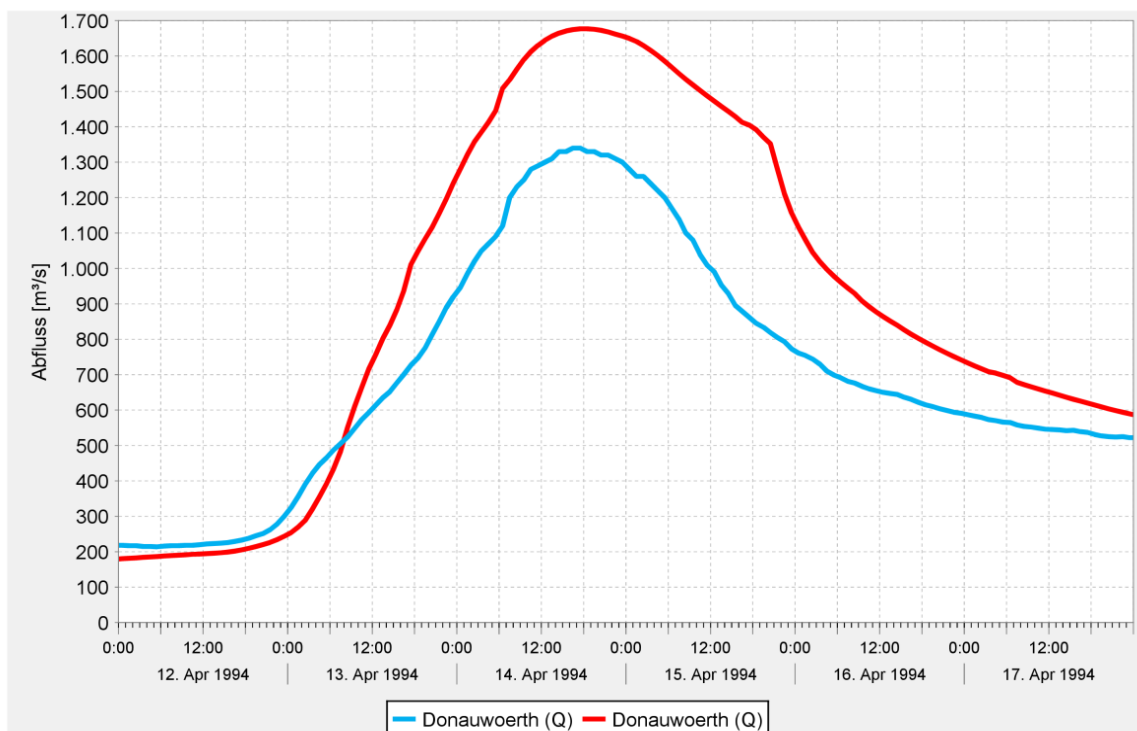


Bild 4.3: Vergleich der HW-Wellen am Pegel Donauwörth/Donau: Q_{gem} (blau - HW April 1994) mit $Q_{\text{sim-hochskaliert}}$ (rot)

Der final abgestimmte Simulationslauf stellte das Szenario 0 (ohne 100 HRB) dar, also den Bezugszustand mit einem sehr großen HW-Ereignis vom Typ „April 1994“, bei dem die historischen Niederschläge entsprechend hochskaliert wurden.

Analog hierzu erfolgte der Simulationslauf mit 100 HRB als Szenario 1 unter Verwendung der identischen hydrologischen Randbedingungen.

4.2.3 HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“

Das sehr große HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“ basiert auf einer hochskalierten Niederschlagsverteilung des historischen HW-Ereignisses vom Mai 1999.

Der eigentliche Hochwasserzeitraum (Mitte Mai 1999) wurde zunächst mit den vorliegenden historischen Niederschlagsdaten durchgerechnet. Die so simulierten Ganglinien wurden an sechs wichtigen Pegeln (Wiblingen/Iller, Nattenhausen/Günz, Offingen/Mindel, Pfaffenhofen/Zusam, Harburg/Wörnitz und Donauwörth/Donau) mit den gemessenen Abflussganglinien vom Mai 1999 verglichen, wobei eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen simulierten und gemessenen Scheitelwerten erzielt werden konnte.

Analog zum Vorgehen beim HW-Ereignis vom Typ „April 1994“ (s. Kapitel 4.2.2) wurde ein Abfluss am Zielpiegel Donauwörth von rd. 1 670 m³/s (etwa HQ₄₀₀) gewählt.

Der Skalierungsfaktor für den historischen Donauzufluss in Berg/Donau wurde wie folgt berechnet:

- $Q_{\text{sim-Ziel}}$ in DONW = rd. 1 670 m³/s
- $Q_{\text{gem-max}}$ in DONW (HW Mai 1999) = 1 060 m³/s
- Skalierungsfaktor = $Q_{\text{sim-Ziel}}$ in DONW / $Q_{\text{gem-max}}$ in DONW = 1,58

Somit ergab sich beim HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“ eine Erhöhung des Donauzuflusses von 97,8 m³/s auf 154,5 m³/s. Analog zum HW-Ereignis vom Typ „April 1994“ (s. Kapitel 4.2.2) ist das HW im baden-württembergischen Teil nur sehr schwach ausgeprägt und die Nicht-Berücksichtigung des baden-württembergischen Donauegebiets bei der HRB-Standortwahl hat somit vermutlich ebenfalls keine bzw. nur geringe Auswirkungen auf die Ergebnisse.

Bis zum Pegel Kempten/Iller erfolgte eine Hochskalierung mit dem Faktor 1,25, womit ein extremer aber noch realistischer Scheitelabfluss von ca. 1 120 m³/s erreicht wurde. Daraufhin wurde die ereignisspezifische abflussmindernde Wirkung des bestehenden Flutpolders Weidachwiesen an der Iller berücksichtigt.

Im Anschluss erfolgte mit einer Reihe von iterativen Simulationsläufen im restlichen Einzugsgebiet (von Kempten bis Donauwörth) die Hochskalierung der historischen Niederschläge, bis der gewünschte Scheitelabfluss im Bereich eines HQ₂₀₀ bis HQ₅₀₀ am Pegel Donauwörth/Donau von ca. 1 670 m³/s erreicht wurde. Der für diesen großen Bereich ermittelte Skalierungsfaktor für die historischen Niederschläge lag bei 1,34.

Bild 4.4 zeigt den Vergleich der ursprünglich gemessenen Ganglinie Q_{gem} für das Hochwasser vom Mai 1999 mit der nach Hochskalierung der Niederschläge simulierten Q_{sim} Abflussganglinie am Pegel Donauwörth/Donau.

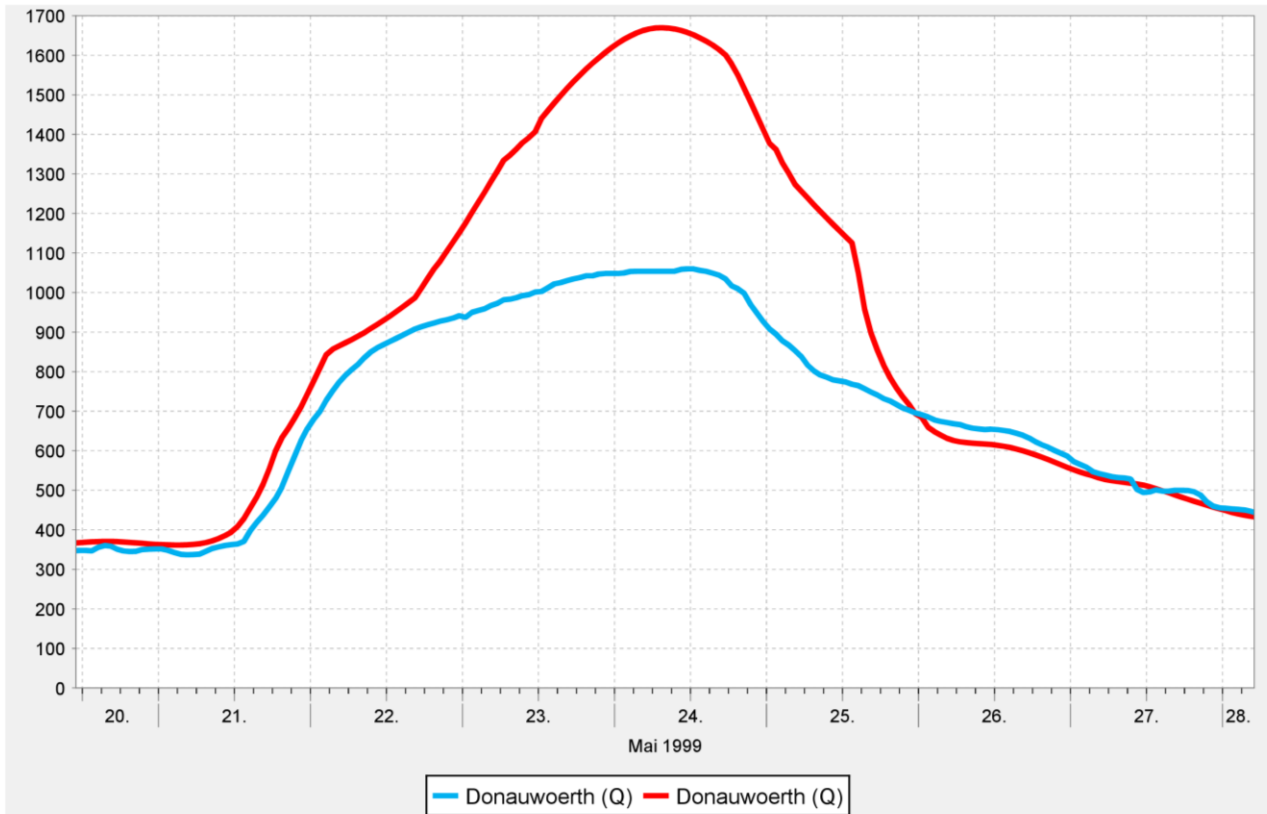


Bild 4.4: Vergleich der HW-Wellen am Pegel Donauwörth/Donau: Q_{gem} (hellblau – HW Mai 1999) mit $Q_{sim-hochskaliert}$ (rot)

Der final abgestimmte Simulationslauf stellte das Szenario 0 (ohne 100 HRB) dar, also den Bezugzustand mit einem sehr großen HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (A)“, bei dem die historischen Niederschläge entsprechend hochskaliert wurden.

Danach erfolgten die Simulationen für das Szenario 1, also mit 100 HRB, wiederum unter Verwendung der identischen hydrologischen Randbedingungen. Auch hierbei wurde die Wirkung des Flutpolders Weidachwiesen an der oberen Iller berücksichtigt.

4.3 Simulationen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet B

4.3.1 HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“

Das sehr große HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ basiert, analog zum Projektgebiet A, auf einer hochskalierten Niederschlagsverteilung des historischen HW-Ereignisses vom Mai 1999.

Der eigentliche Hochwasserzeitraum (Ende Mai 1999) wurde zunächst auch für das Projektgebiet B mit den vorliegenden historischen Niederschlagsdaten durchgerechnet. Die so simulierten Ganglinien wurden an sechs wichtigen Pegeln (Druisheim/Schmutter, Augsburg/Lech, Manching/Paar, Geisenfeld/Ilm, Aunkofen/Abens und Kelheim/Donau) mit den gemessenen Abflussganglinien vom Mai 1999 verglichen, wobei mit dem Modell auch hier eine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen simulierten und gemessenen Scheitelwerten erzielt werden konnte.

Bei dem hier verwendeten HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ war allerdings ein niedrigerer Skalierungsfaktor als bei dem oben beschriebenen gleichnamigen Ereignis im Projektgebiet A erforderlich, da der Abfluss am Zielpegel Kelheim beim historischen HW 1999 eine deutlich höhere Jährlichkeit aufwies als der Abfluss am Pegel Donauwörth (Zielpegel Projektgebiet A). Gewählt wurde ein Abfluss am Zielpegel Kelheim von rd. 2 530 m³/s (etwa HQ₃₀₀₋₄₀₀). Die Benennung des HW-Ereignisses mit Typ „Mai 1999 (B)“ soll die unterschiedliche Skalierung gegenüber jener im Projektgebiet A beim HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“ verdeutlichen.

Der Skalierungsfaktor für den historischen Zufluss in Berg/Donau wurde wie folgt berechnet:

- $Q_{\text{sim-Ziel}}$ in KELH = ca. 2 530 m³/s
- $Q_{\text{gem-max}}$ in KELH (HW Mai 1999) = 2 140 m³/s
- Skalierungsfaktor = $Q_{\text{sim-Ziel}}$ in KELH / $Q_{\text{gem-max}}$ in KELH = 1,18

Dies bedeutet für den Scheitelabfluss am Pegel Berg/Donau bei diesem HW-Ereignis eine Erhöhung von 97,8 m³/s auf 115,4 m³/s. Auch hier ist das HW vom Typ „Mai 1999 (B)“ im baden-württembergischen Teil nur sehr schwach ausgeprägt.

Zusätzlich stellte der AG an den Auslässen des Grüntensees (Wertach) bzw. des Forggensees (Lech) für dieses sehr große HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ plausible, von den entsprechend mit dem gleichen Faktor hochskalierten historischen Zuflussganglinien abgeleitete Abflussganglinien aus den Wasserspeichern als Startganglinien für die Simulationen zur Verfügung.

Bis zum Pegel Kempten/Iller erfolgte eine Hochskalierung mit dem Faktor 1,055, um einen extremen aber noch realistischen Scheitelabfluss von ca. 950 m³/s (im Bereich eines HQ₁₀₀₀) zu erreichen. Anschließend erfolgte wiederum die Berücksichtigung des FP Weidachwiesen bei diesem hochskalierten HW-Ereignis.

Mit den vier besonderen Zuflussganglinien (Berg/Donau, FP Weidachwiesen, Auslass Grüntensee und Auslass Forggensee) erfolgte im Anschluss mittels einer Reihe von iterativen Simulationsläufen im restlichen Einzugsgebiet die Hochskalierung der historischen Niederschläge, bis der gewünschte Scheitelabfluss im Bereich eines HQ₂₀₀ bis HQ₅₀₀ am Pegel Kelheim/Donau von ca. 2 530 m³/s erreicht wurde. Für diesen Bereich lag der Skalierungsfaktor für die historischen Niederschläge bei 1,07 (s. auch Bild 4.5).

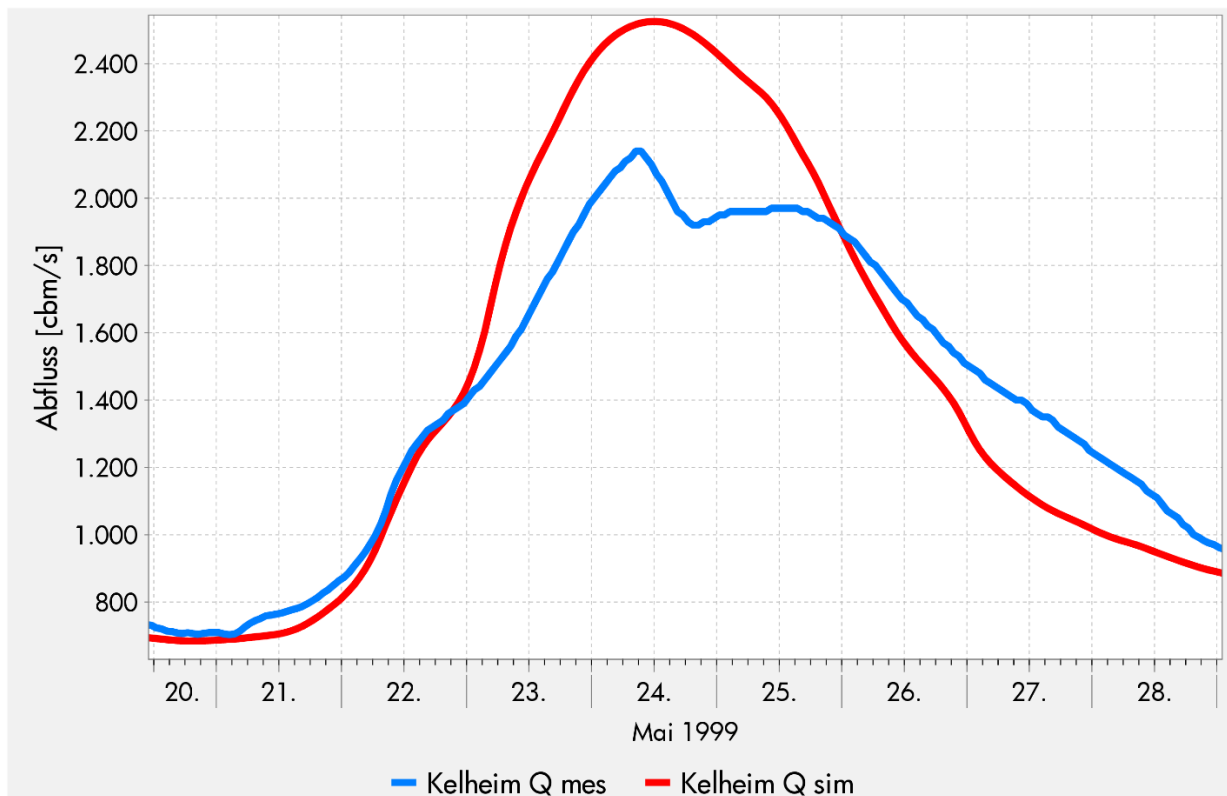


Bild 4.5: Vergleich der HW-Wellen am Pegel Kelheim/Donau: Q_{gem} (hellblau – HW Mai 1999 - mit Deichbruch bei Neustadt) mit $Q_{\text{sim-hochskaliert}}$ (rot)

Mit dieser Hochskalierung war das Szenario 0 für das sehr große HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ abgeschlossen.

Das Szenario 1, die Simulation mit eingeschalteten HRB, basierte auf dem komplett gleichen Set-Up wie das Szenario 0. Es wurden lediglich die insgesamt 200 HRB der Projektgebiete A und B zusätzlich eingeschaltet, um deren Wirkung auf die Donauabflüsse zu ermitteln.

Das abschließende Szenario 2 beinhaltete den Einsatz der vier geplanten Donau-Flutpolder im Donauabschnitt II: Bertoldsheim (geplantes Rückhaltevolumen von 18,0 Mio. m³), Riedensheim (8,1 Mio. m³), Großmehring (13,5 Mio. m³) und Katzau (7,2 Mio. m³). Zusätzlich erfolgte noch eine vorgeschaltete Reduktion des Donauabflusses durch einen überregionalen Einsatz des Flutpolders Neugeschüttwörth B (32,0 Mio. m³), wie es bei einem Überlastfall im Donauabschnitt unterhalb der Lechmündung vorgesehen ist. Die Simulation der Flutpolder erfolgte wie in Kapitel 4.1 beschrieben.

4.3.2 HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“

Das sehr große HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ basiert auf einer hochskalierten Niederschlagsverteilung des historischen HW-Ereignisses vom Juni 2013.

Der eigentliche Hochwasserzeitraum (Anfang Juni 2013) wurde zunächst mit den vorliegenden historischen Niederschlagsdaten durchgerechnet. Die so simulierten Ganglinien wurden erneut an den sechs wichtigen Pegeln (Druisheim/Schmutter, Augsburg/Lech, Manching/Paar, Geisenfeld/Ilm, Aunkofen/Abens und Kelheim/Donau) mit den gemessenen Abflussganglinien vom Juni 2013 verglichen. Nach einer Nachkalibrierung für den Pegel Aunkofen/Abens konnte mit dem Modell überall eine zufriedenstellende Übereinstimmung mit den Messwerten erreicht werden.

Analog zum Vorgehen beim HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ (s. Kapitel 4.3.1) wurde ein Abfluss am Zielpegel Kelheim von rd. 2 530 m³/s (etwa HQ₃₀₀₋₄₀₀) gewählt.

Der Skalierungsfaktor für den historischen Zufluss in Berg/Donau wurde wie folgt berechnet:

- $Q_{\text{sim-Ziel}}$ in KELH = ca. 2 530 m³/s
- $Q_{\text{gem-max}}$ in KELH (HW Mai 1999) = 1 820 m³/s
- Skalierungsfaktor = $Q_{\text{sim-Ziel}}$ in KELH / $Q_{\text{gem-max}}$ in KELH = 1,39

Dies bedeutet bei diesem HW-Ereignis eine Erhöhung des Scheitelabflusses am Pegel Berg/Donau von 195 m³/s auf 271 m³/s. Somit ist auch hier das HW im baden-württembergischen Teil relativ klein und die Nicht-Berücksichtigung bei der HRB-Standortwahl hat daher vermutlich nur geringe Auswirkungen auf die Ergebnisse.

Zusätzlich stellte der AG wiederum an den Auslässen des Grüntensees (Wertach) bzw. des Forggensees (Lech) für dieses sehr große HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ plausible, von den entsprechend mit dem gleichen Faktor hochskalierten historischen Zuflussganglinien abgeleitete Abflussganglinien aus den Wasserspeichern als Startganglinien zur Verfügung.

Bis zum FP Weidachwiesen (bzw. bis zum Pegel Kempten/Iller) wurde eine Hochskalierung der simulierten Abflüsse auf ca. 950 m³/s am Pegel Kempten/Iller (extremes HW im Bereich eines HQ₁₀₀₀) durchgeführt. Hierzu wurde ein Skalierungsfaktor des Niederschlags von 1,26 verwendet. Anschließend erfolgte die Berücksichtigung des FP Weidachwiesen bei diesem hochskalierten HW-Ereignis.

Danach erfolgte eine Skalierung der simulierten Abflüsse in zwei Stufen. Zuerst wurde auf einen Scheitelabfluss von ca. 1 200 m³/s in Bad Held/Donau (großes HW-Ereignis, aber < HQ₁₀₀) mit einem Niederschlagskorrekturfaktor von 0,80 skaliert. Im anschließenden Bereich wurde der Scheitelabfluss in Donauwörth/Donau auf ca. 1 400 m³/s (erneut großes HW-Ereignis, aber < HQ₁₀₀) hochskaliert, was mit einem Niederschlagskorrekturfaktor von 1,35 erreicht wurde. Ziel war also ein generell hohes Abflussniveau im Projektgebiet A, aber ohne Erreichen eines Überlastfalls, damit ein Einsatz der Flutpolder im 1. Donauabschnitt für einen dortigen Überlastfall nicht erforderlich ist.

Abschließend wurde im restlichen Bereich (also nach Donauwörth bzw. nach den Auslässen von Grünten- und Forggensee) bis zum Pegel Kelheim/Donau mit einem Niederschlagskorrekturfaktor von 1,37 hochskaliert. Der anvisierte Scheitelabfluss am Pegel Kelheim/Donau lag hierzu bei ca. 2 530 m³/s (= extremes HW im Bereich eines HQ₂₀₀ bis HQ₅₀₀; siehe auch Bild 4.6).

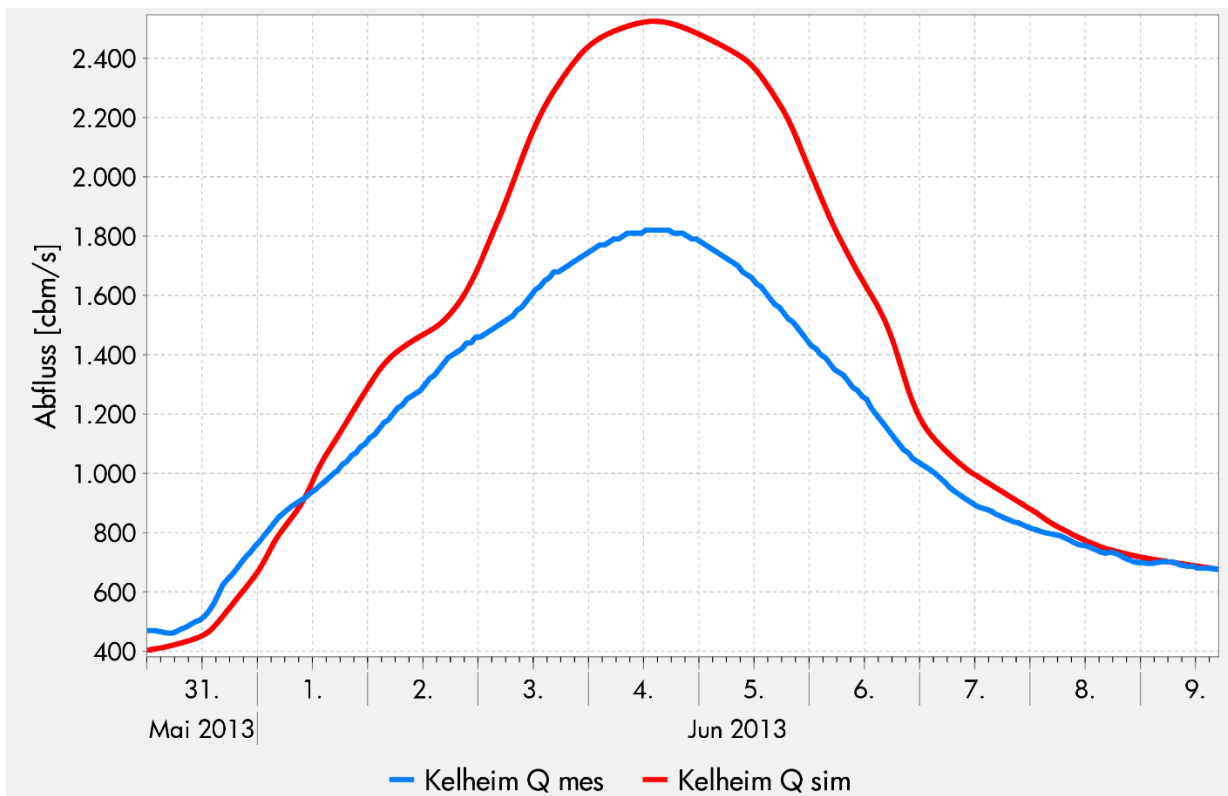


Bild 4.6: Vergleich der HW-Wellen am Pegel Kelheim/Donau: Q_{gem} (hellblau – HW Juni 2013) mit $Q_{\text{sim-hochskaliert}}$ (rot)

Mit dieser dreistufigen Hochskalierung war das Szenario 0 für das sehr große HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ abgeschlossen.

Das Szenario 1, die Simulation mit eingeschalteten HRB, baute erneut auf dem komplett gleichen Set-Up wie das Szenario 0 auf. Es wurden lediglich die insgesamt 200 HRB der Projektgebiete A und B zusätzlich eingeschaltet, um deren Wirkung auf die Donauabflüsse ermitteln zu können.

Das abschließende Szenario 2 beinhaltet wieder den Einsatz der vier geplanten Donau-Flutpolder im Donauabschnitt II: Bertoldsheim, Riedensheim, Großmehring und Katzau. Zusätzlich erfolgte auch hier noch eine vorgeschaltete Reduktion des Donauabflusses durch einen überregionalen Einsatz des Flutpolders Neugeschüttwörth B, wie es bei einem Überlastfall im Donauabschnitt unterhalb der Lechmündung vorgesehen ist. Die Simulation der Flutpolder erfolgte wieder wie in Kapitel 4.1 beschrieben.

4.4 Simulationen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet C

4.4.1 HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“

Das sehr große HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ basiert auf einer hochskalierten Niederschlagsverteilung des historischen HW-Ereignisses vom von der Schneeschmelze beeinflussten HW-Ereignis vom Januar 2011.

Der eigentliche Hochwasserzeitraum (Mitte Januar 2011) wurde zunächst mit den vorliegenden historischen Niederschlagsdaten durchgerechnet. Die so simulierten Ganglinien wurden an sechs wichtigen Pegeln (Beilngries/Altmühl, Deuring/Schwarze Laber, Heitzenhofen/Naab, Marienthal/Regen, Schönach/Große Laber und Schwabelweis/Donau) mit den gemessenen Abflussganglinien vom Januar 2011 verglichen. Hierbei ergab sich an allen Pegeln Nachjustierbedarf, insbesondere wegen des Schneeeinflusses bei diesem Ereignis. Diese Nachjustierung erfolgte mittels iterativ bestimmter EZG-spezifischer Anpassung der Start-Bodenfeuchte und durch eine Reduzierung des zu Beginn des HW-Ereignisses vorhandenen Schneewasseräquivalents. Hiermit konnte letztlich eine zufriedenstellende Übereinstimmung der Scheitelabflüsse (Q_{sim} zu Q_{gem}) an den sechs wichtigen Pegeln erreicht werden.

Das vorgegebene Ziel beinhaltete eine Hochskalierung des HW-Ereignisses auf einen Scheitelabfluss in Straubing im Bereich eines HQ_{200} bis HQ_{500} . Gewählt wurde ein Abfluss am Zielpegel Straubing von rd. $3\,910\text{ m}^3/\text{s}$ (etwa HQ_{300}).

Für das Szenario 0 (= Status Quo mit Hochskalierung in den Bereich HQ_{200} – HQ_{500} am Zielpegel Straubing/Donau) war eine zweistufige Hochskalierung vorgesehen (bis Donauwörth/Donau auf ein hohes Niveau ohne Erreichen eines Überlastfalls bzw. im Anschluss bis Straubing/Donau auf etwa HQ_{300}). Da bei diesem HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ die großen Wassermengen hauptsächlich aus den Gebieten nördlich der Donau stammten, konnte auf eine Berücksichtigung des FP Weidachwiesen und auf eine separate Skalierung des Pegels Berg/Donau sowie der Abflüsse aus Forgggen- und Grüntensee verzichtet werden.

Der Skalierungsfaktor für die Ermittlung der Ablaufganglinien aus den Wasserspeichern im Naab-/Regengebiet wurde entsprechend der bisherigen Vorgehensweise wie folgt berechnet (wobei hier jedoch der Pegel Schwabelweis anstelle Straubing verwendet wurde, da für Straubing nur Wasserstände vorliegen):

- $Q_{sim-Ziel}$ in Schwabelweis = ca. $3\,910\text{ m}^3/\text{s}$
- $Q_{gem-max}$ in Schwabelweis (HW Januar 2011) = $2\,170\text{ m}^3/\text{s}$
- Skalierungsfaktor = $Q_{sim-Ziel}$ in Schw. / $Q_{gem-max}$ in Schw. = 1,80

So erfolgte im ersten Schritt eine Hochskalierung der simulierten Abflüsse im gesamten Donau-EZG bis Donauwörth auf einen Scheitelabfluss von ca. $1\,400\text{ m}^3/\text{s}$ am Pegel Donauwörth/Donau (großes HW-Ereignis, aber $< HQ_{100}$). Ziel war also ein generell hohes Abflussniveau im Projektgebiet A, aber ohne Erreichen eines Überlastfalls. Dieses Ziel wurde mit einer Hochskalierung des Niederschlags mit dem Faktor 1,51 erreicht (simulierter Scheitelabfluss von $1\,374\text{ m}^3/\text{s}$).

Vor der zweiten Stufe der Hochskalierung bis Straubing/Donau stellte der AG an den Ausläsen der vier Speicher im Oberlauf des Naab- bzw. Regen-Gebiets (Liebensteinspeicher/Waldnaab, Eixendorfer See/Schwarzach, Drachensee/Chamb und Trinkwasser-Talsperre Frauenau/Kleiner Regen) für dieses sehr große HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ plausible, von den entsprechend skalierten historischen Zuflussganglinien abgeleitete Abflussganglinien aus den Wasserspeichern als Startganglinien zur Verfügung.

Im Anschluss erfolgte mit einer Reihe von iterativen Simulationsläufen im restlichen Einzugsgebiet die Hochskalierung der historischen Niederschläge, bis der gewünschte Scheitelabfluss im Bereich eines HQ_{200} bis HQ_{500} am Pegel Straubing/Donau erreicht wurde. Der finale Skalierungsfaktor des historischen Niederschlags in diesem Gebiet zwischen Donauwörth und Straubing lag bei 1,61.

Mit dieser zweistufigen Hochskalierung und mit Berücksichtigung besonderer Q_{sim} -Auslassganglinien an den vier Speichern war das Szenario 0 für das sehr große HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ abgeschlossen.

Das Szenario 1, die Simulation mit eingeschalteten HRB, baute, analog zum Vorgehen in den Projektgebieten A und B, auf dem komplett gleichen Set-Up wie das Szenario 0 auf. Es wurden lediglich die insgesamt 300 HRB aller drei Projektgebiete (A, B und C) zusätzlich eingeschaltet, um deren Wirkung auf die Donauabflüsse zu ermitteln.

Das abschließende Szenario 2 beinhaltete den Einsatz der drei geplanten Donau-Flutpolder im Donauabschnitt III: Eltheim (geplantes Rückhaltevolumen von 16,0 Mio. m^3), Wörthhof (16,0 Mio. m^3) und Oberauer Schleife (13,8 Mio. m^3). Zusätzlich erfolgte eine zweifache vorgeschaltete Reduktion des Donauabflusses durch einen überregionalen Einsatz der Flutpolder Großmehring und Katzau, wie es bei einem Überlastfall im Donauabschnitt unterhalb Naab-/Regenmündung vorgesehen ist. Da bei diesem hochskalierten Ereignis im Donauabschnitt zwischen Lech- und Naabmündung nur etwa ein HQ_{5-10} abfließt, wurde nur eine Teilfüllung der beiden Flutpolder angesetzt (Großmehring 7,3 Mio. m^3 , Katzau 3,5 Mio. m^3). Die Simulation der Flutpolder erfolgte wieder wie in Kapitel 4.1 beschrieben.

4.4.2 HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“

Das sehr große HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ basiert auf einer hochskalierten Niederschlagsverteilung des historischen HW-Ereignisses vom Juni 2013.

Da beim historischen HW-Ereignis Juni 2013 in den Donauabschnitten II und III Scheitelabflüsse gleicher Jährlichkeiten auftraten (jeweils HQ_{20}), erhält man bei einer Hochskalierung ein Szenario, bei dem in beiden Donauabschnitten der Überlastfall auftritt. Daher konnte hier auf die Ergebnisse aus dem Projektgebiet B (s. Kapitel 4.3.2) zurückgegriffen werden. D. h. es wurde beim Bezugszustand (Szenario 0), beim Lauf mit HRB (Szenario 1) und beim Lauf mit Flutpoldern (Szenario 2) jeweils auf die Q_{sim} -Ergebnisganglinie am Pegel Kelheim/Donau aus Kapitel 4.3.2 aufgesetzt. Zusätzliche vorgeschaltete Läufe in den Einzugsgebieten oberhalb des Pegels Kelheim waren hier deshalb nicht erforderlich.

Der eigentliche Hochwasserzeitraum (Beginn Juni 2013) wurde zunächst mit den vorliegenden historischen Niederschlagsdaten durchgerechnet. Die so simulierten Ganglinien wurden an sechs wichtigen Pegeln (Beilngries/Altmühl, Deuerling/Schwarze Laber, Heitzenhofen/Naab, Marienthal/Regen, Schönach/Große Laber und Schwabelweis/Donau) mit den gemessenen Abflussganglinien vom Juni 2013 verglichen. Nach einer Nachkalibrierung für die Pegel Beilngries, Deuerling und Heitzenhofen konnte letztlich eine zufriedenstellende Übereinstimmung der Scheitelabflüsse (Q_{sim} zu Q_{gem}) an den sechs wichtigen Pegeln erreicht werden.

Analog zum Vorgehen beim HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ (s. Kapitel 4.4.1) wurde ein Abfluss am Zielpegel Straubing von rd. 3 910 m³/s (etwa HQ₃₀₀) gewählt.

Der Skalierungsfaktor für die Ermittlung der Ablaufganglinien aus den Wasserspeichern im Naab-/Regengebiet wurde wieder entsprechend der Vorgehensweise in Kapitel 4.4.1 bezogen auf den Pegel Schwabelweis wie folgt berechnet:

- $Q_{\text{sim-Ziel}}$ in Schwabelweis = ca. 3 910 m³/s
- $Q_{\text{gem-max}}$ in Schwabelweis (HW Januar 2011) = 2 660 m³/s
- Skalierungsfaktor = $Q_{\text{sim-Ziel}}$ in Schw. / $Q_{\text{gem-max}}$ in Schw. = 1,47

Der AG stellte wiederum an den Auslässen der vier Speicher im Oberlauf des Naab- bzw. Regen-Gebiets für dieses sehr große HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ plausible, von den entsprechend skalierten historischen Zuflussganglinien abgeleitete Abflussganglinien aus den Wasserspeichern als Startganglinien zur Verfügung.

Mit diesen vier Zuflussganglinien erfolgte anschließend für das sehr große HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ die Hochskalierung für den verbleibenden Bereich zwischen Kelheim und Straubing. Der anvisierte Scheitelabfluss im Bereich eines HQ₂₀₀ bis HQ₅₀₀ am Pegel Straubing/Donau von ca. 3 910 m³/s wurde mit einem Skalierungsfaktor für die historischen Niederschläge von 1,07 erreicht.

Das Szenario 1, die Simulation mit eingeschalteten HRB, basierte wie bisher auf dem gleichen Set-Up wie das Szenario 0. Es wurde lediglich die Q_{sim} -Ergebnisganglinie des Szenarios 1 am Pegel Kelheim/Donau aus Kapitel 4.3.2 (HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“) als Startganglinie verwendet und die 100 weiteren HRB aus dem Projektgebiet C zusätzlich eingeschaltet, um deren Wirkung auf die Donauabflüsse zu ermitteln.

Das abschließende Szenario 2 beinhaltete wiederum den Einsatz der drei geplanten Donau-Flutpolder im Donauabschnitt III: Eltheim, Wörthhof und Oberauer Schleife. Durch den Einsatz der Q_{sim} -Ergebnisganglinie des Szenarios 2 am Pegel Kelheim/Donau aus Kapitel 4.3.2 (HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“) als Startganglinie war keine Simulation von vorgeschalteten Flutpoldern erforderlich, da in dieser Ganglinie bereits die Wirkung der bei diesem Ereignis noch zusätzlich eingesetzten Flutpolder (Bertoldsheim, Riedensheim, Großmehring und Katzau sowie Neugeschüttwörth-B als vorgeschalteter Flutpolder) enthalten war. Die Simulation der Flutpolder im Donauabschnitt III erfolgte wieder wie in Kapitel 4.1 beschrieben.

5. Auswertung der LARSIM-Simulationen

5.1 Auswertungen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet A

5.1.1 Ergebnisse des KOSTRA-N₁₀₀-Ereignisses

Das in erster Linie zur Bemessung der HRB erzeugte KOSTRA-Ereignis ist ein rein hypothetisches Ereignis. Das Auftreten eines flächendeckenden hundertjährigen 48h-Niederschlags im gesamten Untersuchungsgebiet ist eigentlich unrealistisch. Dieses Ereignis wurde aber trotzdem simuliert und hinsichtlich der Beckenwirkung ausgewertet, da bei ihm alle 100 HRB lokal optimal in vollem Umfang wirken, d. h. das Retentionsvolumen von 51,0 Mio. m³ in Gänze eingesetzt wurde. Die Abflüsse am Zielpegel Donauwörth steigen beim Szenario 0 auch wie erwartet auf extreme Werte (1 956 m³/s, deutlich über HQ₁₀₀₀) an.

Theoretisch könnten mit 51 Mio. m³ Rückhaltevolumen, indem man von der Ganglinie am Pegel Donauwörth/Donau im Scheitelpunkt ein entsprechendes Volumen entfernt (s. Bild 2.5; dortiges rot schraffiertes Beckenvolumen entspricht hier den 51 Mio. m³), bei diesem KOSTRA-Ereignis maximale Spitzenkappungen von ca. 330 m³/s bzw. 17 % (theoretischer Referenzwert) erzielt werden.

Beim Szenario 1 des KOSTRA-N₁₀₀-Ereignisses werden die vorhandenen HRB-Rückhaltevolumina vollständig genutzt (siehe auch Kapitel 2.5 bzw. 4.2.1). Dies wird am größten HRB an der Eger und an einem durchschnittlich großen HRB am Haselbach im Günz-EZG mit den beiden folgenden Bildern beispielhaft veranschaulicht (siehe Bild 5.1 bzw. Bild 5.2).

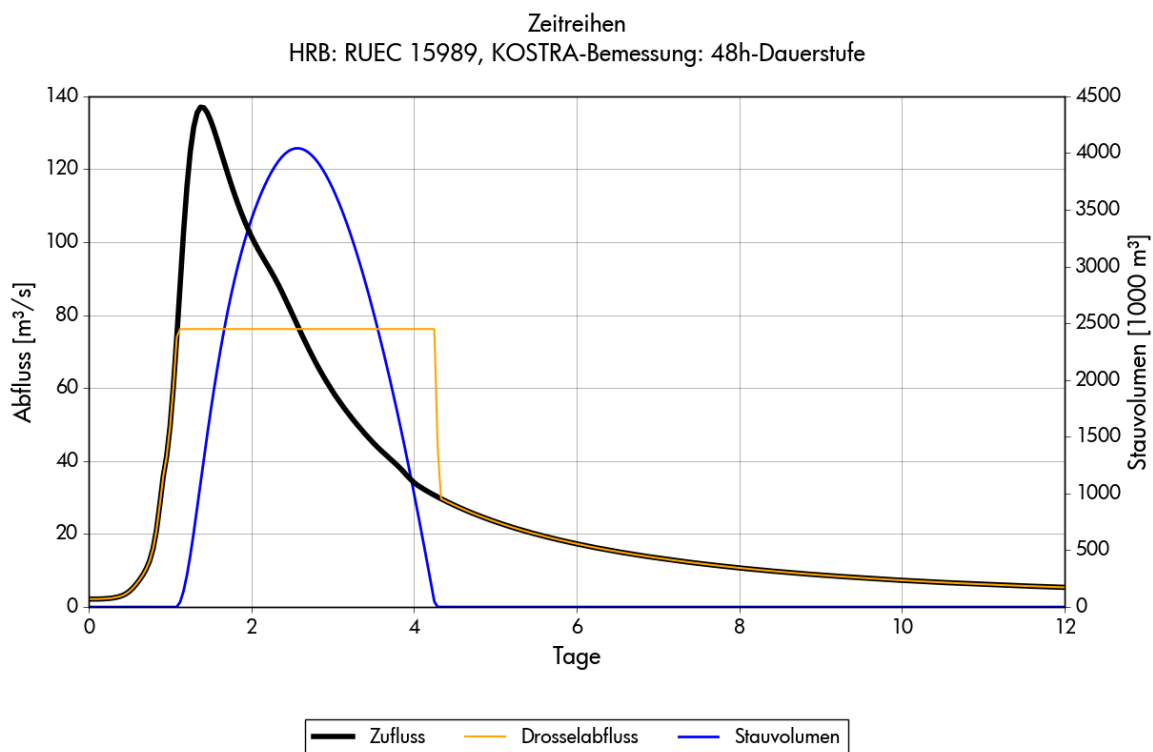


Bild 5.1: Beanspruchung des HRB-Nr. 89 an der Eger beim KOSTRA-N₁₀₀-Ereignis mit vollständiger Nutzung des HRB-Rückhaltevolumens von ca. 4,0 Mio. m³

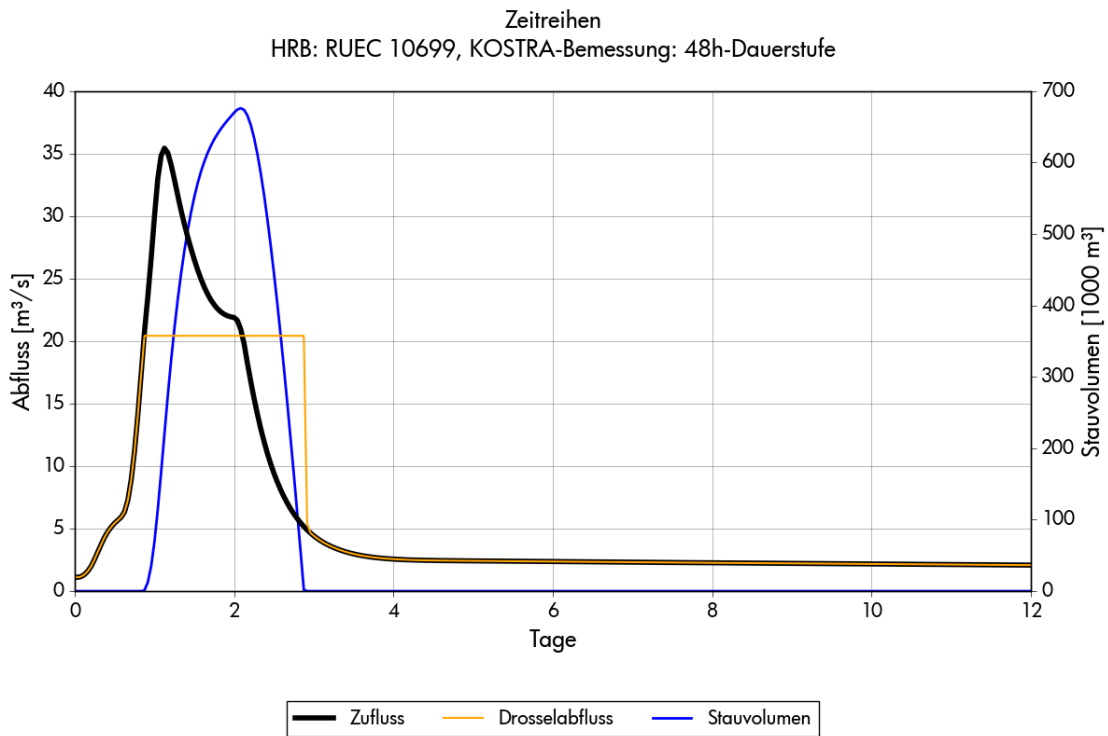


Bild 5.2: Beanspruchung des HRB-Nr. 41 am Haselbach (Günz-EZG) beim KOSTRA-N₁₀₀-Ereignis mit vollständiger Nutzung des HRB-Rückhaltevolumens von ca. 676 000 m³

Die vollständige Nutzung der HRB-Rückhaltevolumina führt lokal und auch regional zu deutlichen Abflussreduktionen, wie die beiden folgenden Beispiele am Pegel Sonthofen/Iller bzw. Harburg/Wörnitz zeigen (siehe Bild 5.3 bzw. Bild 5.4).

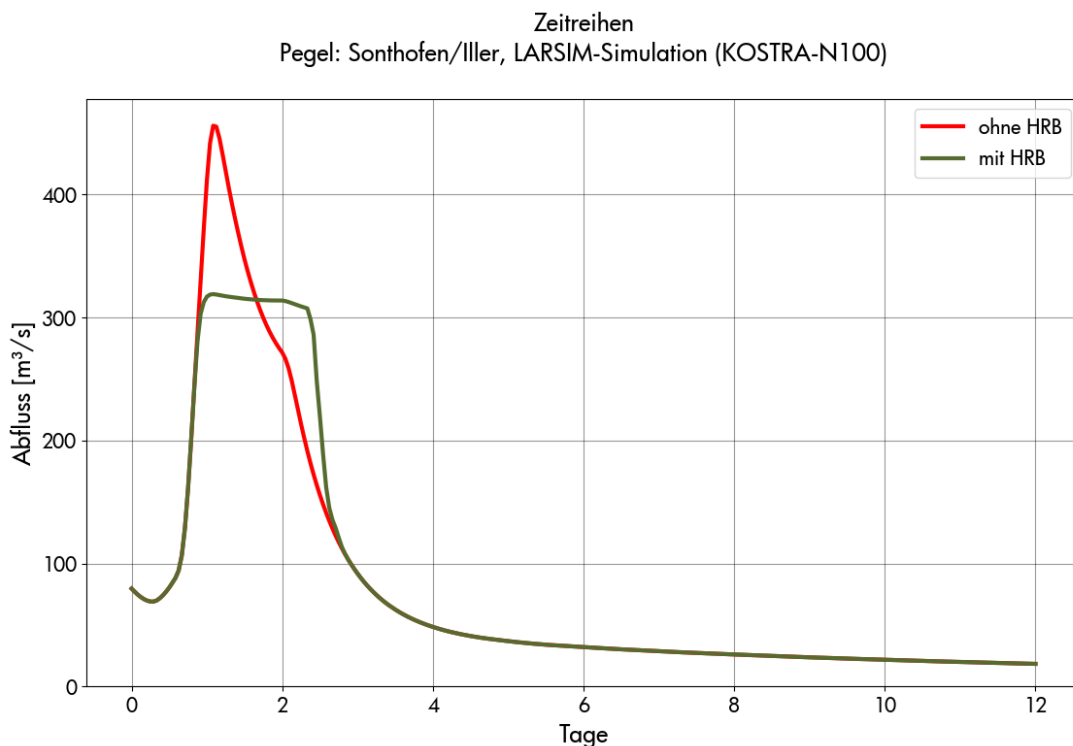


Bild 5.3: Abflusssimulation am Pegel Sonthofen/Iller beim KOSTRA-N₁₀₀-Ereignis ohne bzw. mit HRB

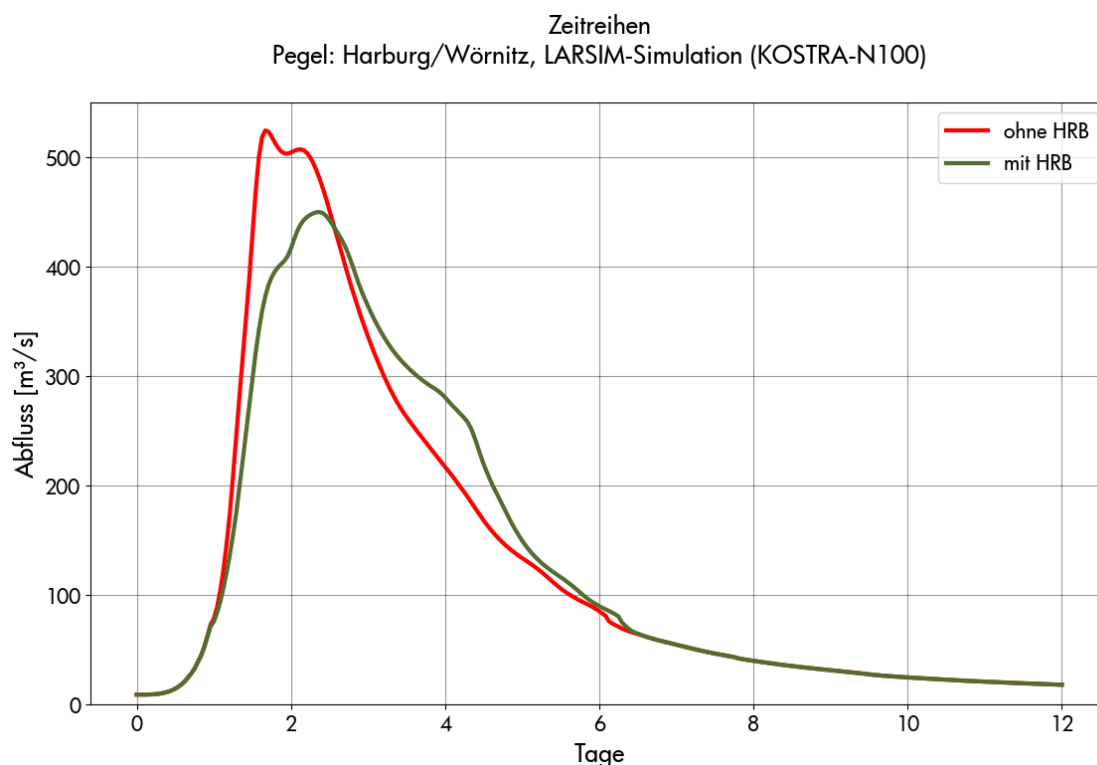


Bild 5.4: Abflusssimulation am Pegel Harburg/Wörnitz beim KOSTRA-N₁₀₀-Ereignis ohne bzw. mit HRB

Am Pegel Sonthofen/Iller fällt die kräftige Reduzierung der KOSTRA-HW-Welle (136 m³/s bzw. 30 %) auf, was auf die fünf HRB oberhalb Sonthofens mit einem großen summarischen HRB-Rückhaltevolumen von 4,8 Mio. m³ (knapp 10 % des Gesamtrückhaltevolumens im Projektgebiet A) und die kompakte HW-Wellenform zurückzuführen ist. Der Effekt der 23 HRB oberhalb des Pegels Harburg/Wörnitz fällt bei der Scheitelreduzierung mit ca. 75 m³/s bzw. 14 % weniger stark aus, ist aber bei einem verwendeten summarischen Rückhaltevolumen von 14,0 Mio. m³ trotzdem deutlich. Diese im Vergleich zur Iller geringere Scheitelreduzierung ist auch auf die Entfernung der 23 HRB vom Pegel Harburg/Wörnitz und auf die unterschiedlichen Laufzeiten der gekappten Spitzenabflüsse zurückzuführen.

Insgesamt zeigen die KOSTRA-induzierten Ganglinien ohne und mit HRB aber vor allem, dass die Wirkung der eingeschalteten HRB mit zunehmendem Fließweg immer mehr abnimmt. Dies ist dadurch bedingt, dass die einzelnen Zuflüsse ihre jeweiligen Abflussspitzen zu unterschiedlichen Zeitpunkten bringen. Würden alle Zuflüsse zur gleichen Zeit an einem Pegel eintreffen, wäre die Scheitelkappung nahezu optimal. Aufgrund unterschiedlicher Laufzeiten beträgt die HW-Scheitelreduzierung an der Donau nur noch einen Bruchteil des theoretisch Möglichen. Trotz vollständiger Nutzung des gesamten HRB-Rückhaltevolumens von insgesamt 51,0 Mio. m³ kann der HW-Scheitel am Zielpiegel Donauwörth/Donau lediglich um 55 m³/s (von 1 956 m³/s ohne HRB auf 1 901 m³/s mit HRB) bzw. 2,8 % reduziert werden (s. Bild 5.5).

Ermittelt man den am Pegel Donauwörth anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne 100 HRB) und grüner Ganglinie (mit 100 HRB; s. Bild 5.5, rosa Textfeld), so ergibt sich ein erkennbares effektives Rückhaltevolumen von nur 24,0 Mio. m³, was einem Anteil am summarischen eingesetzten Rückhaltevolumen aller 100 HRB von nur 47 % entspricht. Diese verringerte erkennbare Wirkung am Pegel Donauwörth

tritt zudem aber nicht nur im Bereich des Hochwasserscheitels auf, sondern bereits bei geringeren Abflüssen in der anlaufenden Hochwasserwelle.

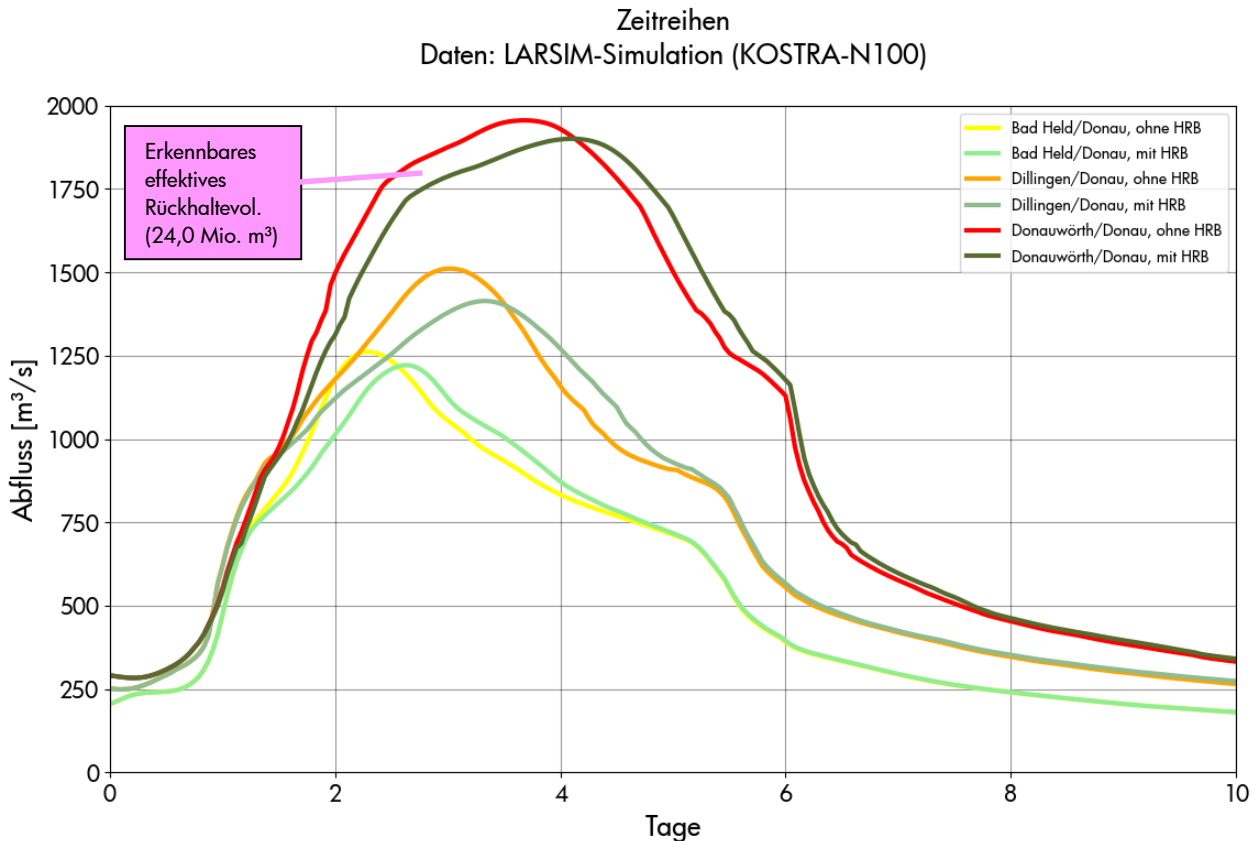


Bild 5.5: Abflusssimulation an den Donauegeln Neu-Ulm Bad Held, Dillingen bzw. Donauwörth beim KOSTRA-N₁₀₀-Ereignis ohne bzw. mit HRB

Bei diesem KOSTRA-N₁₀₀-Ereignis werden zwar einerseits die 100 HRB stets vollständig eingestaut und wirken so vor Ort optimal. Andererseits wird aber durch die nicht realistische flächenhafte Überregnung des gut 15 000 km² großen Untersuchungsgebiets mit einem 100-jährlichen Niederschlag eine äußerst voluminöse HW-Ganglinie am Pegel Donauwörth/Donau erzeugt. Sehr hohe Abflüsse größer als 1 500 m³/s dauern so über 72 Stunden an (Bild 5.5). Dadurch fällt die absolute und relative Scheitelkappung am Zielpiegel Donauwörth/Donau hier vergleichsweise gering aus (s. auch Tabelle 6.2 im Fazit).

Die reduzierte Wirksamkeit der 100 HRB an der Donau liegt daran, dass die Scheitel der einzelnen Teileinzugsgebiete zu unterschiedlichen Zeiten der Donau zufließen, dem Hochwasserscheitel an der Donau somit oft vor- oder nachlaufen. Damit wirkt die Scheitelkappung dieser seitlichen Zuflüsse durch die HRB mitunter im anlaufenden oder abfallenden Ast der Donauwelle und nicht in deren Scheitelsbereich. So trifft z. B. die lokal deutliche Reduzierung der HW-Scheitel durch die HRB an den oft in großer Distanz von der Donau gelegenen HRB-Standorten (z. B. im Oberlauf der Iller oder der Wörnitz) zeitlich nicht mit den höchsten Abflüssen an der Donau zusammen. Die Wirkung dieser HRB ist zwar an den Zuflüssen vorhanden und auch erkennbar (s. Bild 5.3 am Pegel Sonthofen/Iller), sie wirkt sich aber nur relativ gering auf die HW-Scheitel an

der Donau aus (siehe Bild 5.5 mit den Ganglinien an den Pegeln Neu-Ulm Bad Held, Dillingen bzw. Donauwörth). Einige Becken entleeren sich also bereits wieder, wenn andere erst eingestaut werden. Dadurch überlagert sich die Wirkung zum Teil und das in den Ganglinien erkennbare effektive Rückhaltevolumen wird kleiner (siehe Bild 5.5).

5.1.2 Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „April 1994“

Bei dem hochskalierten sehr großen HW-Ereignis vom Typ „April 1994“, basierend auf der Niederschlagsverteilung des historischen Ereignisses vom April 1994 (siehe auch Kapitel 4.2.2), entsprang das HW vor allem dem Wörnitz-Gebiet im Norden. Das HW-Ereignis April 1994 erreichte am Pegel Donauwörth den größten dort jemals gemessenen Scheitelabfluss von 1 340 m³/s (gut HQ₅₀). Das HW-Ereignis vom Typ „April 1994“ wurde auf einen Scheitelwert von ca. 1 670 m³/s am Pegel Donauwörth/Donau (im Bereich eines HQ₄₀₀) hochskaliert. Somit ging in die weiteren Simulationen mit dem LARSIM-Modell (ohne und mit HRB) ein etwa 400-jährliches Hochwasserereignis ein, um die potenzielle Wirkung der 100 fiktiven HRB bei seltenen Ereignissen zu modellieren.

Theoretisch könnten mit 51,0 Mio. m³ Rückhaltevolumen, indem man von der Ganglinie am Pegel Donauwörth/Donau im Scheitelsbereich ein entsprechendes Volumen entfernt, bei diesem HW-Ereignis vom Typ „April 1994“ maximale Spitzenkappungen von 451 m³/s bzw. 27 % (theoretischer Referenzwert) erzielt werden.

Die Ausprägung dieses HW-Ereignisses vom Typ „April 1994“ führte dazu, dass 30 HRB (vor allem im südlichen Projektgebiet) gar nicht angesprungen sind, da die simulierten Abflüsse oft unter dem jeweiligen Drosselabfluss der HRB aus der KOSTRA-N₁₀₀-Dimensionierung blieben (s. grau eingefärbte HRB in Bild 5.6). Auf der anderen Seite führte das sehr große HW vor allem im nördlichen Einzugsgebiet (Wörnitz, Kessel, Egau, Brenz) dazu, dass bei 30 HRB die Hochwasserentlastung ansprang. Somit war hier auf Grund des Anspringens der HW-Entlastung die lokale Wirkung der HRB nur eingeschränkt vorhanden (siehe rot eingefärbte HRB in Bild 5.6). Es verblieben bei diesem HW-Ereignis nur 40 HRB, bei denen ein Einstau ohne Anspringen der HW-Entlastung (siehe hellgrün eingefärbte HRB in Bild 5.6) stattfand.

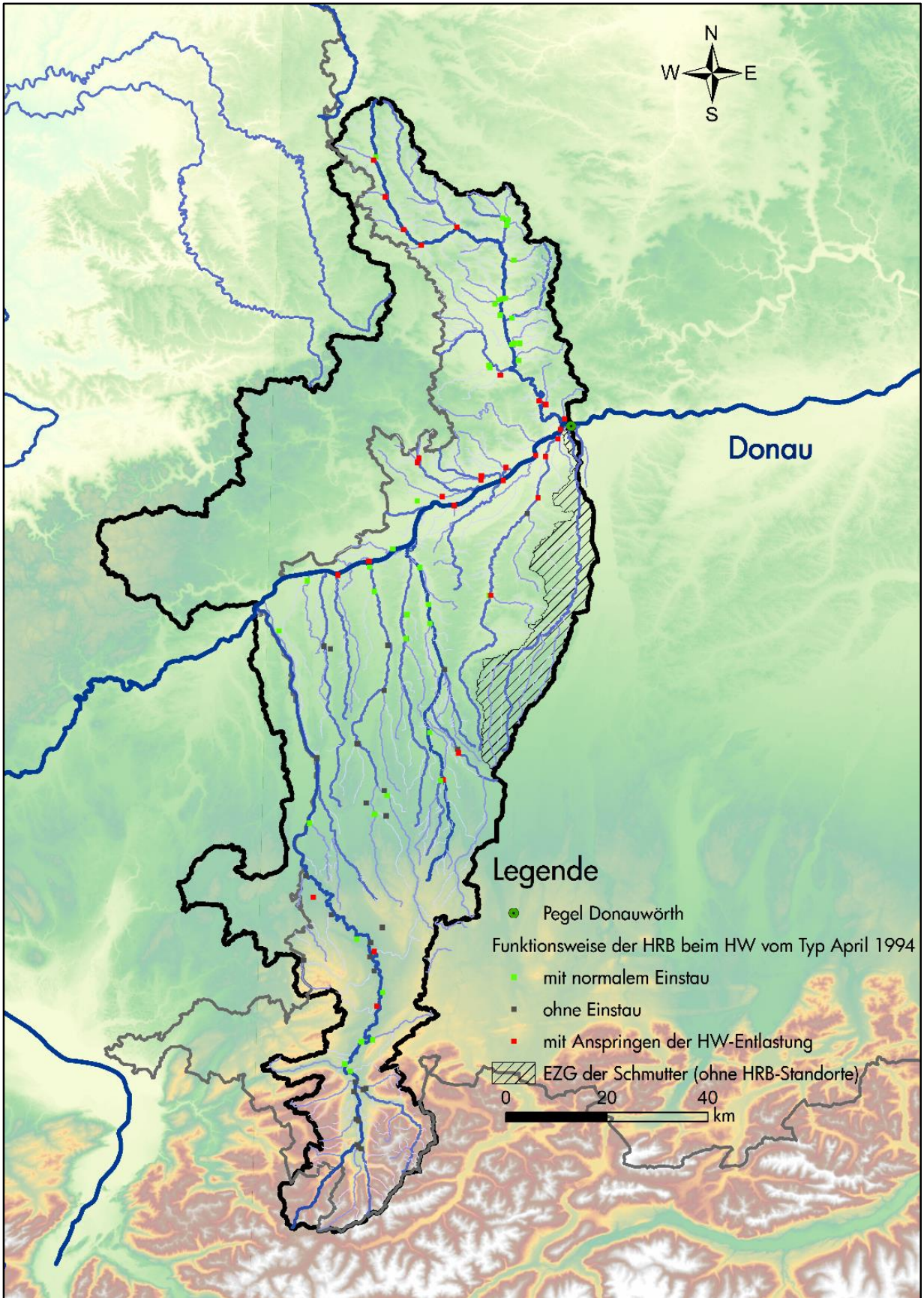


Bild 5.6: Beanspruchung der 100 HRB während des sehr großen HW-Ereignisses vom Typ „April 1994“

Die große Zahl der HRB im südlichen Projektgebiet ohne Einstau führte beispielsweise am Pegel Wiblingen/Iller bei einem Abfluss von nur etwa HQ_1 zu einer relativ kleinen HW-Scheitelreduzierung von ca. $25 \text{ m}^3/\text{s}$ (siehe Bild 5.7).

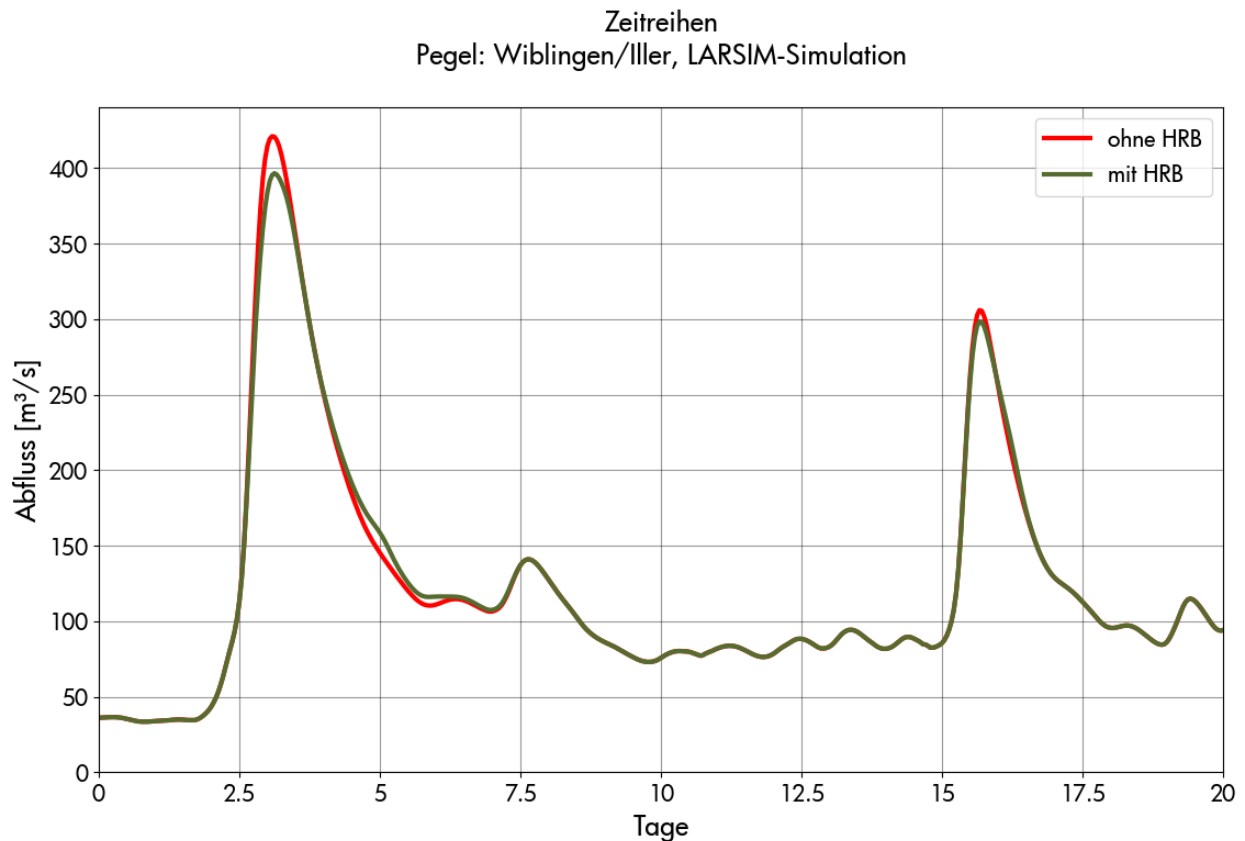


Bild 5.7: Abflusssimulation am Pegel Wiblingen/Iller beim HW-Ereignis vom Typ „April 1994“ ohne bzw. mit HRB

An den im nördlichen Projektgebiet gelegenen HRB hingegen führte das sehr große Hochwasserereignis vom Typ „April 1994“ des Öfteren zum Anspringen der HW-Entlastung. Dies bedeutet, dass der vorhandene Stauraum schon vollständig gefüllt war, bevor der Hochwasserabfluss nach Scheiteldurchgang wieder auf den Drosselabfluss abgesunken ist. Weitere Zuflüsse oberhalb des Drosselabflusses mussten via HW-Entlastung direkt als Abfluss aus dem HRB nach Unterstrom weitergegeben werden, weshalb der HW-Scheitel nicht oder nur wenig reduziert werden konnte (s. beispielhaft das HRB-Nr. 71 an der Zwergwörnitz mit einem Drosselabfluss von $16,0 \text{ m}^3/\text{s}$ und einem Rückhaltevolumen von ca. $636\,000 \text{ m}^3$ in Bild 5.8).

Zeitreihen
HRB: RUEC 14503, Hochwasser: Typ April 1994

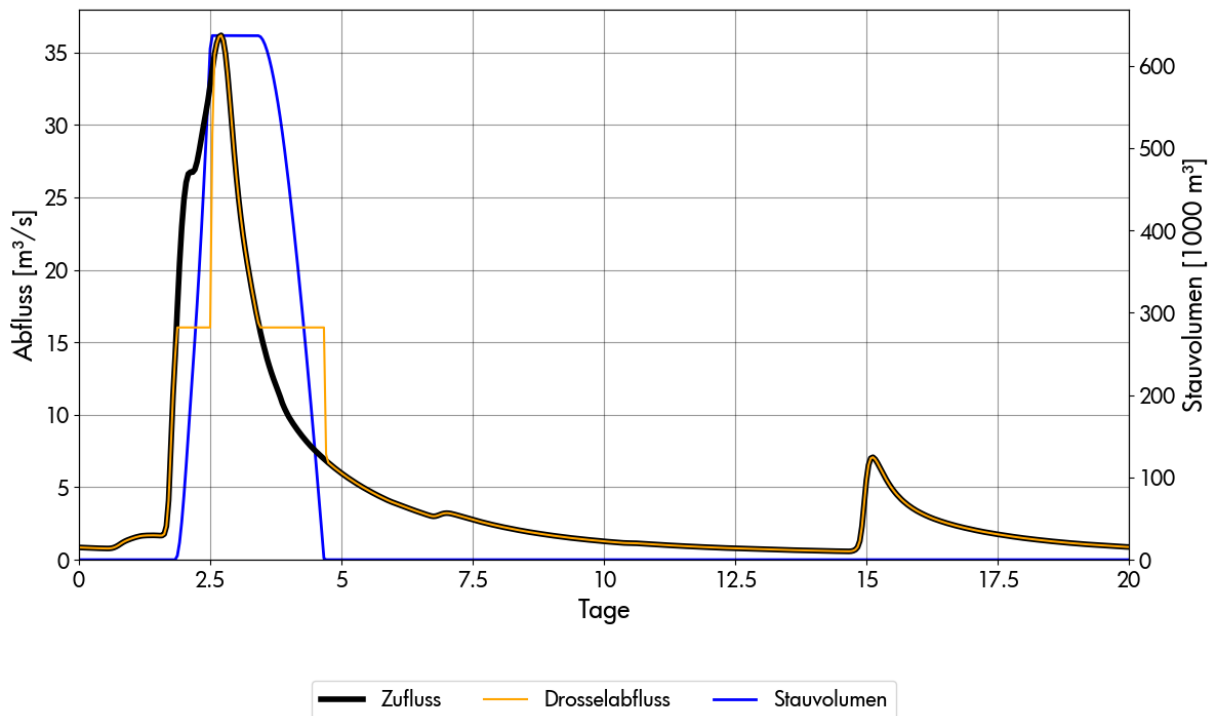


Bild 5.8: Lokale Wirkung des HRB mit der Nr. 71 an der Zwergwörnitz mit einem Drosselabfluss von $16,0 \text{ m}^3/\text{s}$ und einem Rückhaltevolumen von ca. $636\,000 \text{ m}^3$, wegen des frühen Anspringens der HW-Entlastung ohne Wirkung bei der lokalen HW-Scheitelreduzierung an der Zwergwörnitz

Für das HW-Ereignis vom Typ „April 1994“ ergab sich insgesamt für das maßgebend beteiligte Wörnitz-EZG eine eingeschränkte Wirkung der HRB, was neben dem unterschiedlichen zeitlichen Eintreffen der verschiedenen Hochwasserzuflüsse auch durch das häufige Anspringen der HW-Entlastungen bedingt ist. Am Pegel Harburg/Wörnitz, kurz vor der Mündung der Wörnitz in die Donau, konnte der Scheitelabfluss mit den 23 oberhalb des Pegels gelegenen HRB um $98 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 17% reduziert werden (s. Bild 5.9).

Am Zielpegel Donauwörth/Donau beträgt die Reduzierung des HW-Scheitels schließlich $81 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $4,8 \%$ (s. Bild 5.10). Durch die Kombination des häufigen „Nicht-Einstaus“ im südlichen Projektgebiet, der eingeschränkten Wirkung der im Wörnitzgebiet gelegenen überlasteten HRB und des zeitlichen Versatzes der Hochwasserwellen ergibt sich eine erkennbare, aber im Vergleich zum theoretischen Referenzwert von $451 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 27% nur geringe Reduzierung der HW-Welle an der Donau.

Summiert man an allen 100 HRB bzw. an den 70 angesprungenen HRB das tatsächlich eingestaute Rückhaltevolumen auf, so ergibt sich ein eingesetztes Rückhaltevolumen von $25,6 \text{ Mio. m}^3$. Bei einem theoretischen Gesamtvolumen von 51 Mio. m^3 über alle 100 HRB entspricht dies einer Ausnutzung von $50,2 \%$.

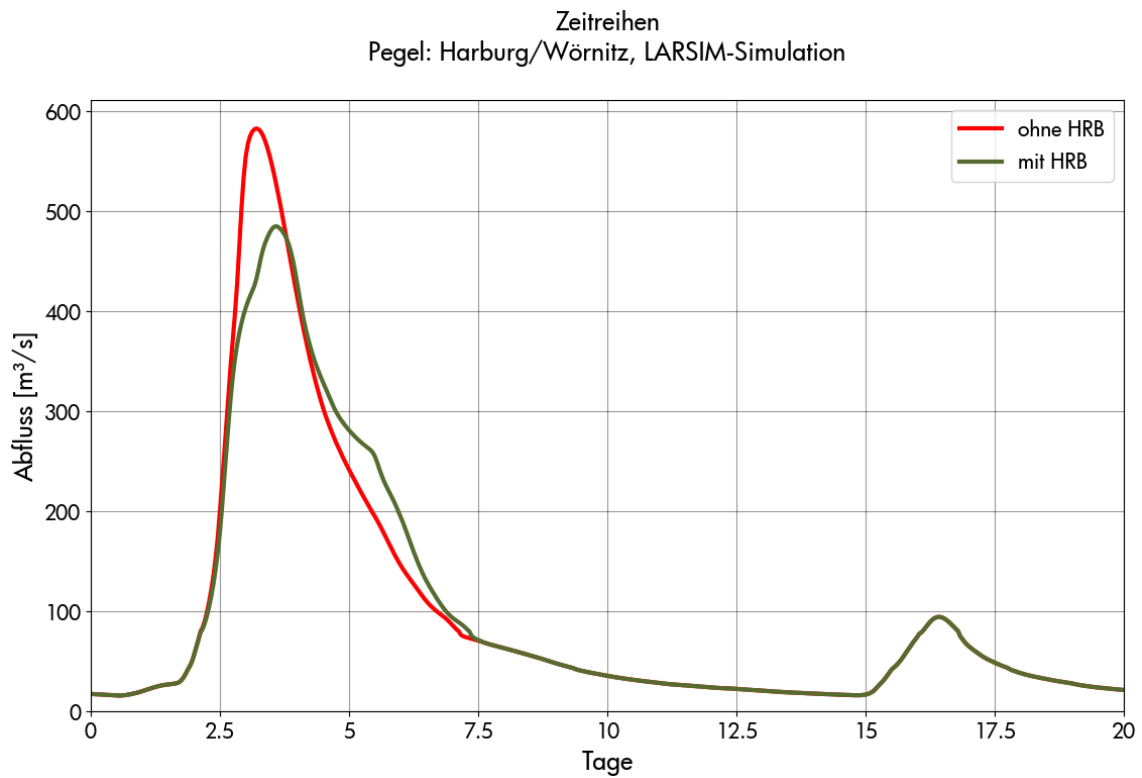


Bild 5.9: Abflusssimulation am Pegel Harburg/Wörrnitz ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „April 1994“

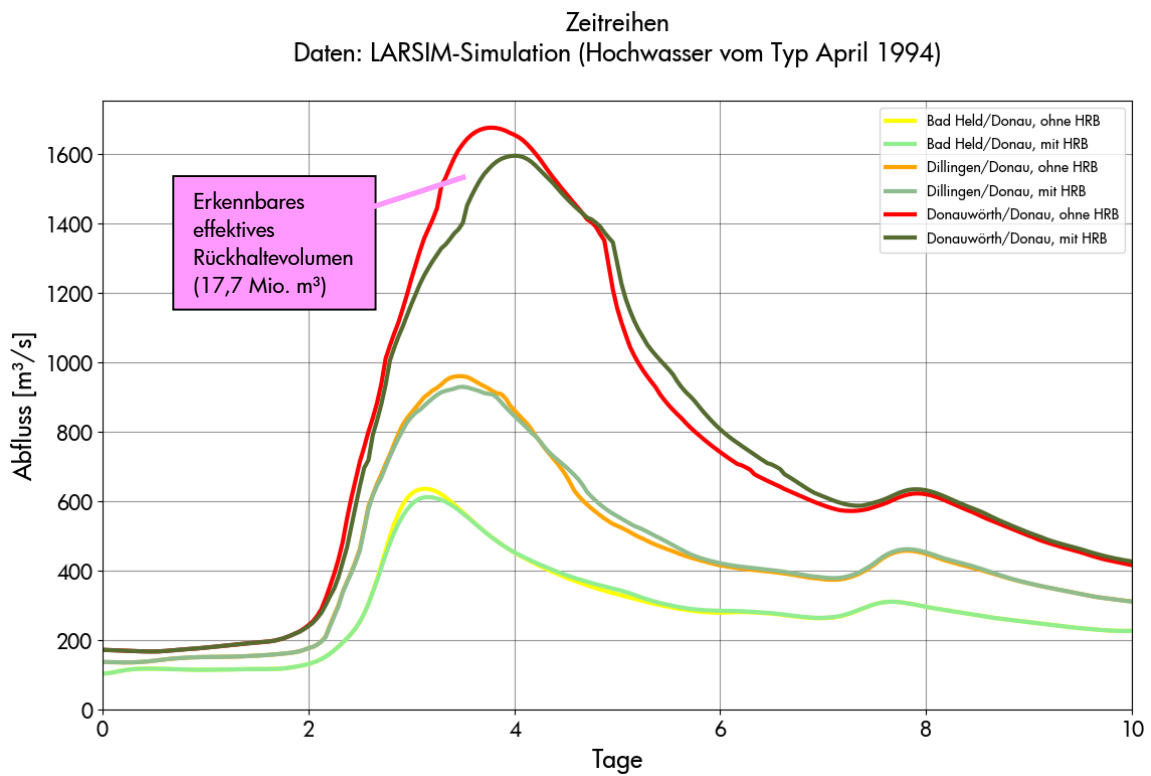


Bild 5.10: Abflusssimulation an den Donauegeln Neu-Ulm Bad Held, Dillingen bzw. Donauwörth ohne bzw. mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „April 1994“

Ermittelt man den am Pegel Donauwörth anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne 100 HRB) und grüner Ganglinie (mit 100 HRB; s. Bild 5.10, siehe rosa Textfeld), so ergibt sich ein erkennbares effektives Rückhaltevolumen von nur 17,7 Mio. m³, was einem Anteil am summarischen eingesetzten Rückhaltevolumen der angesprungenen HRB von 69 % entspricht.

Wie in Kapitel 4.1 dargelegt, wurde keine Simulation der Wirkung der im Donauabschnitt I geplanten Flutpolder durchgeführt, da die Frage, wie die im Bereich donauparalleler Aueströme vorgesehenen Flutpolder bei einem lokalen Überlastfall in effektiver Kombination eingesetzt werden sollen, zum Zeitpunkt dieser Untersuchung noch in Diskussion war. Im Rahmen der „Vertieften Wirkungsanalyse zu Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“ hat die Technische Universität München aber die Wirkung von Flutpoldern bei Hochwasserereignissen in einer ähnlichen Größenordnung mit einem 2D-hydraulischen Modell untersucht (Schlussbericht liegt beim AG vor). Dabei konnte im Ergebnis beispielsweise alleine durch eine nahezu horizontale Kappung am Flutpolder Neugeschüttwörth B (32 Mio. m³) eine Scheitelreduktion um 234 m³/s bzw. 13,9 % am Pegel Donauwörth erreicht werden.

5.1.3 Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (A)“

Bei dem hochskalierten sehr großen HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“, basierend auf der Niederschlagsverteilung des historischen Ereignisses vom Mai 1999 (siehe auch Kapitel 4.2.3), entsprang das HW vor allem dem Iller-Gebiet im Süden. Im nördlichen Einzugsgebiet (z. B. Wörnitz) war dieses Ereignis nur schwach ausgeprägt. Das historische Hochwasserereignis vom Mai 1999 erreichte am Pegel Donauwörth einen Scheitelabfluss von 1 060 m³/s (gut HQ₁₀). Das HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“ wurde ebenfalls auf einen Scheitelwert von ca. 1 670 m³/s am Pegel Donauwörth/Donau (im Bereich eines HQ₄₀₀) hochskaliert. Somit ging in die weiteren Simulationen mit dem LARSIM-Modell (ohne und mit HRB) auch hier ein etwa 400-jährliches Hochwasserereignis ein. An dieser Stelle gilt es nochmals zu bemerken, dass die Wirkung des bereits existierenden Flutpolders Weidachwiesen an der Iller in diesen Simulationen berücksichtigt wurde.

Theoretisch könnten mit 51,0 Mio. m³ Rückhaltevolumen, indem man von der Ganglinie am Pegel Donauwörth/Donau im Scheitelbereich ein entsprechendes Volumen entfernt, bei diesem HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“ maximale Spitzenkappungen von 437 m³/s bzw. 26 % (theoretischer Referenzwert) erzielt werden.

Insgesamt führte die Ausprägung des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (A)“ dazu, dass 38 der 100 HRB (v. a. im nördlichen Projektgebiet) gar nicht angesprungen sind, da die simulierten Abflüsse stets unter dem jeweiligen Drosselabfluss der HRB blieben (s. grau eingefärbte HRB in Bild 5.11). An 28 HRB vor allem im Iller-Einzugsgebiet waren die Zuflüsse dagegen so hoch, dass die HW-Entlastungen ansprangen (s. rot eingefärbte HRB in Bild 5.11). Lediglich 34 HRB wurden ohne Ansprungen der HW-Entlastung eingestaut (siehe hellgrün eingefärbte HRB in Bild 5.11).

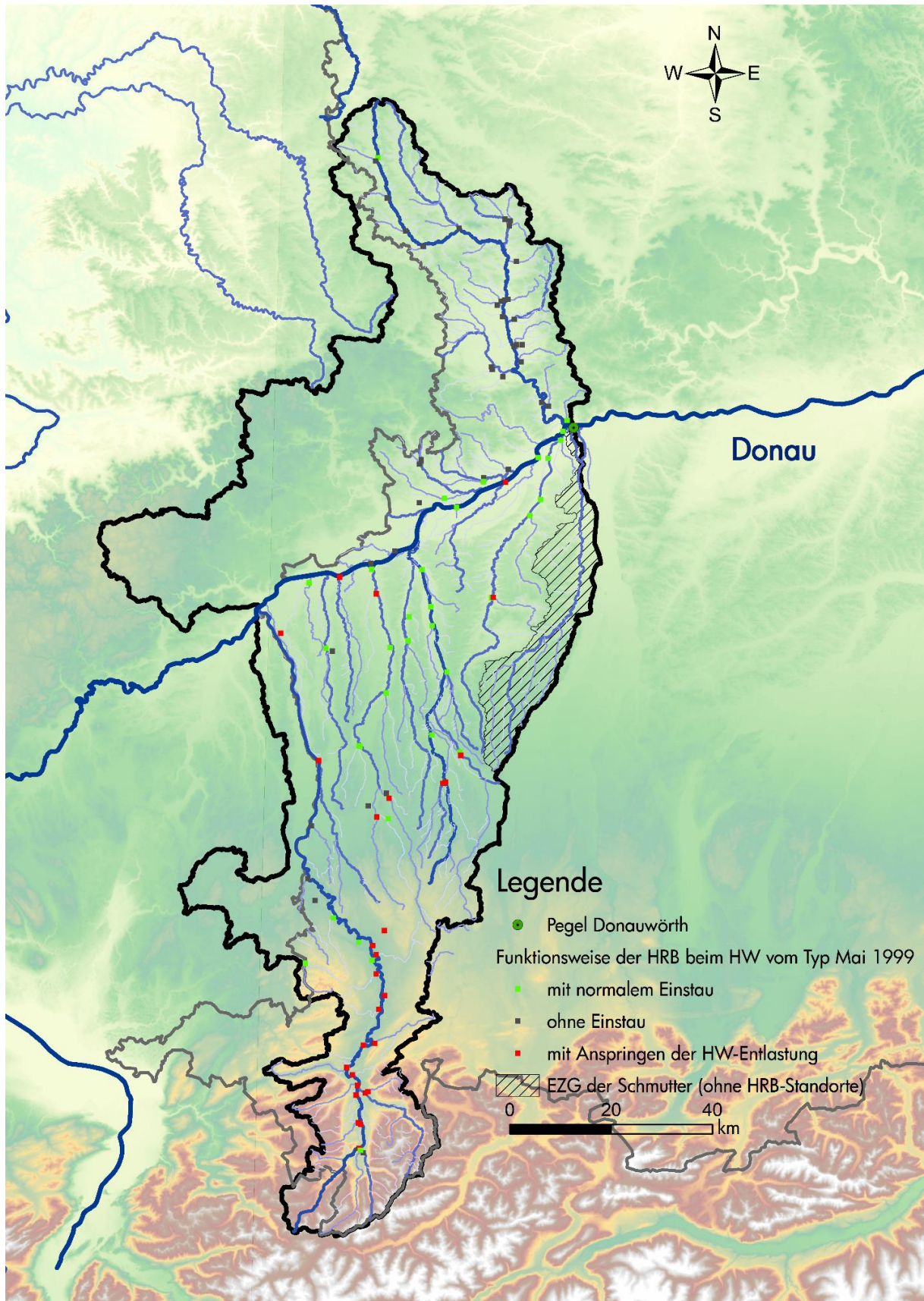


Bild 5.11: Beanspruchung der 100 HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (A)“

Trotz des oft vorhandenen Anspringens der HW-Entlastungen im südlichen Projektgebiet konnten am Pegel Wiblingen/Iller bei einem Abfluss über HQ_{1000} noch HW-Scheitelreduzierungen von $73 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 7 % erzielt werden (siehe Bild 5.12).

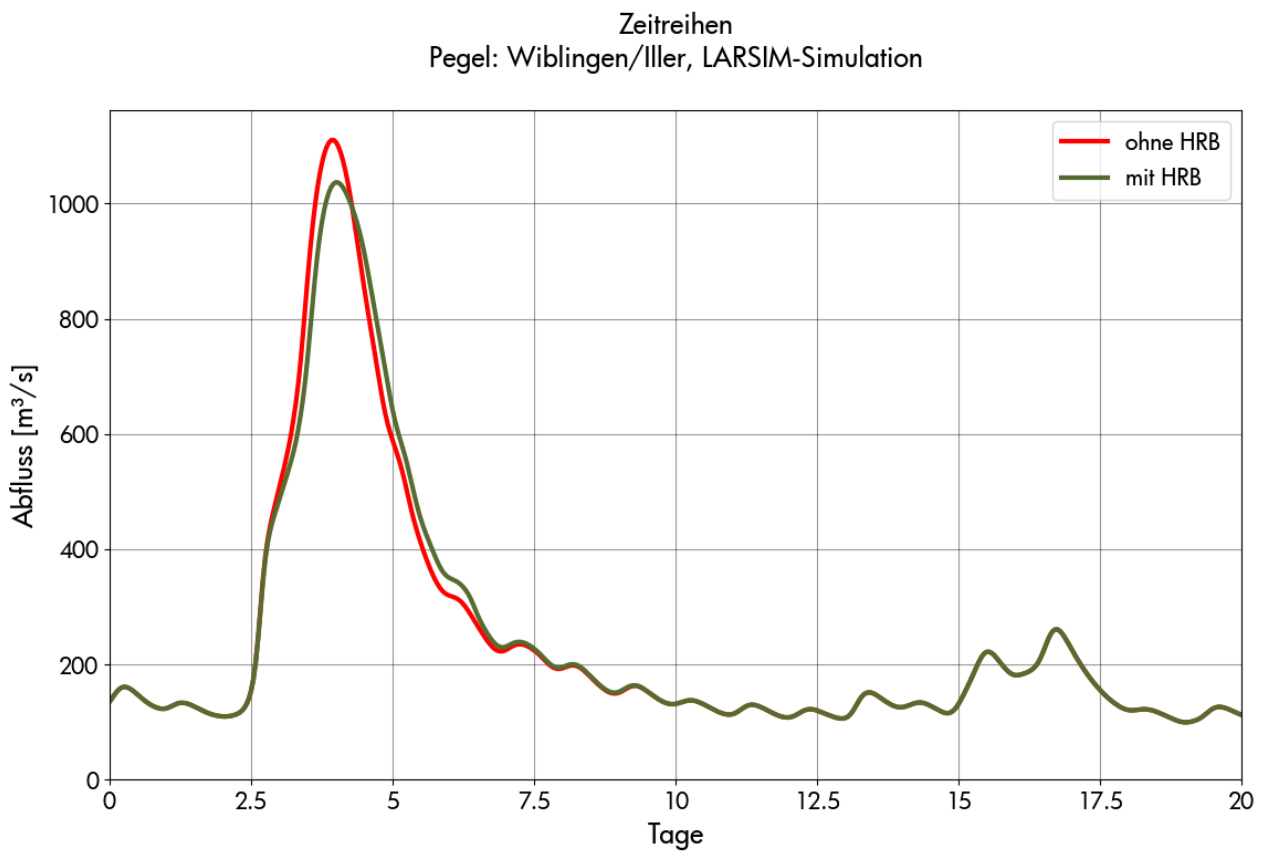


Bild 5.12: Abflusssimulation am Pegel Wiblingen/Iller ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (A)“

Die große Zahl der HRB im nördlichen Projektgebiet ohne Einstau führte während dieses hochskalierten HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (A)“ beispielsweise am Pegel Harburg/Wörnitz zu einer minimalen HW-Scheitelreduzierung von nur ca. $0,4 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. ca. 0,3 % bei einem Scheitelabfluss von ca. $140 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. knapp HQ_2 (siehe Bild 5.13).

Zeitreihen
 Pegel: Harburg/Wörrnitz, LARSIM-Simulation

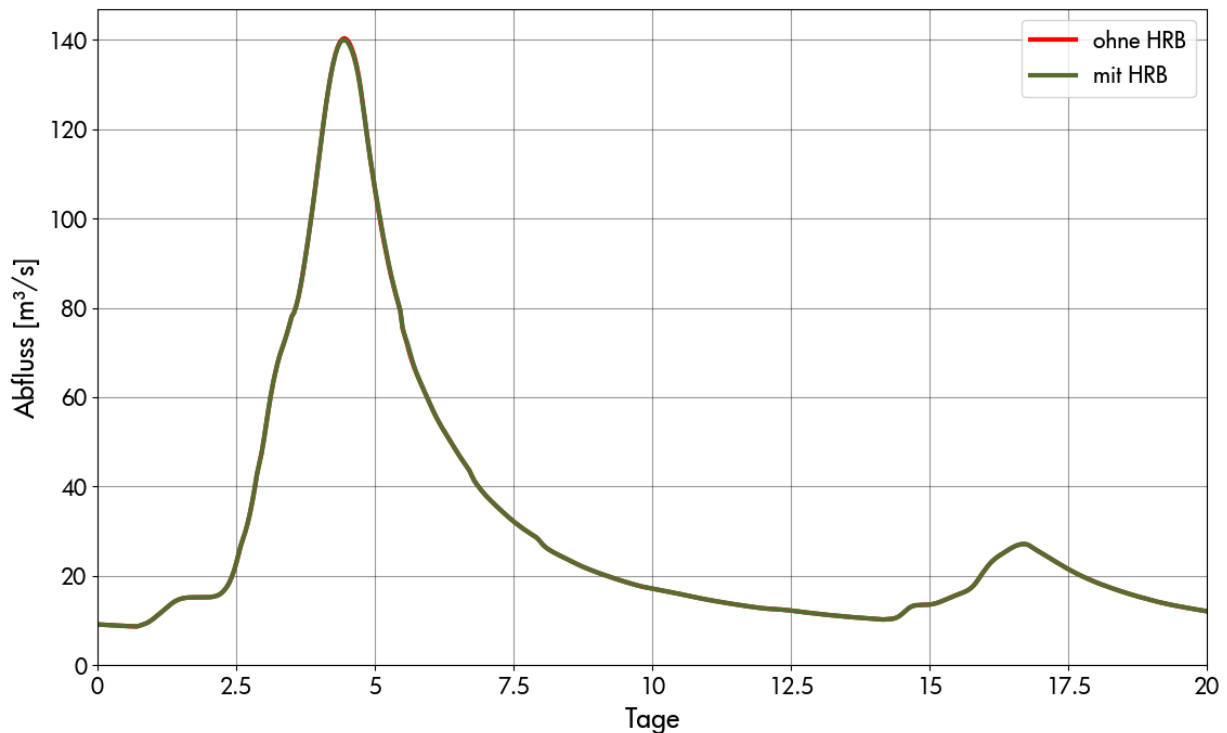


Bild 5.13: Abflusssimulation am Pegel Harburg/Wörrnitz ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (A)“

Am Zielpegel Donauwörth/Donau beträgt die Reduzierung des HW-Scheitels schließlich $65 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $3,9 \%$ (s. Bild 5.14). Insgesamt zeigt sich somit auch beim HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“ eine erkennbare, aber im Vergleich zum theoretischen Referenzwert von $437 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 26% deutlich eingeschränkte Wirkung der 100 HRB zur Reduzierung der Scheitelabflüsse an der Donau. Zum einen ist wieder das zeitlich unterschiedliche Eintreffen der verschiedenen Hochwasserzuflüsse als Grund zu nennen (siehe auch vorige Kapitel). Zum anderen findet nur an gut einem Drittel der HRB normaler Einstau statt (siehe grün eingefärbte HRB in Bild 5.11). D. h. vielerorts können die HRB wegen fehlendem Einstau (vor allem im nördlichen Projektgebiet) bzw. wegen Überlastung (im südlichen Projektgebiet, vor allem im Iller-EZG) nicht oder nur eingeschränkt ihre abflussreduzierende Wirkung entfalten.

Summiert man an allen 100 HRB bzw. an den 62 angesprungenen HRB das tatsächlich eingestaute Rückhaltevolumen auf, so ergibt sich ein eingesetztes Rückhaltevolumen von $19,5 \text{ Mio. m}^3$. Bei einem theoretischen Gesamtvolumen von 51 Mio. m^3 über alle 100 HRB entspricht dies einer Ausnutzung von $38,2 \%$.

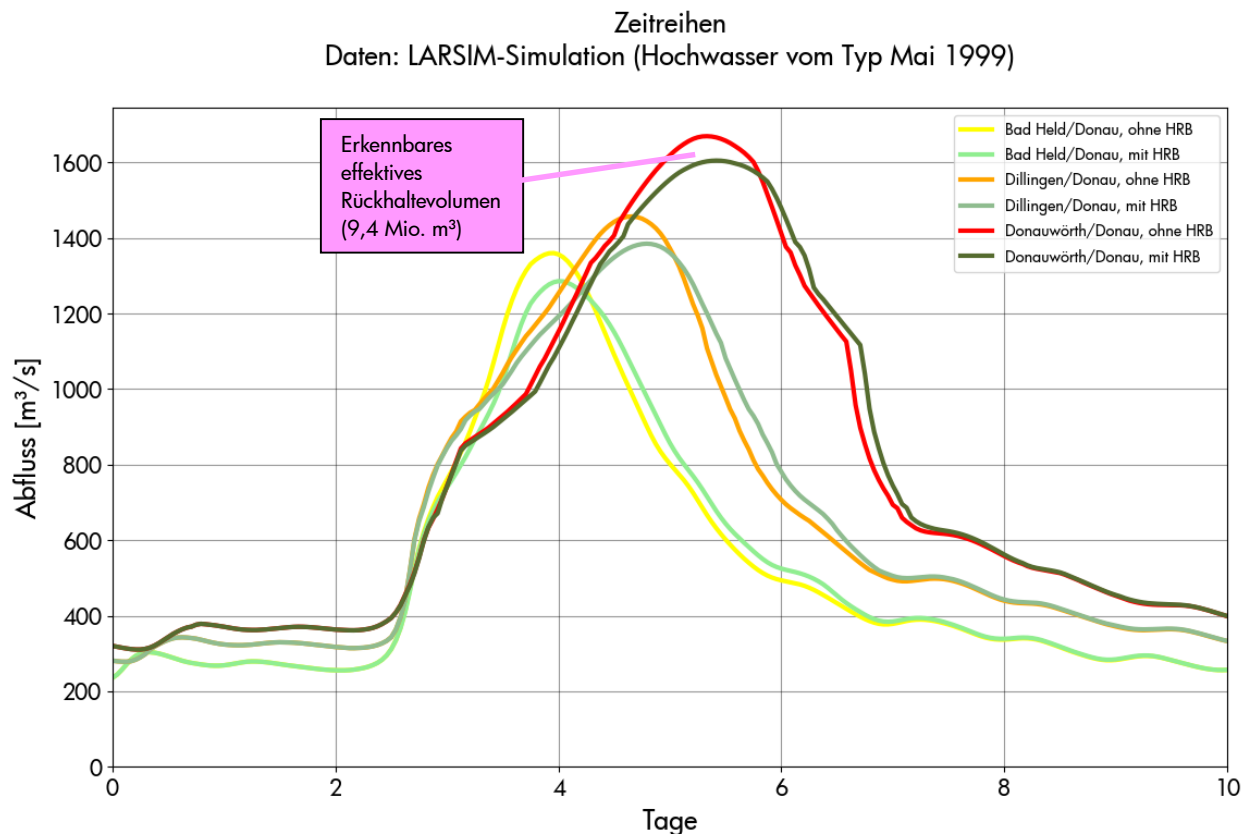


Bild 5.14: Abflusssimulation an den Donauegeln Neu-Ulm Bad Held, Dillingen bzw. Donauwörth ohne bzw. mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (A)“

Ermittelt man den am Pegel Donauwörth anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne 100 HRB) und grüner Ganglinie (mit 100 HRB; s. Bild 5.14, rosa Textfeld), so ergibt sich ein erkennbares effektives Rückhaltevolumen von nur 9,4 Mio. m³, was einem Anteil am summarischen eingesetzten Rückhaltevolumen der angesprungenen HRB von lediglich 48 % entspricht.

Wie in Kapitel 4.1 dargelegt, wurde auch hier keine Simulation der Wirkung der im Donauabschnitt I geplanten Flutpolder beim lokalen Überlastfall durchgeführt. Als Anhaltswert für die Flutpolderwirkung sei wie bei Kapitel 5.1.2 auf die Ergebnisse von 2D-hydraulischen Simulationen der TU München im Rahmen der „Vertieften Wirkungsanalyse“ verwiesen, wo bei Hochwasserereignissen in einer ähnlichen Größenordnung mit Einsatz nur des Flutpolders Neugeschüttwörth B (32 Mio. m³) eine Scheitelreduktion am Pegel Donauwörth von 234 m³/s bzw. 13,9 % ermittelt wurde.

5.2 Auswertungen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet B

5.2.1 Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (B)“

Bei dem mit einem geringeren Faktor (s. Kapitel 4.3.1) hochskalierten sehr großen HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“, basierend auf der Niederschlagsverteilung des historischen Ereignisses vom Mai 1999, entsprang das HW im Projektgebiet B hauptsächlich den alpennahen Bereichen (Iller, Lech- und Wertach-EZG). Im donaanahen Projektgebiet (z. B. Unterlauf der Paar, Ilm und Abens) war dieses Ereignis nur schwach ausgeprägt. Das historische HW-Ereignis vom Mai 1999 erreichte am Pegel Kelheim einen Scheitelabfluss von 2 140 m³/s (ca. HQ₈₀). Das HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ wurde auf einen Scheitelwert von 2 530 m³/s am Pegel Kelheim/Donau hochskaliert. Somit ging in die weiteren Simulationen mit dem LARSIM-Modell (ohne und mit HRB) ein etwa 300- bis 400-jährliches Hochwasserereignis ein. An dieser Stelle gilt es zu bemerken, dass die Wirkung des bereits existierenden Flutpolders Weidachwiesen an der Iller in diesen Simulationen berücksichtigt wurde.

Theoretisch könnten mit den in den 200 HRB bzw. in den 7 Flutpoldern potenziell vorhandenen 97,8 Mio. m³ Rückhaltevolumen, indem man von der Ganglinie am Pegel Kelheim/Donau im Scheitelbereich ein entsprechendes Volumen entfernt, bei diesem HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ maximale Spitzenkappungen von 641 m³/s bzw. 25 % (theoretischer Referenzwert) erzielt werden.

Insgesamt führte die oben beschriebene Ausprägung des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (B)“ beim Szenario 1 dazu, dass 129 der 200 HRB im Projektgebiet (v. a. im donaanahen Projektgebiet) gar nicht gefüllt wurden, da die simulierten Abflüsse stets unter dem jeweiligen Drosselabfluss der HRB blieben (s. grau eingefärbte HRB beispielhaft für das EZG zwischen Donauwörth und Kelheim in Bild 5.15). An 33 HRB vor allem im südlichen Iller-, Lech- und Wertach-Gebiet waren die Zuflüsse dagegen so hoch, dass die HW-Entlastungen ansprangen (s. rot eingefärbte HRB in Bild 5.15). Nur 38 HRB wurden ohne Anspringen der HW-Entlastung eingestaut (siehe hellgrün eingefärbte HRB in Bild 5.15).

Summiert man an den insgesamt 200 HRB bzw. an den 71 angesprungenen HRB das tatsächlich eingestaute Rückhaltevolumen auf, so ergibt sich ein eingesetztes Rückhaltevolumen von 29,6 Mio. m³. Bei einem theoretischen Gesamtvolumen von 97,8 Mio. m³ über alle 200 HRB entspricht dies einer Ausnutzung von 30,3 %.

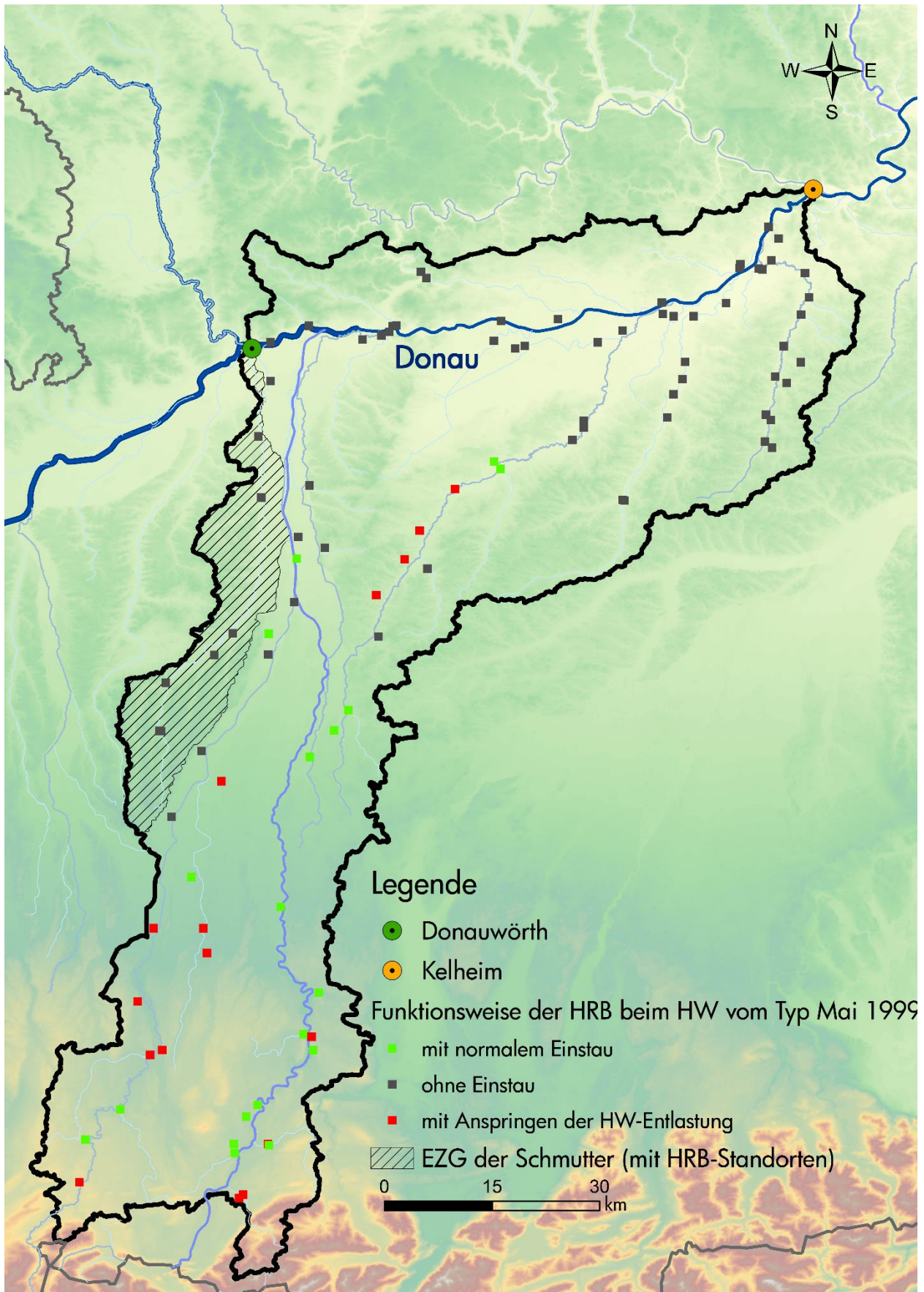


Bild 5.15: Beanspruchung der 100 HRB im EZG zwischen Donauwörth und Kelheim während des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (B)“

Beim HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ ist bemerkenswert, dass im donaanahen Projektgebiet keinerlei Einstau an den HRB stattfand, z. B. an 13 HRB im Abens-EZG bzw. 9 HRB im Ilm-EZG (s. auch graue Punkte im Nordosten des EZG zwischen Donauwörth und Kelheim im Bild 5.15). In diesen Gebieten war das HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ trotz Hochskalierung zu schwach ausgeprägt, um die jeweiligen Drosselabflüsse an den HRB zu übersteigen.

An den Nebenflüssen der Donau konnten trotz des teilweise vorhandenen Anspringens der HW-Entlastungen mit dadurch reduzierter lokaler Wirkung z. B. am Pegel Augsburg u.d.W./Lech bei einem Abfluss von knapp HQ_{1000} oft beträchtliche Scheitelreduktionen erzielt werden, im Beispiel $235 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 14 % (s. Bild 5.16).

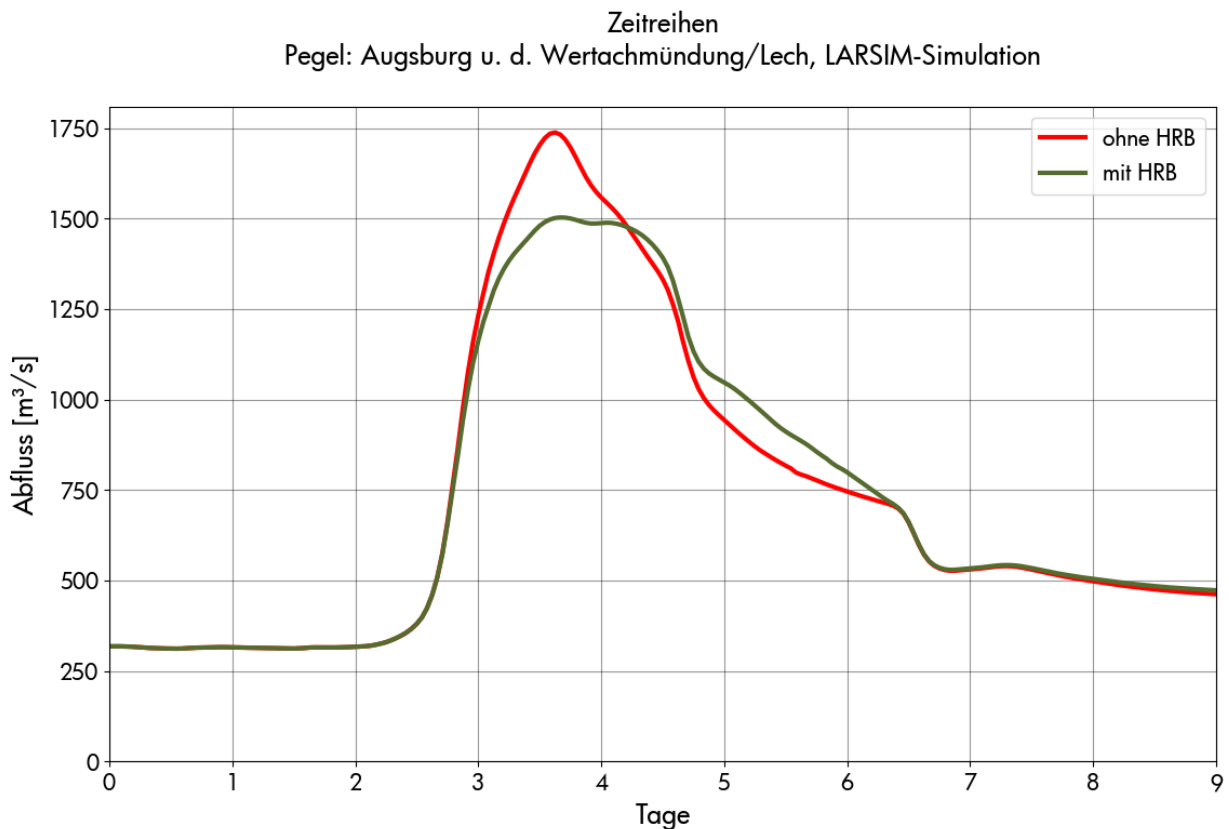


Bild 5.16: Abflusssimulation am Pegel Augsburg u.d.W./Lech ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (B)“

Andererseits kommt es im Einzelfall vor, dass durch den Rückhalt mittels HRB-Einsatz und die folgende HRB-Entleerung in eher vorlaufenden Gewässern im weiteren Verlauf der Scheitelabfluss an einem unterstromigen Pegel im Szenario 1 sogar leicht ansteigt. Dies ist z. B. am Pegel Manching/Paar zu erkennen, wo der Scheitelabfluss am Pegel im Szenario 1 mit HRB-Einsatz um $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (entspricht 0,5 %) im Vergleich zum Szenario 0 ohne HRB ansteigt (siehe Bild 5.17).

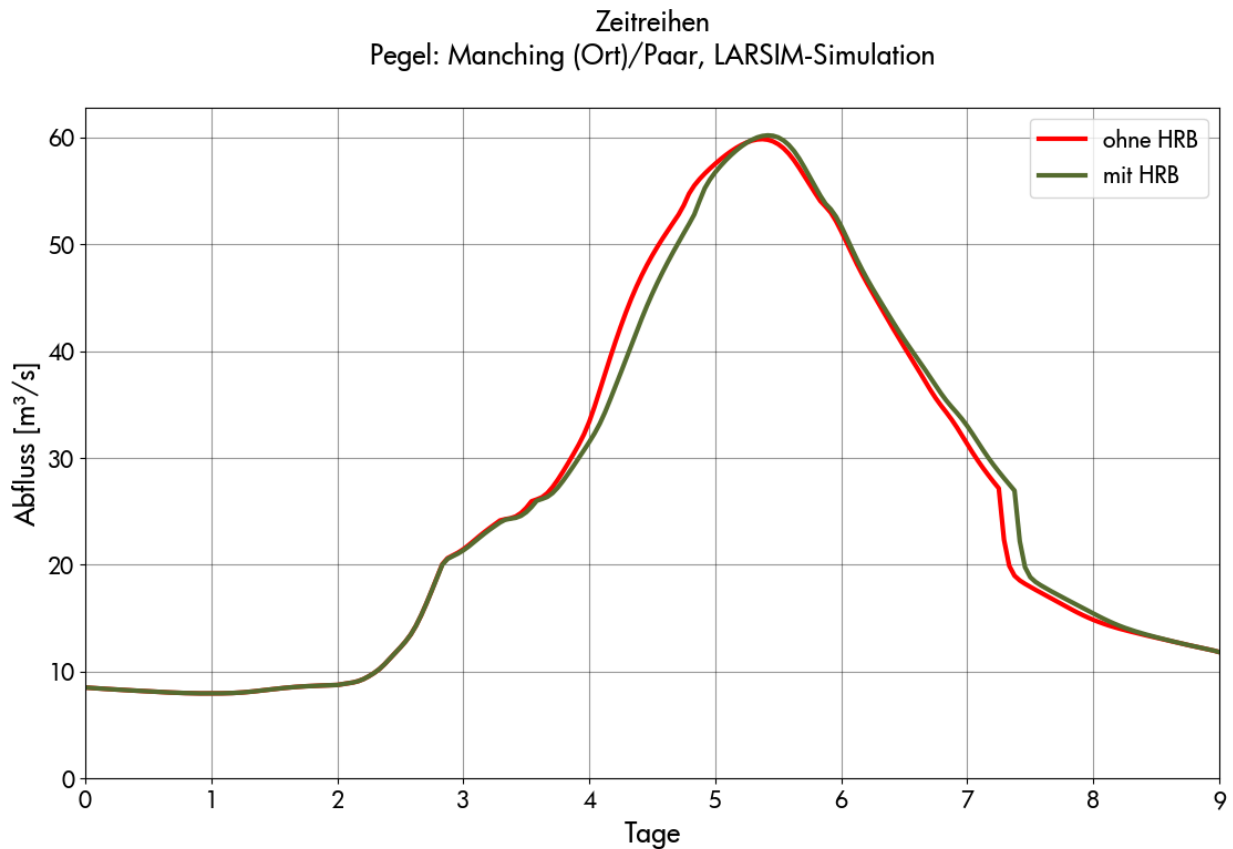


Bild 5.17: Abflusssimulation am Pegel Manching (Ort)/Paar ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ Mai 1999

Betrachtet man die Wirkung der HRB auf die Donauabflüsse, so beträgt am Zielpegel Kelheim/Donau die Reduzierung des HW-Scheitels letztlich $37 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $1,5 \%$ (s. Bild 5.18). Insgesamt zeigte sich im Projektgebiet B beim HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ eine noch eingeschränktere Wirkung der HRB zur Reduzierung der Scheitelabflüsse an der Donau als bei den Simulationen zum Projektgebiet A (s. Kapitel 5.1). Es ist zudem auch hier deutlich erkennbar, dass die Rückhaltevolumina bereits bei kleineren Abflüssen, d. h. bereits in der anlaufenden HW-Welle wirken (entspricht eher einer Verzögerung der Hochwasserwelle).

Zeitreihen
 Pegel: Kelheim/Donau, LARSIM-Simulation

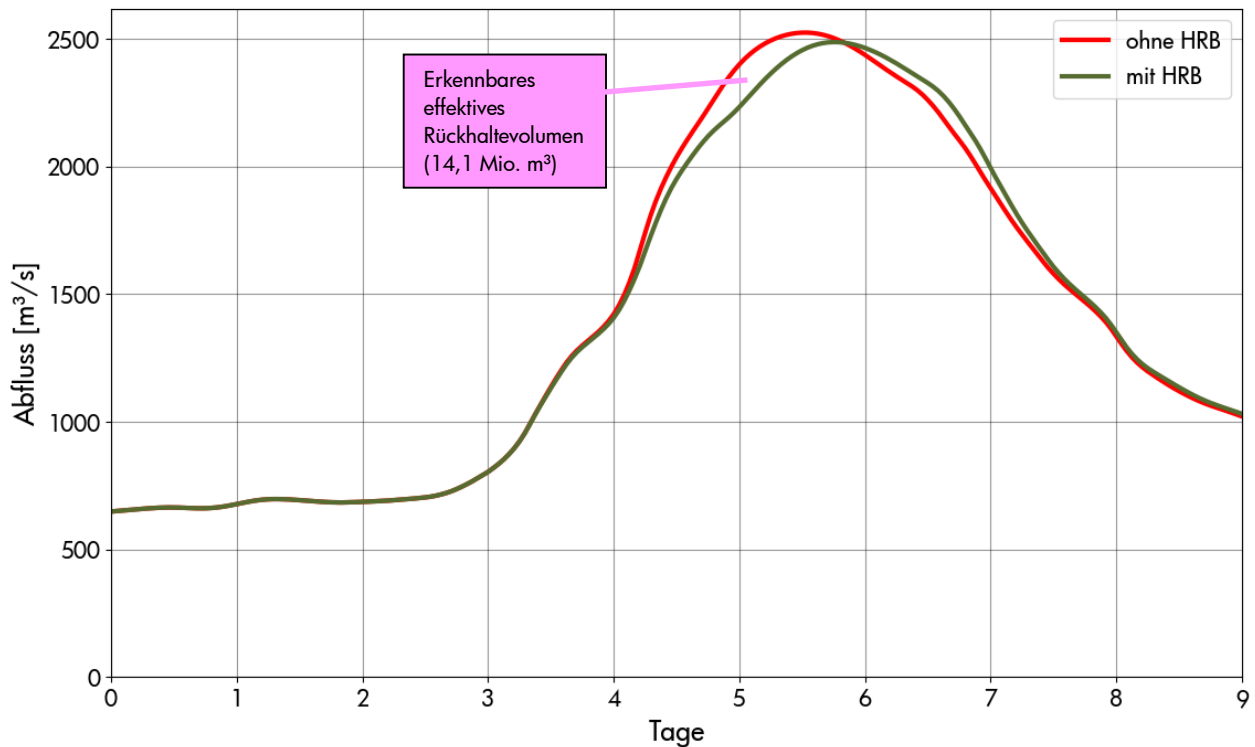


Bild 5.18: Abflusssimulation am Pegel Kelheim/Donau ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (B)“

Ermittelt man den am Pegel Kelheim anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne 200 HRB) und grüner Ganglinie (mit 200 HRB; s. Bild 5.18, rosa Textfeld), so ergibt sich ein erkennbares effektives Rückhaltevolumen von 14,1 Mio. m³, was einem Anteil am summarischen eingesetzten Rückhaltevolumen der angesprungenen HRB von lediglich 47,6 % entspricht.

Zuletzt wurde die Wirksamkeit der HRB (Szenario 1) mit jener der Flutpolder (Szenario 2) verglichen. Am Pegel Donauwörth/Donau ergaben sich für das HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ folgende Q_{sim} -Ganglinien bei der Simulation der drei Szenarien: Ohne HRB (rot), mit Einsatz der HRB oberhalb von Donauwörth (blau) bzw. mit Einsatz des vorgeschalteten Flutpolders (nur Neugeschüttwörth B) oberhalb von Donauwörth (siehe Bild 5.19).

Zeitreihen

Daten: LARSIM-Simulation des Hochwassers vom Typ Mai 1999 am Pegel Donauwörth/Donau

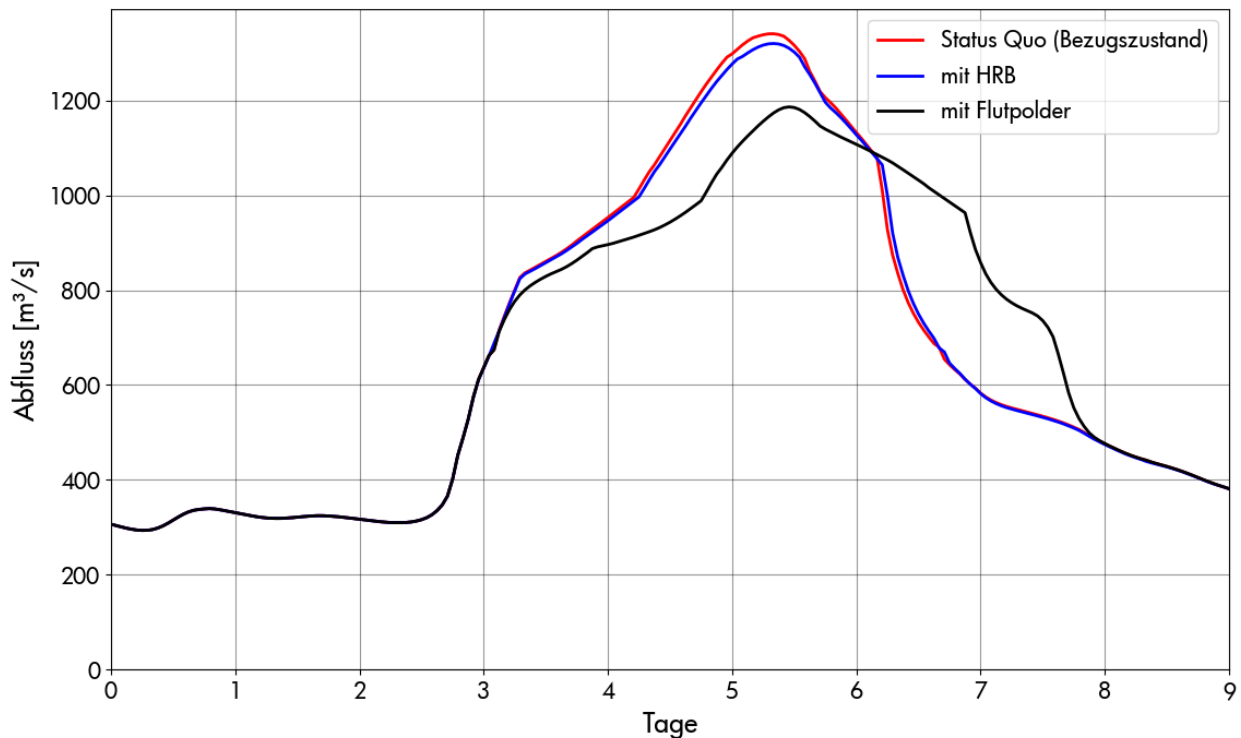


Bild 5.19: Abflusssimulation am Pegel Donauwörth/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit vorgeschaltetem Flutpolder Neugeschüttwörth B (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (B)“

Bild 5.19 zeigt für dieses hochskalierte HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“ einen relativ geringen abflussmindernden Effekt beim Einsatz der HRB (blau) im Vergleich zum Einsatz des Flutpolders Neugeschüttwörth B (schwarz). Dabei ist zu beachten, dass der Flutpolder Neugeschüttwörth B hier nicht lokal optimiert, sondern überregional auf den Lechzufluss gesteuert wurde (nahezu konstanter Abschlag aus der Donau von $200 \text{ m}^3/\text{s}$ über etwa zwei Tage). Dies ist auch daran erkennbar, dass die Reduktion der Hochwasserwelle durch den Flutpolder Neugeschüttwörth B zeitlich vor der Spitze in Donauwörth stattfindet. Dies ist darin begründet, dass die Hochwasserspitze des Lechs der Spitze der Donau zeitlich vorausläuft. Bei einer lokal optimierten Steuerung des Flutpolders Neugeschüttwörth B wäre theoretisch eine noch größere Spitzenkappung am Pegel Donauwörth möglich.

Bei der weiteren Analyse bestätigte sich die bereits am Pegel Donauwörth beobachtete, deutlich größere Wirkung der Flutpolder (s. Bild 5.20). Am Pegel Neuburg/Donau mit Einsatz des vorgeschalteten Flutpolders Neugeschüttwörth B sowie der FP Bertoldsheim und Riedensheim konnte der simulierte Scheitelabfluss ($= Q_{\text{sim}}$) von $2\,641 \text{ m}^3/\text{s}$ (Szenario 0) um $351 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $13,3 \%$ reduziert werden (s. schwarze Ganglinie in Bild 5.20). Im Gegensatz dazu bewirkte der Einsatz der HRB lediglich eine Reduzierung des simulierten Scheitelabflusses um $24 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $0,9 \%$ (siehe blaue Ganglinie in Bild 5.20).

Zeitreihen
 Daten: LARSIM-Simulation des Hochwassers vom Typ Mai 1999 am Pegel Neuburg/Donau

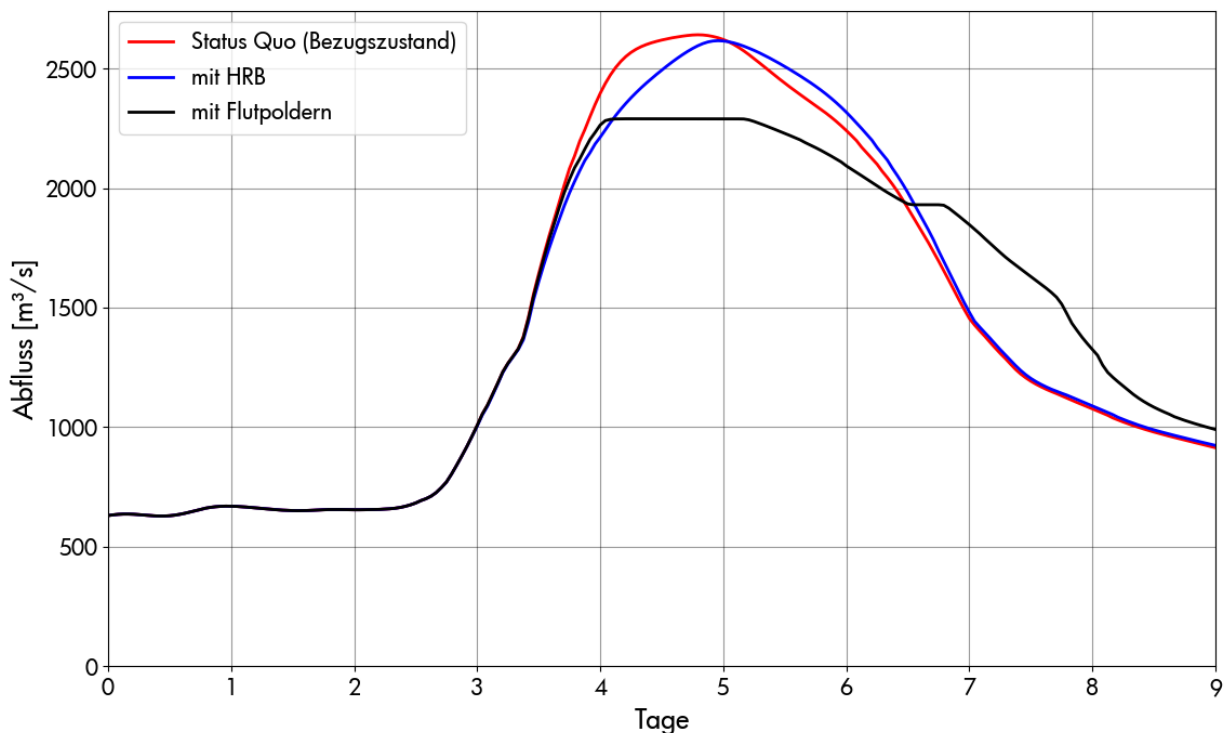


Bild 5.20: Abflusssimulation am Pegel Neuburg/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit Flutpoldern (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (B)“

Die deutlich höhere Wirkung bei Einsatz der Flutpolder zeigte sich auch am Zielpegel Kelheim/Donau am Ende von Projektgebiet B mit einer Reduzierung des Scheitelabflusses um 484 m³/s (entspricht 19,2 %) gegenüber einer Reduzierung des Scheitelabflusses um nur 37 m³/s (entspricht 1,5 %) bei Einsatz der 200 fiktiven HRB (s. Bild 5.21).

Beim Szenario 2 wurden 5 der 7 in den Donauabschnitten I und II geplanten Flutpolder eingesetzt (Neugeschüttwörth B, Bertoldsheim, Riedensheim, Großmehring und Katzau). Diese weisen zusammen ein eingesetztes Rückhaltevolumen von 78,8 Mio. m³ aus, was einer Ausnutzung von rd. 80 % des Gesamtvolumens aller in diesen Abschnitten geplanten Flutpolder (Gesamtvolumen von 97,8 Mio. m³) entspricht.

Ermittelt man den am Pegel Kelheim anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt durch Einsatz der Flutpolder mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne HRB) und schwarzer Ganglinie (mit Flutpolder; s. Bild 5.21, graues Textfeld), so ergibt sich ein erkennbares effektives Rückhaltevolumen von 67,8 Mio. m³, was einem Anteil am tatsächlich eingesetzten summarischen Rückhaltevolumen der fünf eingesetzten FP von 86,0 % entspricht.

Beim Vergleich mit den Flutpoldern ist zu beachten, dass deren Wirkung im realen Hochwasserfall aufgrund der Unsicherheit der Hochwasservorhersagen möglicherweise etwas geringer ausfällt (vgl. Kapitel 4.1). Trotz dieser Einschränkung ist die Wirkung der gesteuerten Flutpolder auf den Hochwasserscheitel der Donau offenkundig um ein Vielfaches höher als die Wirkung der HRB.

Zeitreihen

Daten: LARSIM-Simulation des Hochwassers vom Typ Mai 1999 am Pegel Kelheim/Donau

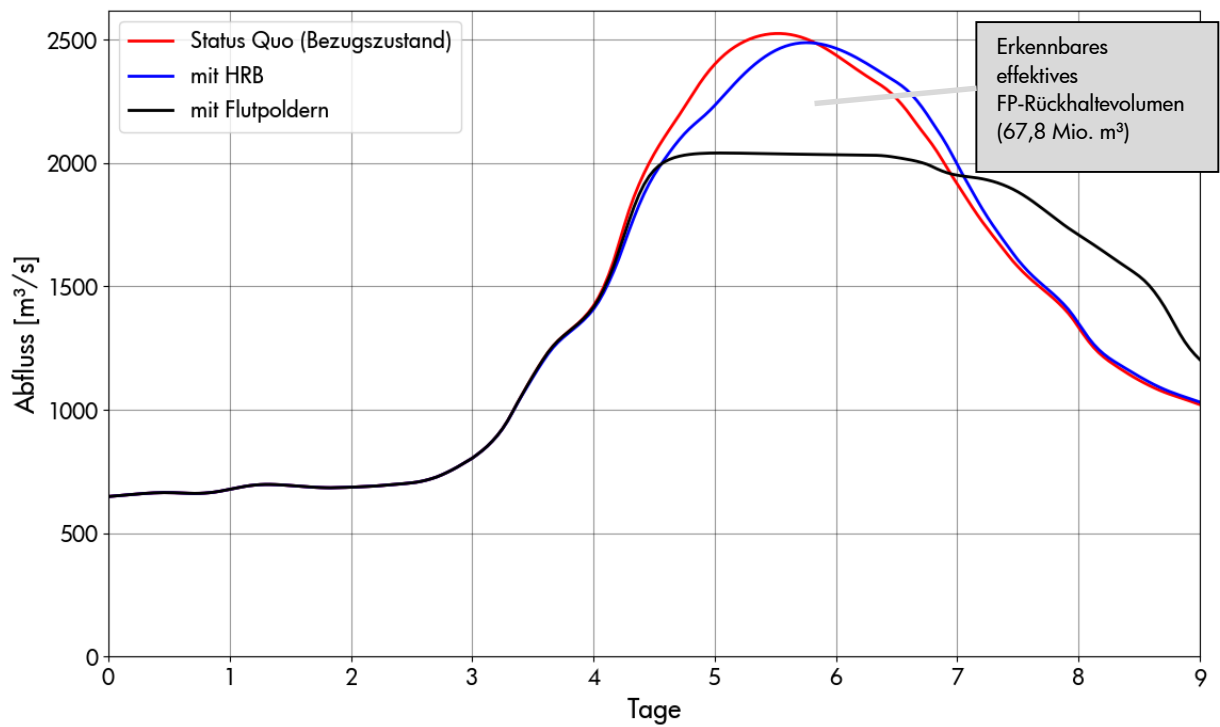


Bild 5.21: Abflusssimulation am Pegel Kelheim/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit Flutpolder (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Mai 1999 (B)“

5.2.2 Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Das hochskalierte sehr große HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“, basierend auf der Niederschlagsverteilung des historischen Ereignisses vom Juni 2013, beruhte auf wochenlangen massiven Niederschlägen bayernweit, mit einem Schwerpunkt im Südosten (z. B. Rekordniederschläge an Mangfall, Inn und der Paar). Im südlichen Teil des Projektgebiets B (Iller-, Lech- und Wertach-EZG) waren die Niederschläge im Verhältnis schwächer ausgeprägt als z. B. an der Paar. Das historische HW-Ereignis vom Juni 2013 erreichte am Pegel Kelheim/Donau einen Scheitelabfluss von 1 820 m³/s (ca. HQ₂₀). Das HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ wurde auf einen Scheitelwert von 2 530 m³/s am Pegel Kelheim/Donau hochskaliert (Szenario 0). Somit ging in die weiteren Simulationen mit dem LARSIM-Modell für alle drei Szenarien ein etwa 300- bis 400-jährliches HW-Ereignis ein. An dieser Stelle gilt es anzumerken, dass die Wirkung des bereits existierenden Flutpolders Weidachwiesen an der Iller in all diesen LARSIM-Simulationen berücksichtigt wurde.

Theoretisch könnten mit den in den 200 HRB bzw. den 7 Flutpoldern potenziell vorhandenen 97,8 Mio. m³ Rückhaltevolumen, indem man von der Ganglinie am Pegel Kelheim/Donau im Scheitelbereich ein entsprechendes Volumen entfernt, bei diesem HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ maximale Spitzenkappungen von 573 m³/s bzw. 23 % (theoretischer Referenzwert) erzielt werden.

Insgesamt führte die beschriebene Ausprägung des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“ beim Szenario 1 dazu, dass 46 der 200 HRB (v. a. in den EZG von Paar, Ilm und Abens) überlastet waren, da die simulierten Abflüsse extrem hoch ausfielen (s. rot eingefärbte HRB beispielhaft für das EZG zwischen Donauwörth und Kelheim in Bild 5.22). An 102 HRB waren die Zuflüsse hingegen zu niedrig für einen Einstau (s. grau eingefärbte HRB in Bild 5.22). In 52 HRB wurde ohne Anspringen der HW-Entlastung eingestaut (siehe hellgrün eingefärbte HRB in Bild 5.22).

Summiert man an den insgesamt 200 HRB bzw. an den 98 angesprungenen HRB das tatsächlich eingestaute Rückhaltevolumen auf, so ergibt sich ein eingesetztes Rückhaltevolumen von 28,1 Mio. m³. Bei einem theoretischen Gesamtvolumen von 97,8 Mio. m³ über alle 200 HRB entspricht dies einer Ausnutzung von 28,8 %.

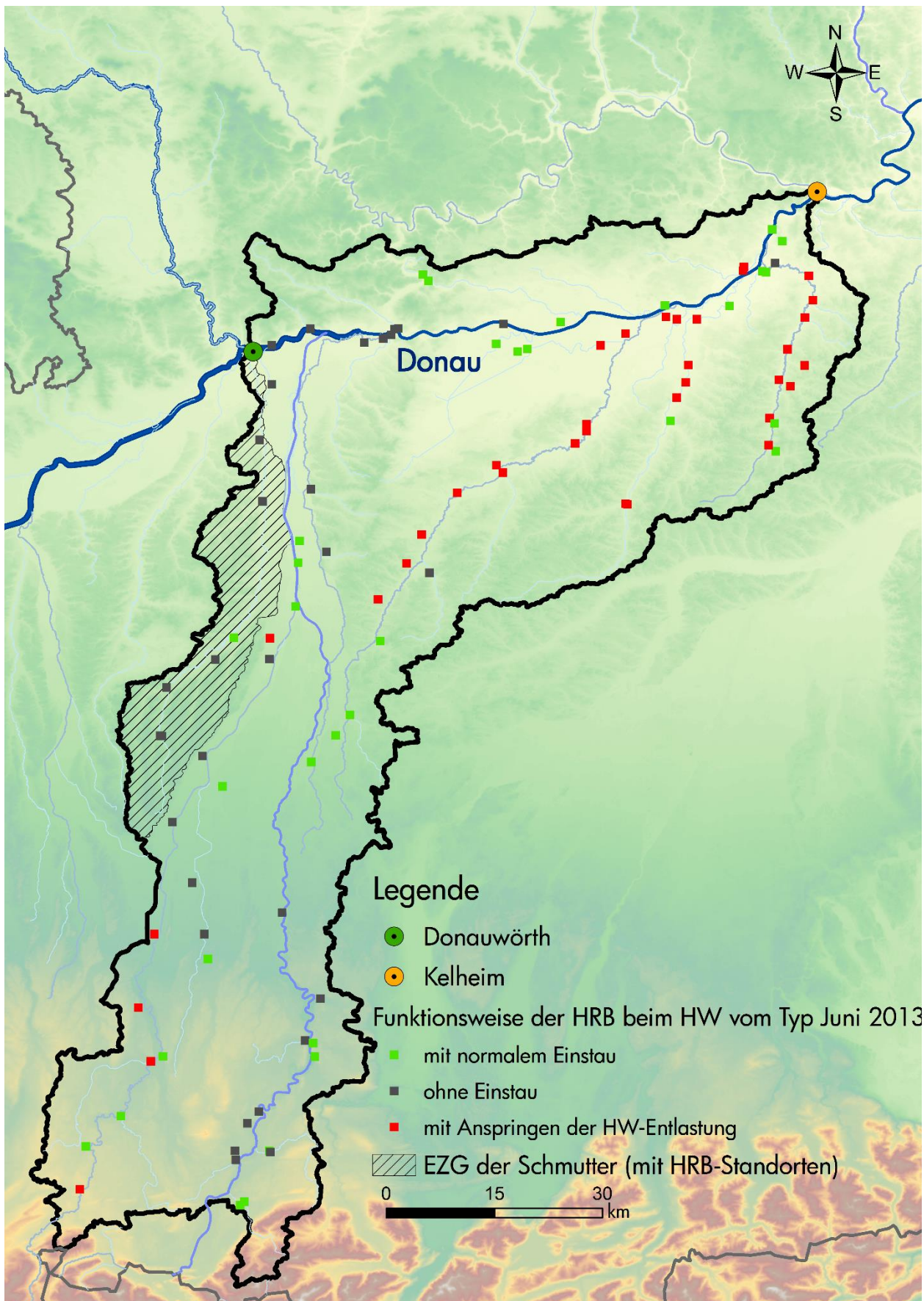


Bild 5.22: Beanspruchung der 100 HRB im EZG zwischen Donauwörth und Kelheim während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

An den Nebenflüssen der Donau konnten trotz des teilweise vorhandenen Anspringens der HW-Entlastungen mit dadurch reduzierter lokaler Wirkung bzw. des z. T. fehlenden Einstaus regional oft beträchtliche HW-Scheitelreduzierungen erzielt werden, z. B. am Pegel Augsburg-Oberhausen/Wertach bei einem HQ_{50} rund $55 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. 13 % (s. Bild 5.23).

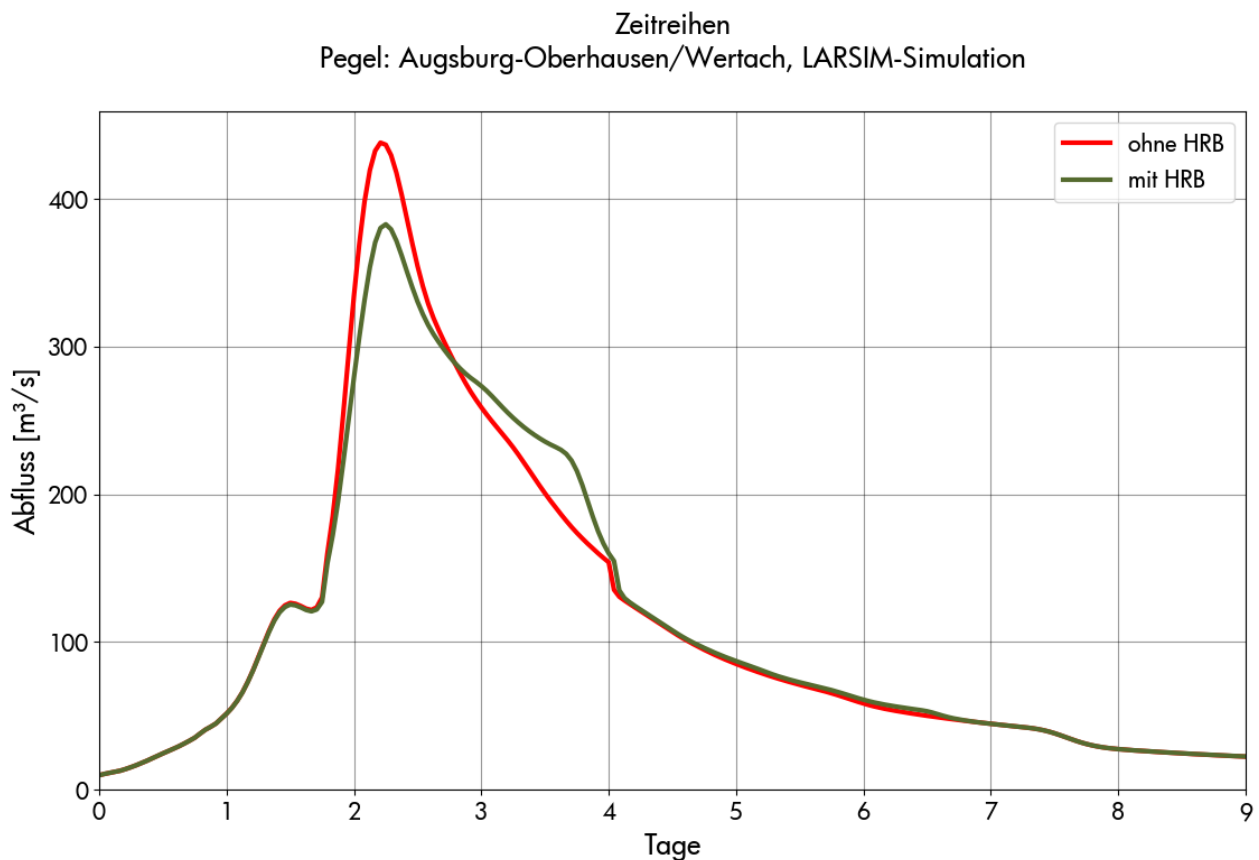


Bild 5.23: Abflusssimulation am Pegel Augsburg-Oberhausen/Wertach ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Insgesamt war die Wirkung der HRB an den Nebenflüssen der Donau aber eingeschränkt. Diese eingeschränkte Wirkung der HRB zeigte sich beispielsweise am Pegel Manching (Ort)/Paar, wo der an vielen HRB im Paar-EZG vorhandene Überstau nur zu einer minimalen Reduzierung des simulierten Scheitelabflusses führt, trotz Einsatz von 13 HRB oberhalb des Pegels (siehe Bild 5.24).

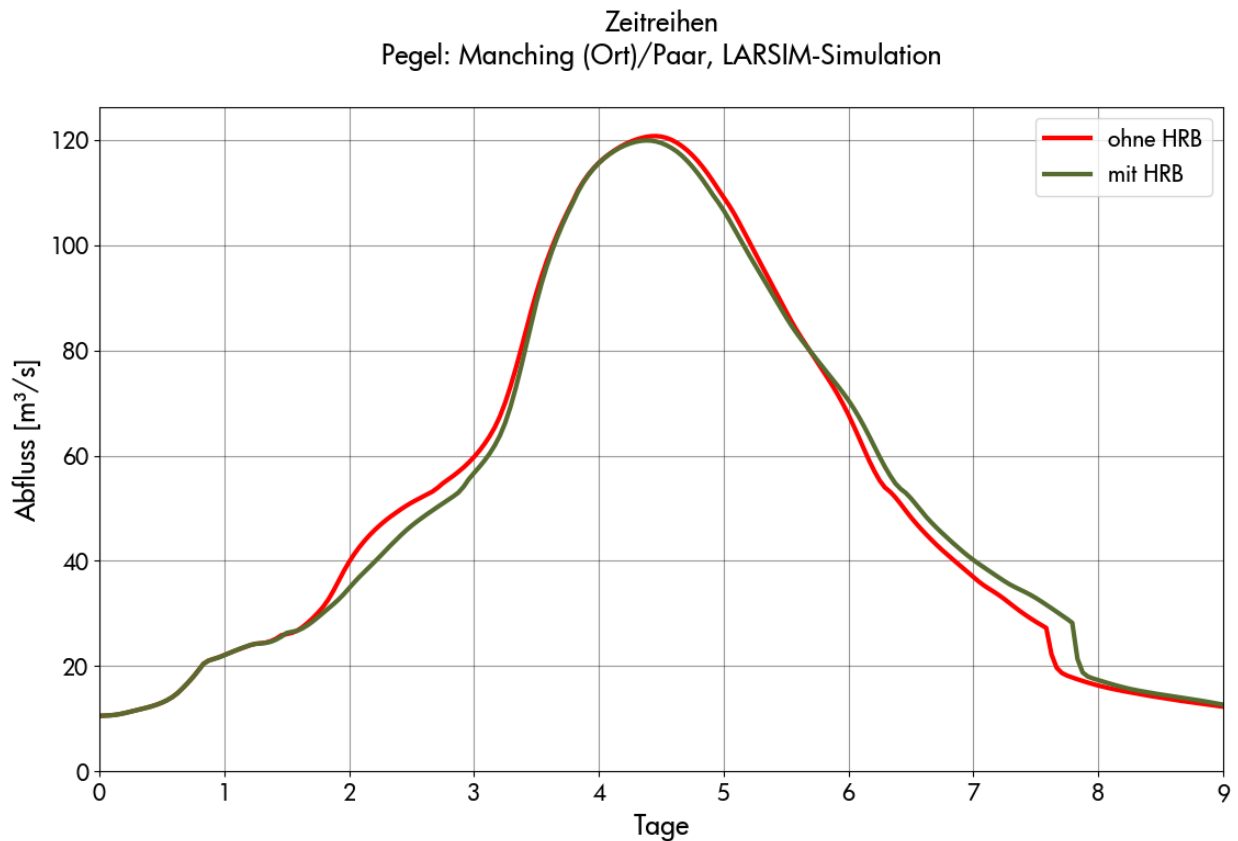


Bild 5.24: Abflusssimulation am Pegel Manching (Ort)/Paar ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Betrachtet man die Wirkung der HRB auf die Donauabflüsse, so beträgt am Zielpegel Kelheim/Donau die Reduzierung des HW-Scheitels schließlich $13 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $0,5 \%$ (s. Bild 5.25). Insgesamt zeigte sich hier im Projektgebiet B beim HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“, analog zum HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“, erneut eine deutlich eingeschränkte Wirkung der HRB hinsichtlich einer Reduzierung der Scheitelabflüsse an der Donau.

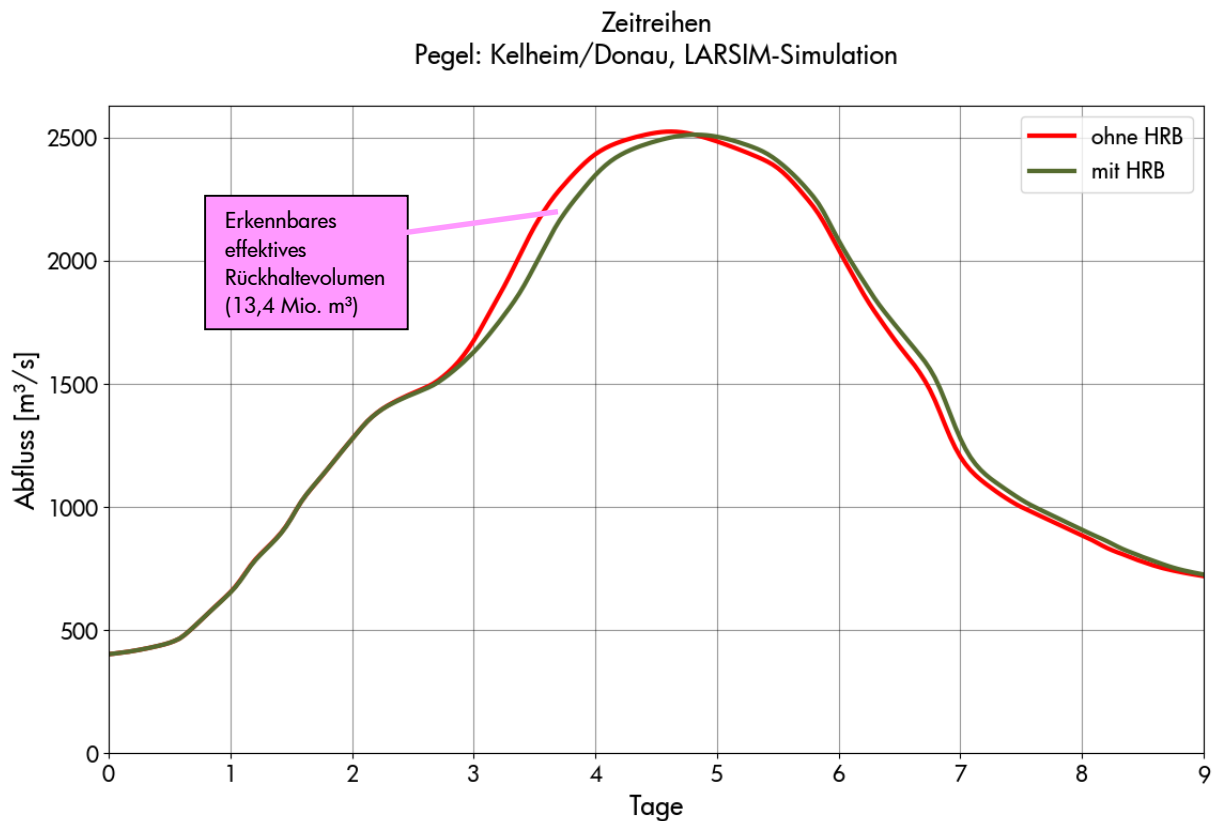


Bild 5.25: Abflusssimulation am Pegel Kelheim/Donau ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Ermittelt man den am Pegel Kelheim anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne 200 HRB) und grüner Ganglinie (mit 200 HRB; s. Bild 5.25, rosa Textfeld), so ergibt sich ein erkennbares effektives Rückhaltevolumen von 13,4 Mio. m³, was einem Anteil am summarischen eingesetzten Rückhaltevolumen der angesprungenen HRB von nur 47,7 % entspricht.

Zuletzt wurde die Wirksamkeit der HRB (Szenario 1) mit jener der Flutpolder (Szenario 2) verglichen. Am Pegel Donauwörth/Donau ergaben sich für das HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ folgende Q_{sim} -Ganglinien bei der Simulation der drei Szenarien: Ohne HRB (rot), mit Einsatz der 100 HRB oberhalb von Donauwörth (blau) bzw. mit Einsatz des vorgeschalteten Flutpolders (nur Neugeschüttwörth B) oberhalb von Donauwörth (siehe Bild 5.26).

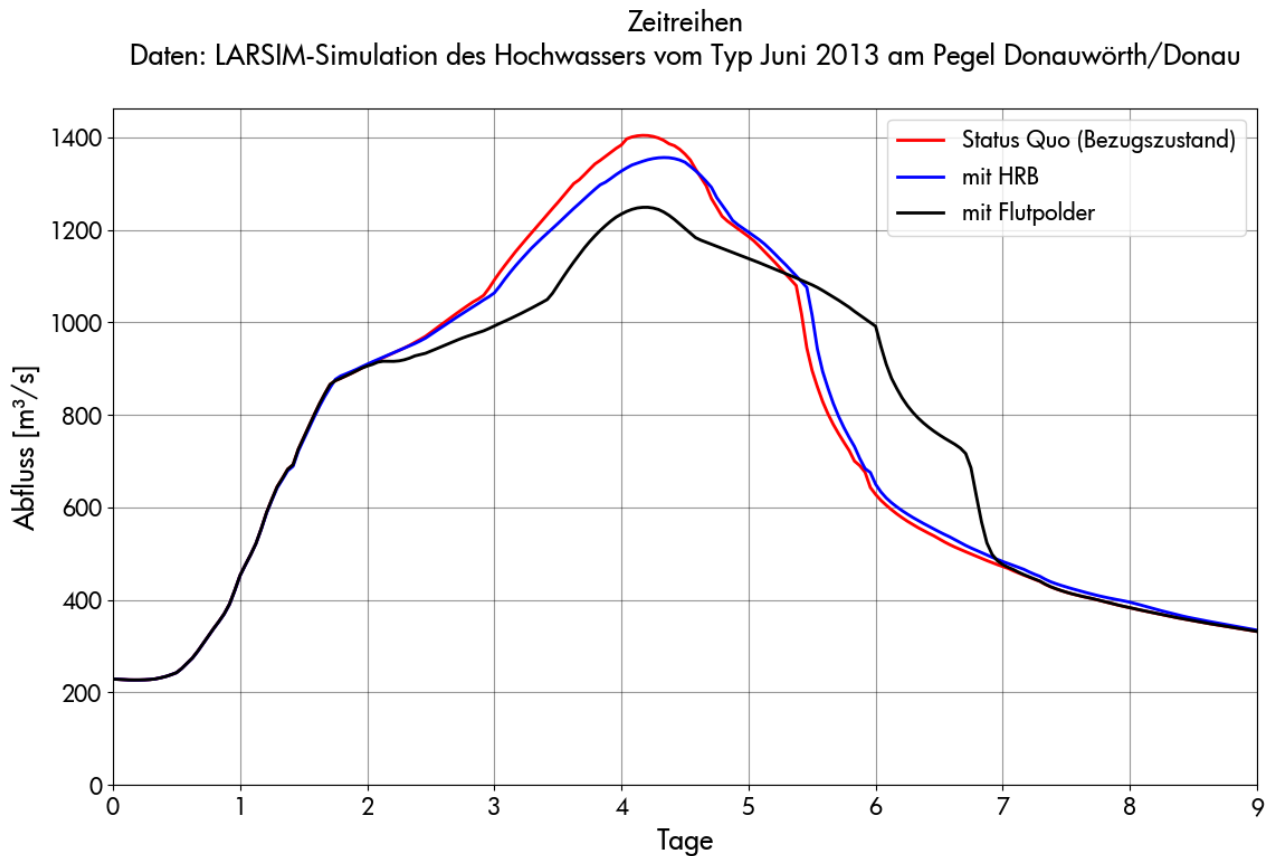


Bild 5.26: Abflusssimulation am Pegel Donauwörth/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit vorgeschaltetem Flutpolder Neugeschüttwörth B (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Bild 5.26 zeigt für dieses hochskalierte HW-Ereignis vom Typ Juni 2013 einen relativ geringeren abflussmindernden Effekt beim Einsatz der HRB (blau) im Vergleich zum Einsatz des Flutpolders Neugeschüttwörth B (schwarz). Die Anmerkungen zum Einsatz des Flutpolders Neugeschüttwörth B aus Kapitel 5.2.1 gelten hier entsprechend (wegen geringerer Donauabflüsse in diesem Bereich allerdings mit niedrigerem konstanten Abschlag aus der Donau von 150 m³/s über etwa zweieinhalb Tage).

Bei der weiteren Analyse bestätigte sich die bereits am Pegel Donauwörth beobachtete, deutlich größere Wirkung der Flutpolder gegenüber den HRB. Am Pegel Neuburg/Donau mit Einsatz des vorgeschalteten Flutpolders Neugeschüttwörth B sowie der FP Bertoldsheim und Riedensheim konnte der simulierte Scheitelabfluss (= Q_{sim}) von 2 284 m³/s (Szenario 0) um 278 m³/s bzw. 12,2 % reduziert werden (s. schwarze Ganglinie in Bild 5.27). Im Gegensatz dazu bewirkte der Einsatz der HRB im EZG lediglich eine zeitliche Verschiebung der Ganglinie am Pegel Neuburg/Donau. Der simulierte Scheitelabfluss blieb mit ca. 2 285 m³/s im Vergleich von Szenario 0 mit Szenario 1 quasi identisch (siehe rote bzw. blaue Ganglinie in Bild 5.27).

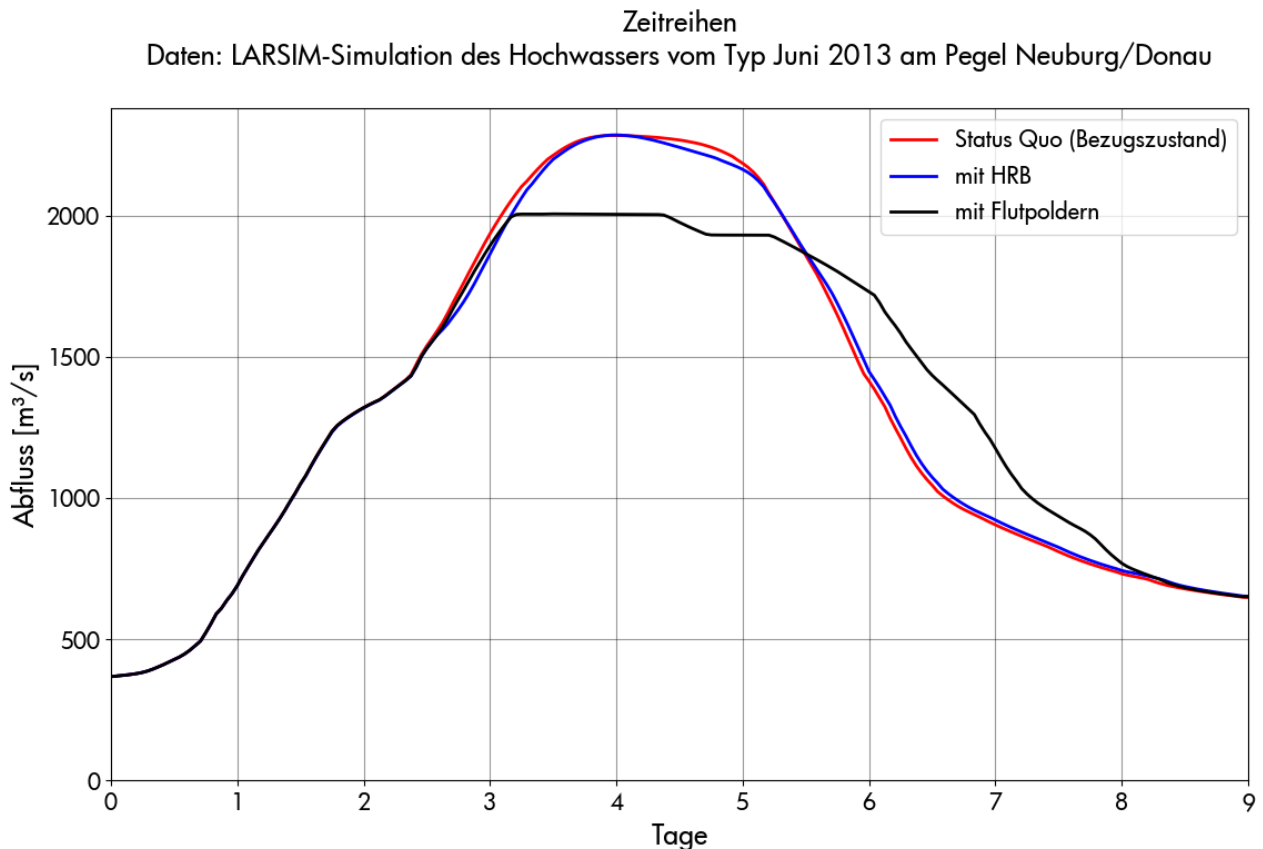


Bild 5.27: Abflusssimulation am Pegel Neuburg/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit Flutpolder (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Die Ergebnisse beim Vergleich der drei Szenarien am Pegel Neuburg/Donau lassen sich direkt auf die Ergebnisse am Zielpegel Kelheim/Donau übertragen. Auch am Zielpegel Kelheim beobachtet man eine deutlich höhere scheinabflussmindernde Wirkung bei Einsatz der Flutpolder. Die Reduzierung des simulierten Scheitelabflusses beträgt hier 339 m³/s (entsprechend 13,4 %) bei Einsatz der Flutpolder gegenüber einer sehr kleinen Reduzierung des Scheitelabflusses von nur 13 m³/s (entspricht 0,5 %) bei Einsatz der 200 fiktiven HRB (s. Bild 5.28).

Beim Szenario 2 wurden wieder 5 der 7 in den Donauabschnitten I und II geplanten Flutpolder eingesetzt (Neugeschüttwörth B, Bertoldsheim, Riedensheim, Großmehring und Katzau). Diese haben zusammen ein Rückhaltevolumen von 78,8 Mio. m³, was einer Ausnutzung von rd. 80 % des Gesamtvolumens aller in diesen Abschnitten geplanten Flutpolder (Gesamtvolumen von 97,8 Mio. m³) entspricht.

Auch bei diesem Ereignis ist zu beachten, dass die Wirkung der Flutpolder im realen Hochwasserfall aufgrund der Unsicherheit der Hochwasservorhersagen möglicherweise etwas geringer ausfällt (vgl. Kapitel 4.1). Trotz dieser Einschränkung ist die Wirkung der gesteuerten Flutpolder auf den Hochwasserscheitel der Donau auch bei diesem Hochwasser offenkundig um ein Vielfaches höher als die Wirkung der HRB.

Zeitreihen
 Daten: LARSIM-Simulation des Hochwassers vom Typ Juni 2013 am Pegel Kelheim/Donau

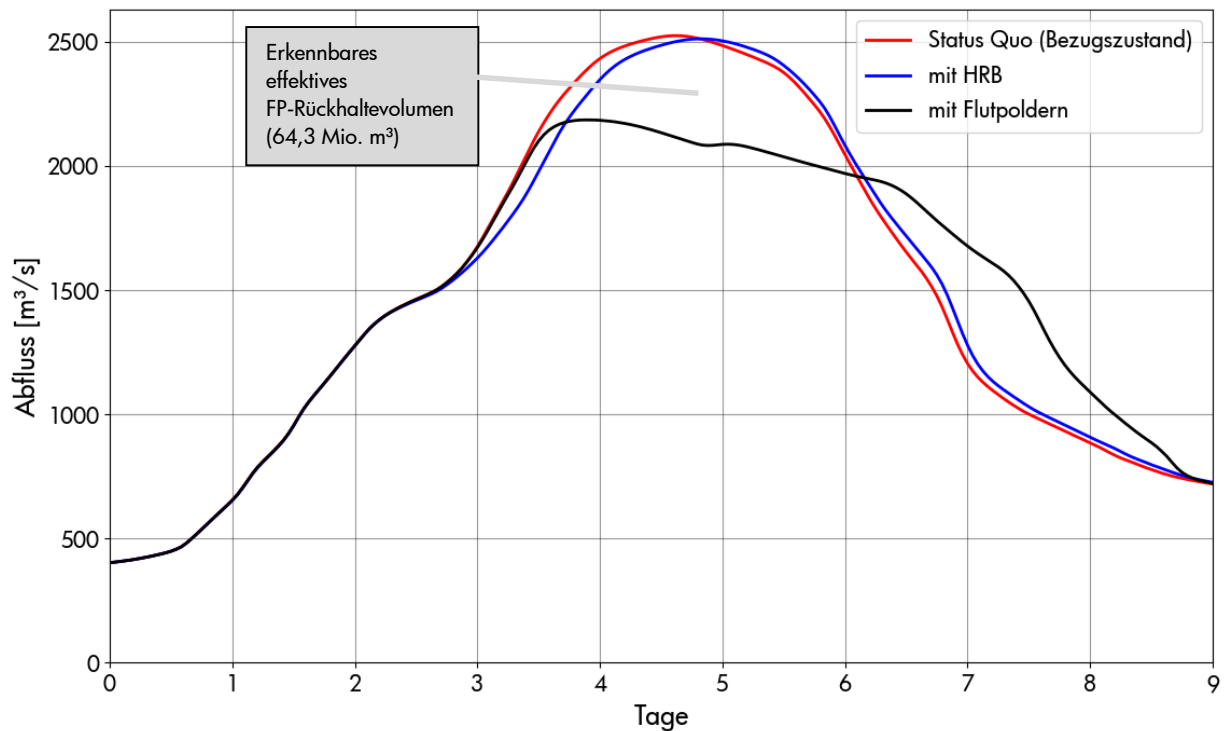


Bild 5.28: Abflusssimulation am Pegel Kelheim/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit Flutpolder (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Ermittelt man den am Pegel Kelheim anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt durch Einsatz der Flutpolder mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne HRB) und schwarzer Ganglinie (mit Flutpolder; s. Bild 5.28, graues Textfeld), so ergibt sich ein erkennbares effektives Rückhaltevolumen von 64,3 Mio. m³, was einem Anteil am tatsächlich eingesetzten summarischen Rückhaltevolumen der fünf eingesetzten FP von 81,6 % entspricht.

5.3 Auswertungen für Überlastfall an der Donau im Projektgebiet C

5.3.1 Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „Januar 2011“

Das hochskalierte sehr große HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“, basierend auf der Niederschlagsverteilung des historischen Ereignisses vom Januar 2011, hatte seine Niederschlagsschwerpunkte im Berchtesgadener Land und im Chiemgau. Aber auch im Mangfall-Gebirge, in den Allgäuer Alpen und, für dieses Ereignis des Projektgebiets C relevant, im Bayerischen Wald wurden hohe Regenmengen registriert, die im Zusammenspiel mit der massiven Schneeschmelze das historische HW-Ereignis auslösten.

Das historische HW-Ereignis vom Januar 2011 erreichte am Pegel Schwabelweis/Donau (für den Zielpegel Straubing liegt kein historischer Abfluss vor, da dort lediglich der Wasserstand erfasst wird) einen Scheitelabfluss von 2 170 m³/s (ca. HQ₁₀). Das HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ wurde auf einen Scheitelwert von ca. 3 900 m³/s am Pegel Straubing/Donau hochskaliert (Szenario 0). Somit ging in die weiteren Simulationen mit dem LARSIM-Modell für alle drei Szenarien ein etwa 300-jährliches HW-Ereignis ein. An dieser Stelle gilt es anzumerken, dass die Wirkung des bereits existierenden Flutpolders Weidachwiesen an der Iller in all diesen Simulationen keine Berücksichtigung fand, da bei diesem HW-Ereignis auch mit Hochskalierung die Voraussetzungen für einen Einsatz des FP Weidachwiesen nicht gegeben waren.

Theoretisch könnten mit den in den 300 HRB bzw. den 10 Flutpoldern potenziell vorhandenen 143,6 Mio. m³ Rückhaltevolumen, indem man von der Ganmlinie am Pegel Straubing/Donau im Scheitelbereich ein entsprechendes Volumen entfernt, bei diesem HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ maximale Spitzenkappungen von 936 m³/s bzw. 24 % (theoretischer Referenzwert) erzielt werden.

Im Projektgebiet C wurden bei diesem HW-Ereignis nur 67 der 300 HRB normal eingestaut (siehe grüne Punkte beispielhaft für das EZG zwischen Kelheim und Straubing in Bild 5.29). Bei 160 HRB lagen die simulierten Abflüsse stets unterhalb des Drosselabflusses aus der KOSTRA-Bemessung, sodass hier kein Einstau erfolgte (siehe graue Punkte in Bild 5.29). Und bei 73 HRB (vor allem im EZG von Naab und Regen) kam es zum Anspringen der HW-Entlastung (siehe rote Punkte in Bild 5.29). Damit wiesen bei diesem sehr großen HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ über drei Viertel der HRB Einschränkungen in der Wirksamkeit der Abflussreduzierung auf.

Summiert man an den insgesamt 300 HRB bzw. an den 140 angesprungenen HRB das tatsächlich eingestaute Rückhaltevolumen auf, so ergibt sich ein eingesetztes Rückhaltevolumen von 40,1 Mio. m³. Bei einem theoretischen Gesamtvolumen von 143,6 Mio. m³ über alle 300 HRB entspricht dies einer Ausnutzung von 27,9 %.

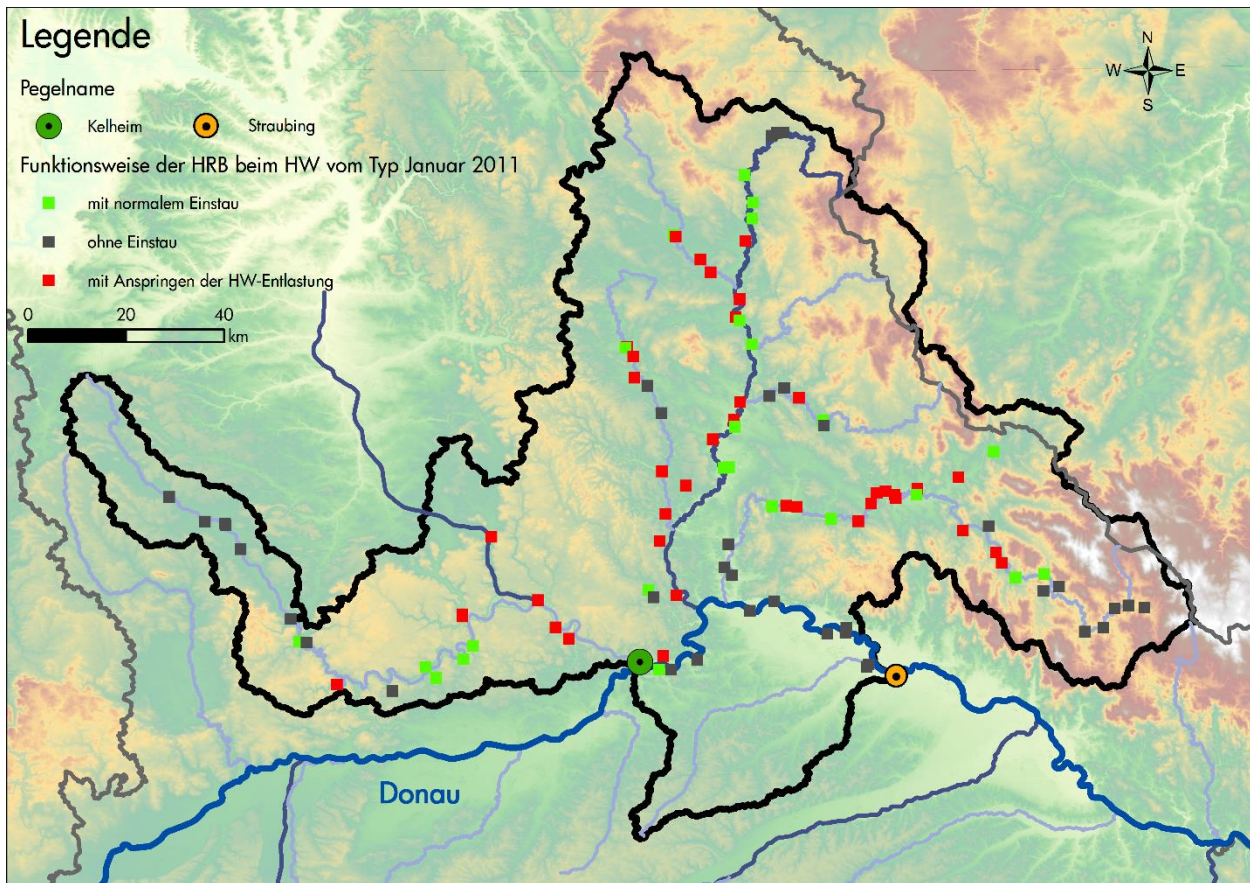


Bild 5.29: Beanspruchung der 100 HRB im EZG zwischen Kelheim und Straubing während des HW-Ereignisses vom Typ „Januar 2011“

An den Nebenflüssen der Donau konnten trotz des teilweise vorhandenen Anspringens der HW-Entlastungen mit dadurch reduzierter lokaler Wirkung bzw. des z. T. fehlenden Einstaus regional oft beträchtliche HW-Scheitelreduzierungen erzielt werden, z. B. am Pegel Heitzenhofen/Naab von $65 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $6,2 \%$ (s. Bild 5.30) oder am Pegel Deuerling/Schwarze Laber von $16 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $18,4 \%$.

Dennoch war die Wirkung der HRB an den Nebenflüssen der Donau insgesamt eingeschränkt, was neben der genannten hohen Anzahl an HRB ohne Einstau auch am zeitlich z. T. ungünstigen Zusammenspiel der HW-Wellen beim HRB-Einstau bzw. der anschließenden HRB-Entleerung lag. Dies führte beispielsweise am Pegel Beilngries/Altmühl dazu, dass bei der doppelgipfligen HW-Welle der erste HW-Scheitel zwar mit $25 \text{ m}^3/\text{s}$ ($= 11 \%$) erheblich reduziert werden konnte (siehe Bild 5.31). Jedoch führte die anschließende Entleerung der insgesamt 16 HRB oberhalb des Pegels Beilngries dazu, dass der zweite HW-Scheitel bei der Simulation mit HRB (Szenario 1) sogar um ca. 4% höher lag als bei der Simulation ohne HRB (Szenario 0; siehe auch Bild 5.31)

Zeitreihen
 Pegel: Heitzenhofen/Naab, LARSIM-Simulation

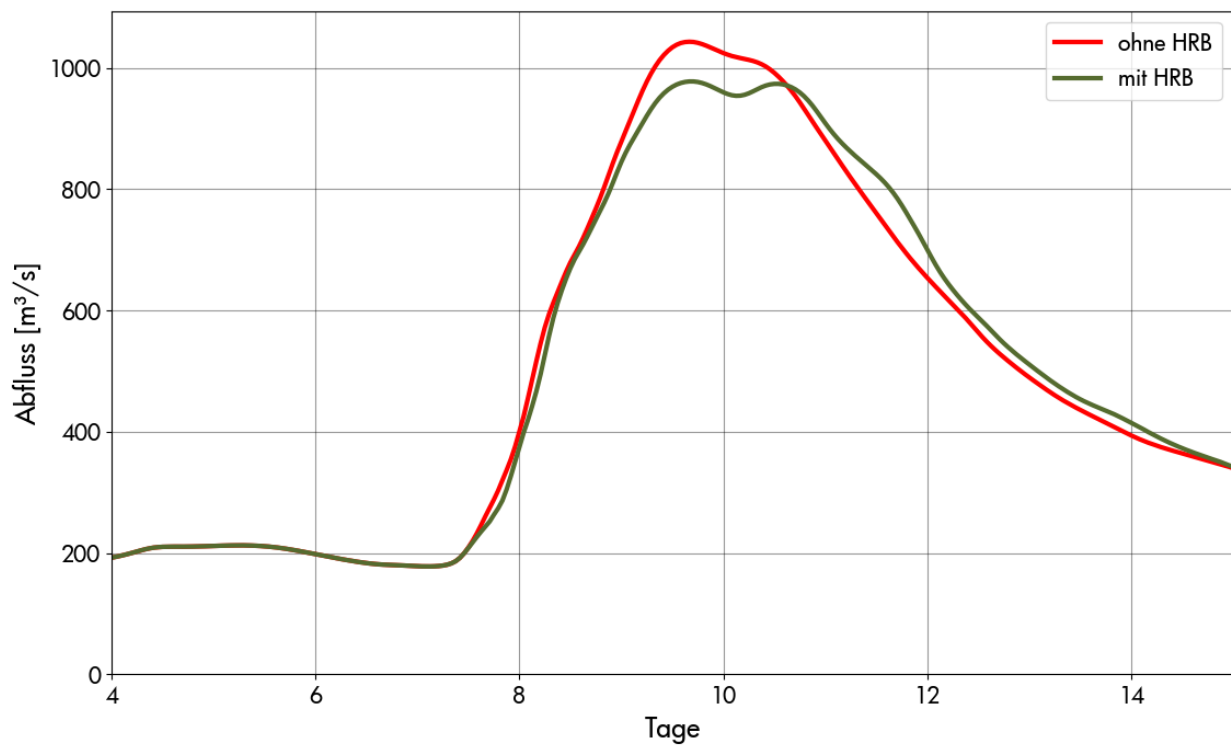


Bild 5.30: Abflusssimulation am Pegel Heitzenhofen/Naab ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Januar 2011“

Zeitreihen
 Pegel: Beilngries/Altmühl, LARSIM-Simulation

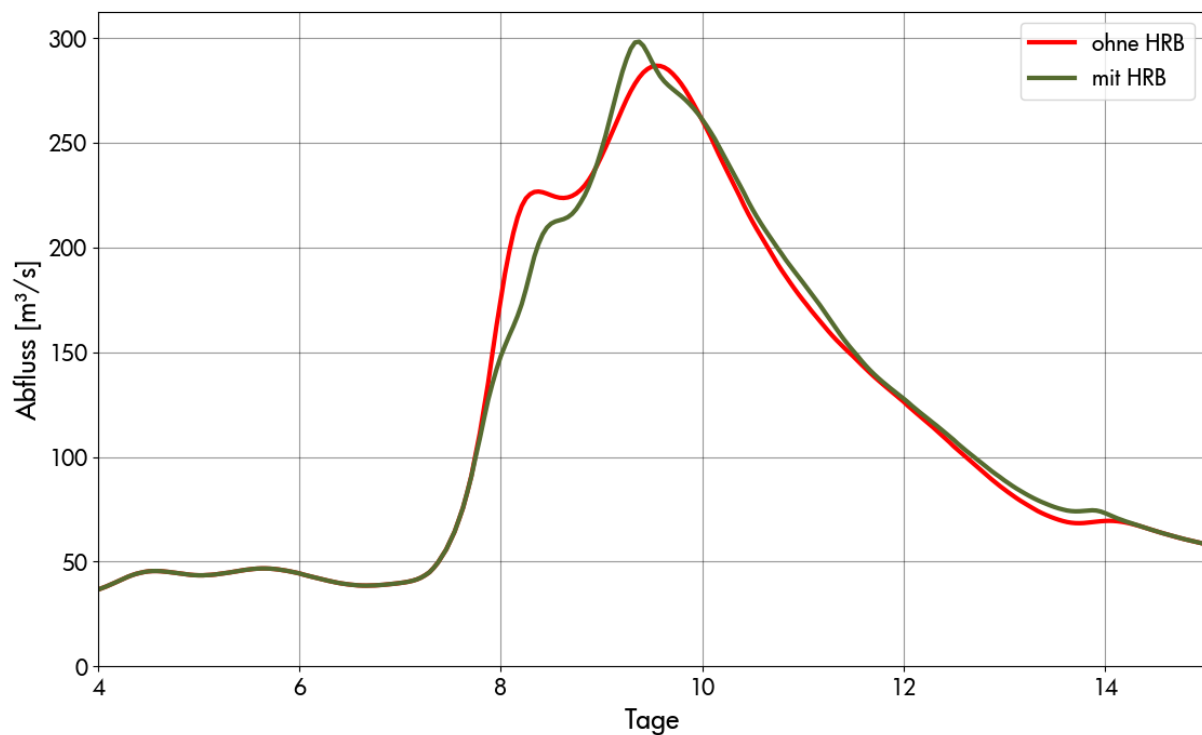


Bild 5.31: Abflusssimulation am Pegel Beilngries/Altmühl ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Januar 2011“

Betrachtet man die Wirkung der HRB auf die Donauabflüsse, so beträgt am Zielpegel Straubing/Donau die Reduzierung des HW-Scheitels $72 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $1,8 \%$ (siehe Bild 5.32). Insgesamt war damit die Wirkung der HRB im Projektgebiet C bei der Reduzierung der Abflüsse an der Donau bei diesem hochskalierten HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ auch wieder deutlich eingeschränkt.

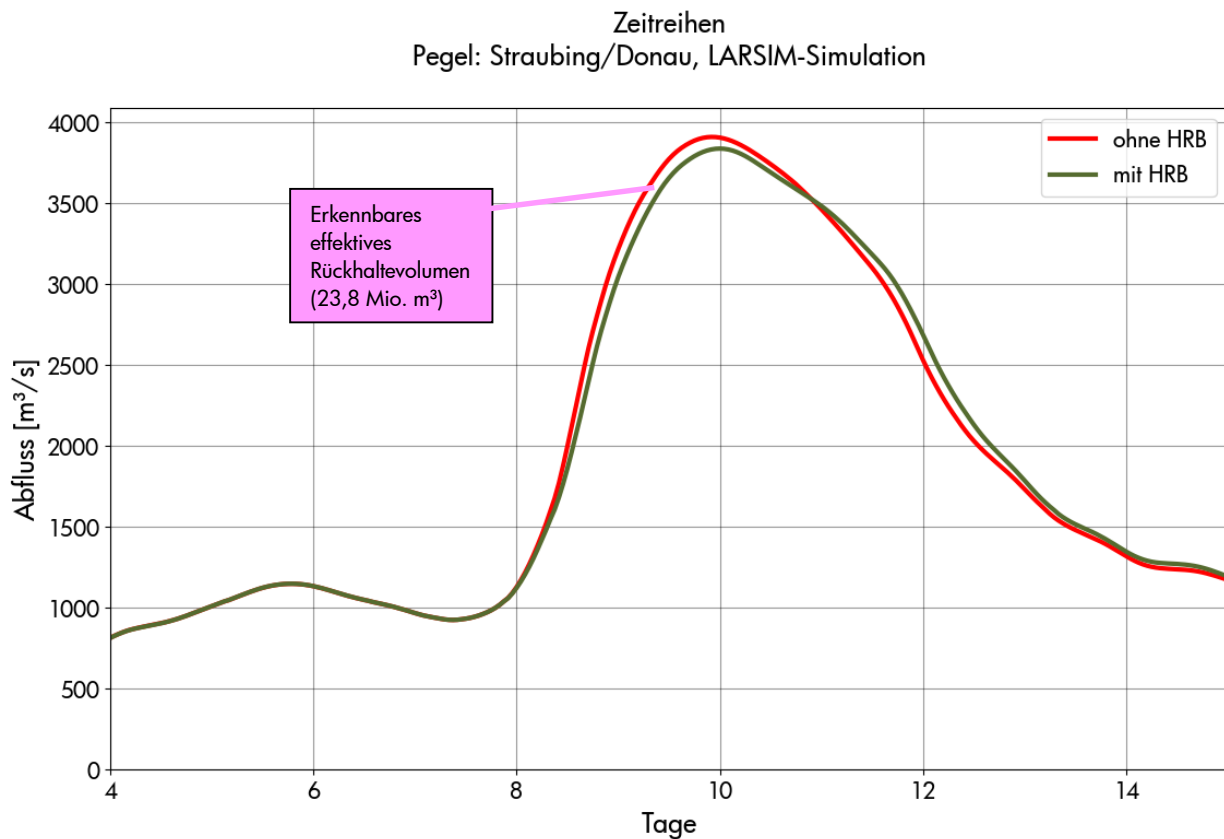


Bild 5.32: Abflusssimulation am Zielpegel Straubing/Donau ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Januar 2011“

Ermittelt man den am Pegel Straubing anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne HRB) und grüner Ganglinie (mit HRB; s. Bild 5.32, rosa Textfeld), so ergibt sich ein erkennbares effektives Rückhaltevolumen von $23,8 \text{ Mio. m}^3$, was einem Anteil am summarischen eingesetzten Rückhaltevolumen der angesprungenen HRB von $59,4 \%$ entspricht.

In der finalen Analyse für das HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ wurde die Wirksamkeit der 300 HRB (Szenario 1) mit jener der Flutpolder (Szenario 2) verglichen.

Am Pegel Kelheim/Donau ergeben sich für das HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ folgende Q_{sim} -Ganglinien bei der Simulation der drei Szenarien: Ohne HRB (rot), mit Einsatz der 200 HRB oberhalb von Kelheim (blau) bzw. mit Einsatz der vorgeschalteten Flutpolder (Großmehring und Katzau) oberhalb von Kelheim (siehe Bild 5.33).

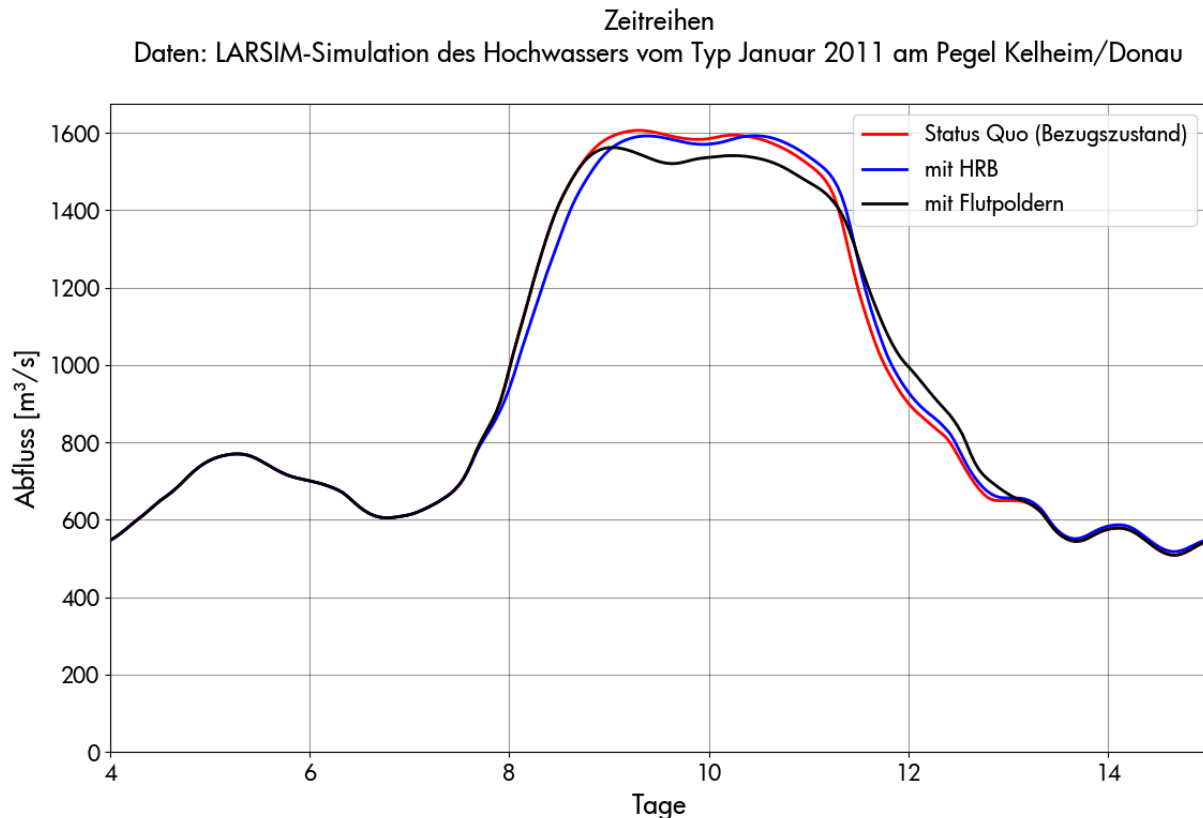


Bild 5.33: Abflusssimulation am Pegel Kelheim/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit vorgeschalteten Flutpoldern Großmehring und Katzau (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Januar 2011“

Bild 5.33 zeigt für dieses hochskalierte HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ am Pegel Kelheim generell relativ geringe abflussmindernde Effekte, sowohl beim Einsatz der HRB (blau) als auch beim Einsatz der Flutpolder (schwarz; etwas größerer Effekt beobachtbar). Bei den vorgeschalteten Flutpoldern Großmehring und Katzau konnte, da das hochskalierte Hochwasserereignis im Bereich der Flutpolder nur ein HQ_{5-10} aufwies, jeweils nur eine Teilfüllung mit rd. 50% des maximalen Rückhaltevolumens angesetzt werden (insg. 10,8 Mio. m^3).

Am Pegel Schwabelweis/Donau, lediglich mit Einsatz der zwei vorgeschalteten Flutpolder Großmehring und Katzau, welche zudem auch nur jeweils zur Hälfte (insgesamt 10,8 Mio. m^3) gefüllt wurden, konnte der simulierte Scheitelabfluss auf das gleiche Maß wie mit den HRB reduziert werden (s. gleiches Niveau der Scheitelabflüsse mit Flutpolder [schwarz] bzw. mit HRB [blau] in Bild 5.34). Bedenkt man, dass die drei Flutpolder im Donauabschnitt III erst nach dem Pegel Schwabelweis kommen (d. h. Abflussreduzierung beruht nur auf zwei teilgefüllten vorgeschalteten FP) und dass im Gegensatz hierzu bereits 293 der 300 HRB vor dem Pegel Schwabelweis liegen, also bereits ihre Wirkung entfacht haben, ist die Effektivität der fiktiven HRB im Einzugsgebiet als relativ schwach einzuschätzen.

Zeitreihen

Daten: LARSIM-Simulation des Hochwassers vom Typ Januar 2011 am Pegel Schwabelweis/Donau

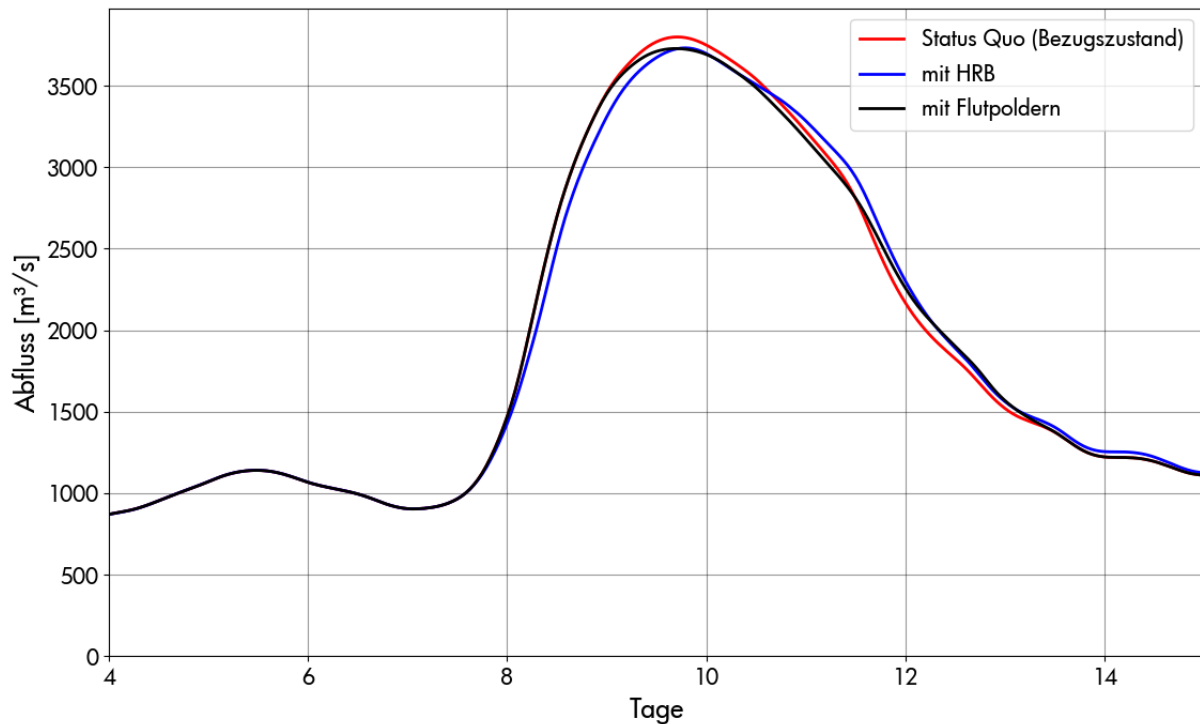


Bild 5.34: Abflusssimulation am Pegel Schwabelweis/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit zwei vorgeschalteten, teilgefüllten Flutpoldern (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Januar 2011“

Vergleicht man die Wirkung der HRB im EZG mit jener der Flutpolder am Zielpegel Straubing/Donau (wo dann jeweils alle HRB und alle FP wirken konnten), erweisen sich die Flutpolder als deutlich wirksamer bei der Abflussscheitelreduzierung an der Donau (siehe Bild 5.35). Die Reduzierung des simulierten Scheitelabflusses am Zielpegel Straubing beträgt hier 477 m³/s (entsprechend 12,2 %) bei Einsatz der Flutpolder gegenüber einer relativ kleinen Reduzierung des Scheitelabflusses von nur 72 m³/s (entsprechend 1,8 %) bei Einsatz der 300 HRB (siehe Bild 5.35).

Beim Szenario 2 wurden 5 der 10 in den Donauabschnitten I bis III geplanten Flutpolder eingesetzt (Großmehring und Katzau als vorgeschaltete Flutpolder mit nur einer Teilfüllung sowie Wörthhof, Eltheim und Oberauer Schleife). Diese weisen zusammen ein eingesetztes Rückhaltevolumen von 56,6 Mio. m³ aus, was einer Ausnutzung von 39,4 % des Gesamtvolumens aller in den drei Donauabschnitten geplanten Flutpolder (Gesamtvolumen von 143,6 Mio. m³) entspricht.

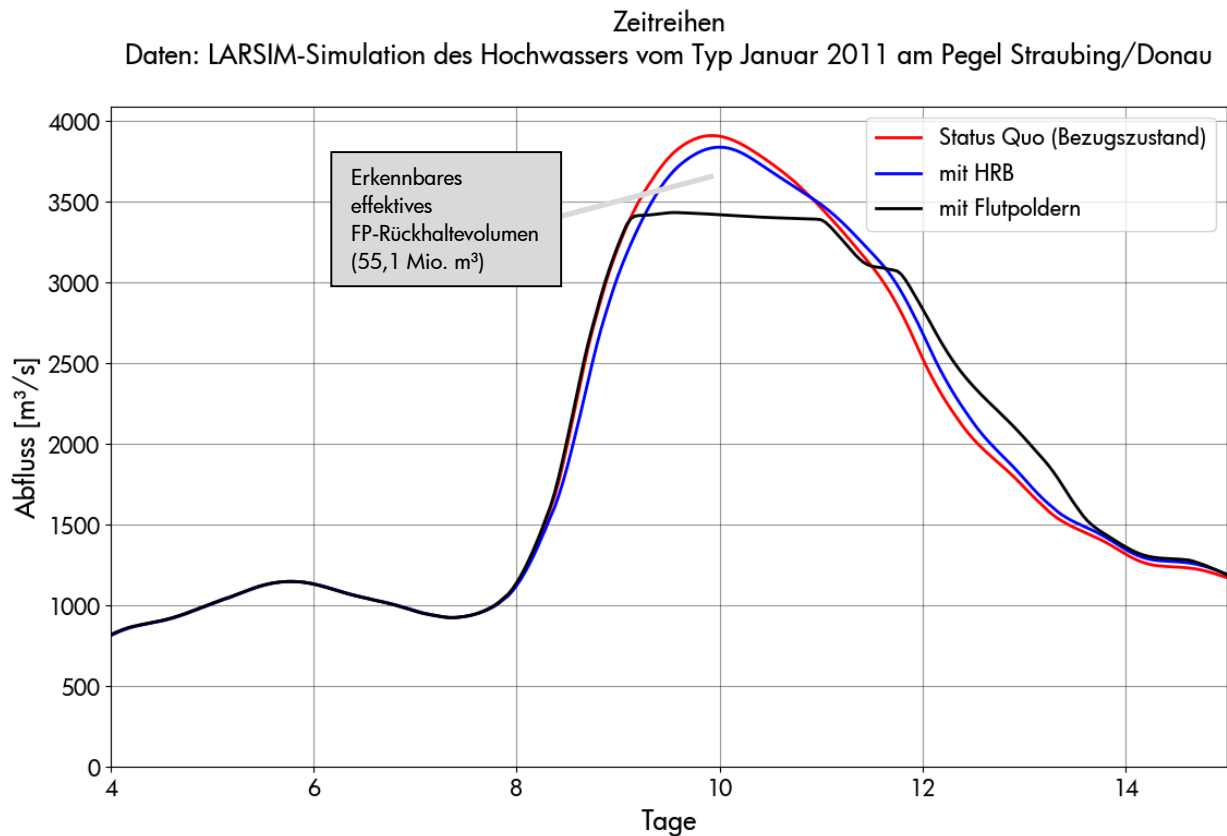


Bild 5.35: Abflusssimulation am Pegel Straubing/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit Flutpolder (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Januar 2011“

Ermittelt man den am Pegel Straubing anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt durch Einsatz der Flutpolder mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne HRB) und schwarzer Ganglinie (mit Flutpolder; siehe Bild 5.35, graues Textfeld), so ergibt sich ein erkennbares effektives Rückhaltevolumen von 55,1 Mio. m³, was einem Anteil am tatsächlich eingesetzten summarischen Rückhaltevolumen der fünf eingesetzten FP von 97,3 % entspricht.

Wie für das Projektgebiet B bereits erläutert, könnte die Wirkung der Flutpolder im realen Hochwasserfall aufgrund der Unsicherheit der Hochwasservorhersagen möglicherweise etwas geringer sein als hier angenommen (vgl. Kapitel 4.1). Auch unter Berücksichtigung dieser Einschränkung zeigen die Analysen erneut die deutlich höhere scheinbar abflussmindernde Wirkung bei Einsatz der Flutpolder an der Donau im Vergleich zu den im EZG verteilten HRB für das untersuchte sehr große HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“.

5.3.2 Ergebnisse des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Das hochskalierte sehr große HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“, basierend auf der Niederschlagsverteilung des historischen Ereignisses vom Juni 2013, beruhte analog zu den Simulationen des gleichen Ereignisses im Projektgebiet B auf bayernweit wochenlangen massiven Niederschlägen. Im EZG von Naab und Regen war das resultierende Hochwasser im Vergleich zu anderen Regionen in Bayern eher schwach ausgeprägt mit Scheitelabflüssen im Bereich von HQ₅ bis HQ₁₀. Das historische HW-Ereignis vom Juni 2013 erreichte am Pegel Schwabelweis/Donau einen Scheitelabfluss von 2 670 m³/s (gut HQ₂₀). Das HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ wurde auf einen Scheitelwert von ca. 3 900 m³/s am Pegel Straubing/Donau hochskaliert (Szenario 0). Somit ging in die weiteren Simulationen mit dem LARSIM-Modell für alle drei Szenarien ein etwa 300-jährliches HW-Ereignis ein. An dieser Stelle gilt es anzumerken, dass die Wirkung des bereits existierenden Flutpolders Weidachwiesen an der Iller in all diesen Simulationen berücksichtigt wurde.

Wie in Kapitel 4.4.2 dargelegt, tritt beim Hochskalieren des historischen HW-Ereignisses vom Juni 2013 in beiden Donauabschnitten II und III ein Überlastfall auf. Für dieses historisch-basierte hochskalierte HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ wurde daher für alle drei Szenarien auf die Ergebnisse aus dem Projektgebiet B zurückgegriffen. D. h. es wurde beim Bezugszustand (Szenario 0), beim Lauf mit HRB (Szenario 1) und beim Flutpolder-Lauf (Szenario 2) jeweils auf die Q_{sim}-Ganglinie am Pegel Kelheim/Donau aufgesetzt (siehe Ergebnisse aus Kapitel 5.2.2).

Theoretisch könnten mit den in den 300 HRB bzw. den 10 Flutpoldern potenziell vorhandenen 143,6 Mio. m³ Rückhaltevolumen, indem man von der Ganglinie am Pegel Straubing/Donau im Scheitelbereich ein entsprechendes Volumen entfernt, bei diesem HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ maximale Spitzenkappungen von 947 m³/s bzw. 24 % (theoretischer Referenzwert) erzielt werden.

Im Projektgebiet C wurden bei diesem HW-Ereignis nur 74 der 300 HRB normal eingestaut (siehe grüne Punkte beispielhaft für das EZG zwischen Kelheim und Straubing in Bild 5.36). Bei 174 HRB (vor allem im EZG der Altmühl sowie an den Oberläufen von Naab und Regen) lagen die simulierten Abflüsse stets unterhalb des Drosselabflusses aus der KOSTRA-Bemessung, sodass hier kein Einstau erfolgte (siehe graue Punkte in Bild 5.36). Bei 52 HRB kam es zum Anspringen der HW-Entlastung, sprich zu einer Überlastung (siehe rote Punkte in Bild 5.36). Damit wiesen bei diesem sehr großen HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ drei Viertel der HRB Einschränkungen in der Wirksamkeit der Abflussreduzierung auf.

Summiert man an den insgesamt 300 HRB bzw. an den 126 angesprungenen HRB das tatsächlich eingestaute Rückhaltevolumen auf, so ergibt sich ein eingesetztes Rückhaltevolumen von 32,5 Mio. m³. Bei einem theoretischen Gesamtvolumen von 143,6 Mio. m³ über alle 300 HRB entspricht dies einer Ausnutzung von 22,6 %.

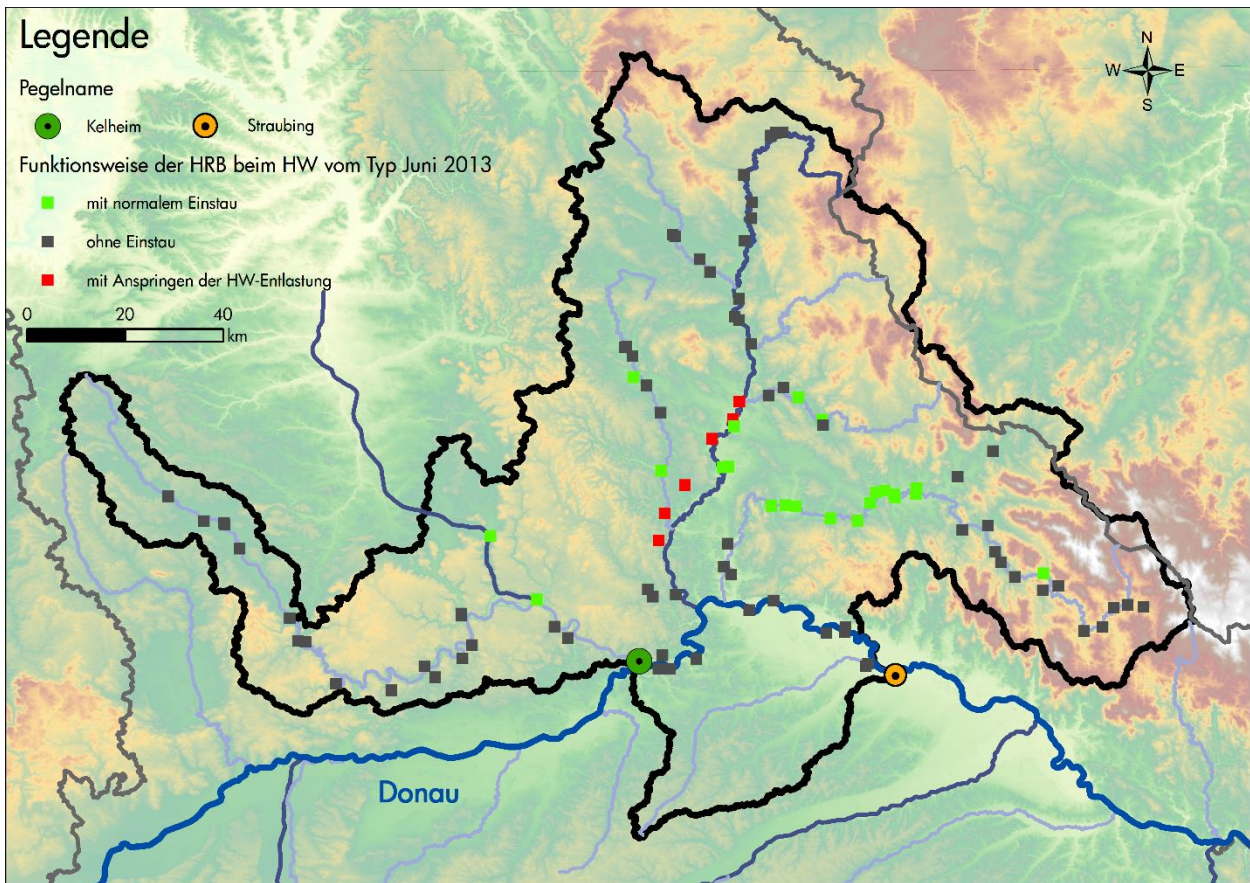


Bild 5.36: Beanspruchung der 100 HRB im EZG zwischen Kelheim und Straubing während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

An den Nebenflüssen der Donau konnten trotz des oft vorhandenen fehlenden Einstaus bzw. des gelegentlichen Anspringens der HW-Entlastungen lokal und z. T regional deutlich erkennbare HW-Scheitelreduzierungen erzielt werden, z. B. am Pegel Fronhof/Murach mit einer Reduzierung des simulierten Scheitelabflusses von $25 \text{ m}^3/\text{s}$ auf $19 \text{ m}^3/\text{s}$ (entsprechend 24 %, siehe Bild 5.37).

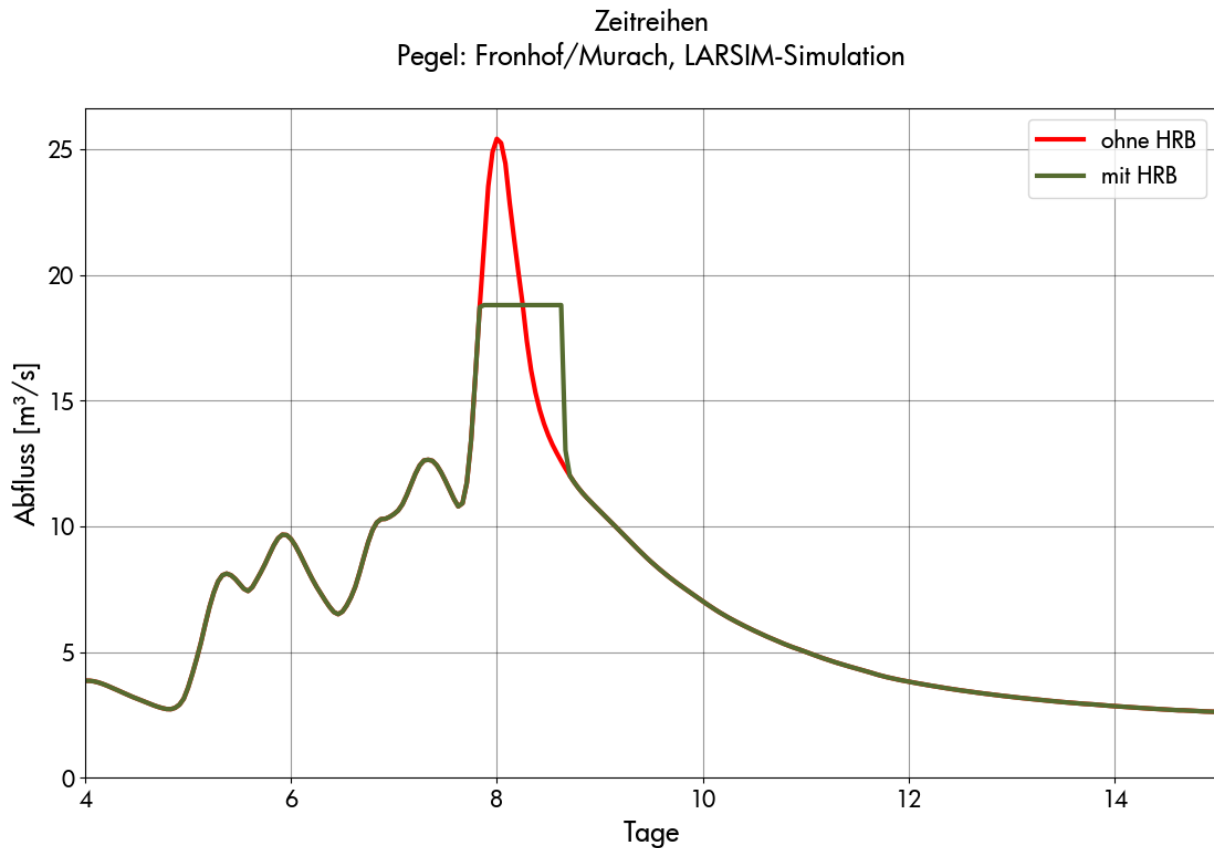


Bild 5.37: Abflusssimulation am Pegel Fronhof/Murach ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

An den Nebenflüssen der Donau war die Effektivität der HRB bei der Reduzierung der Abflüsse bei diesem hochskalierten HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ insgesamt aber eher eingeschränkt. Neben der genannten sehr hohen Anzahl an HRB ohne Einstau lag das erneut auch am zeitlich z. T. ungünstigen Zusammenspiel der HW-Wellen beim HRB-Einstau bzw. der anschließenden HRB-Entleerung. Dies führte beispielsweise am Pegel Heitzenhofen/Naab dazu, dass der simulierte Scheitelabfluss nur um $1 \text{ m}^3/\text{s}$ (= 0,2 %) gesenkt werden konnte (siehe Bild 5.38). Es kam hier letztlich lediglich zu einer zeitlichen Verschiebung des Scheitelabflusses um sieben Stunden nach hinten, aber nicht zur gewünschten Reduzierung der Spitzenabflüsse.

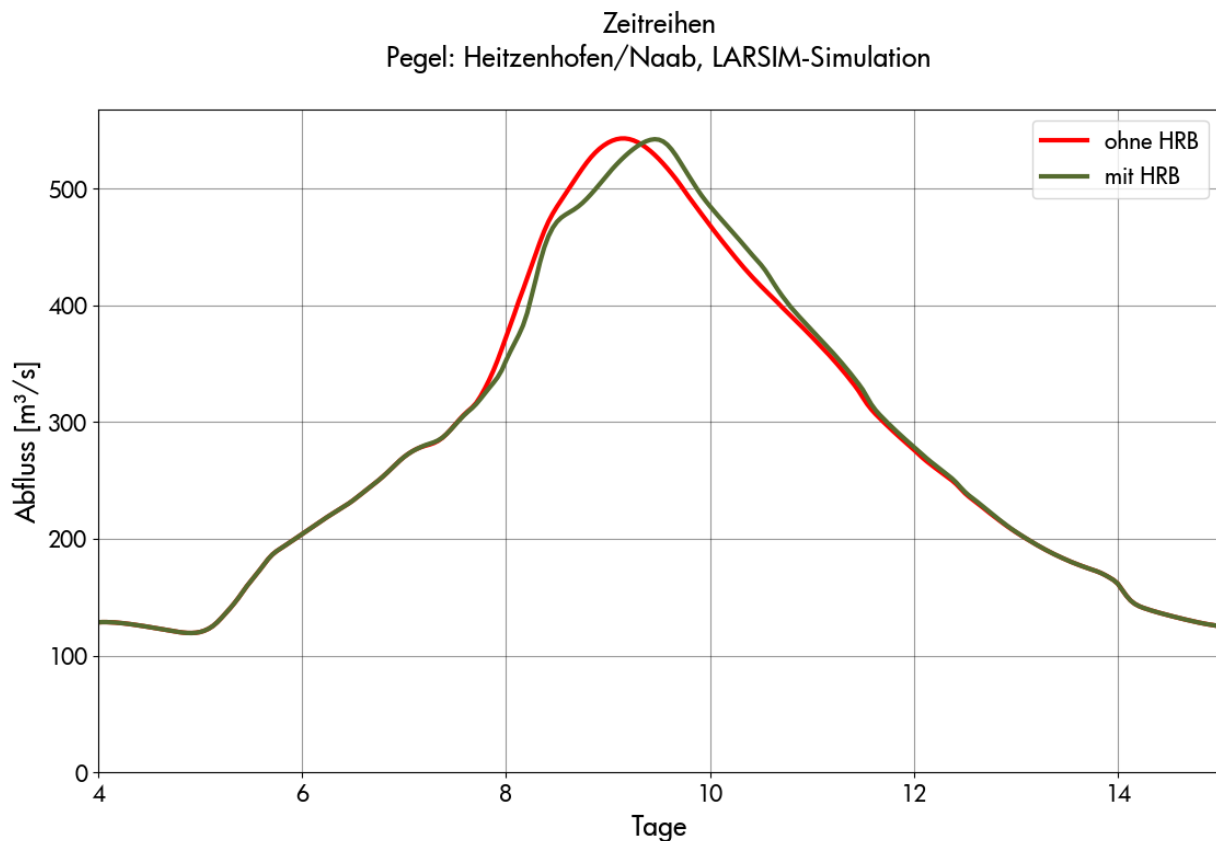


Bild 5.38: Abflusssimulation am Pegel Heitzenhofen/Naab ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Betrachtet man die Wirkung der HRB auf die Donauabflüsse, so beträgt am Zielpegel Straubing/Donau die Reduzierung des HW-Scheitels nur $36 \text{ m}^3/\text{s}$ bzw. $0,9 \%$ (siehe Bild 5.39). Die insgesamt als relativ schwach einzustufende Wirksamkeit der HRB in Bezug auf die Scheitelreduzierung an der Donau ist hauptsächlich in der großen Anzahl an HRB ohne Einstau begründet (siehe grau eingefärbte HRB in Bild 5.36). D. h. auch bei diesem hochskalierten HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ konnten die HRB wegen fehlendem Einstau oder zeitlich unpassendem Einstau inkl. anschließender Entleerung nicht oder nur sehr eingeschränkt ihre abflussreduzierende Wirkung entlang der Donau entfalten.

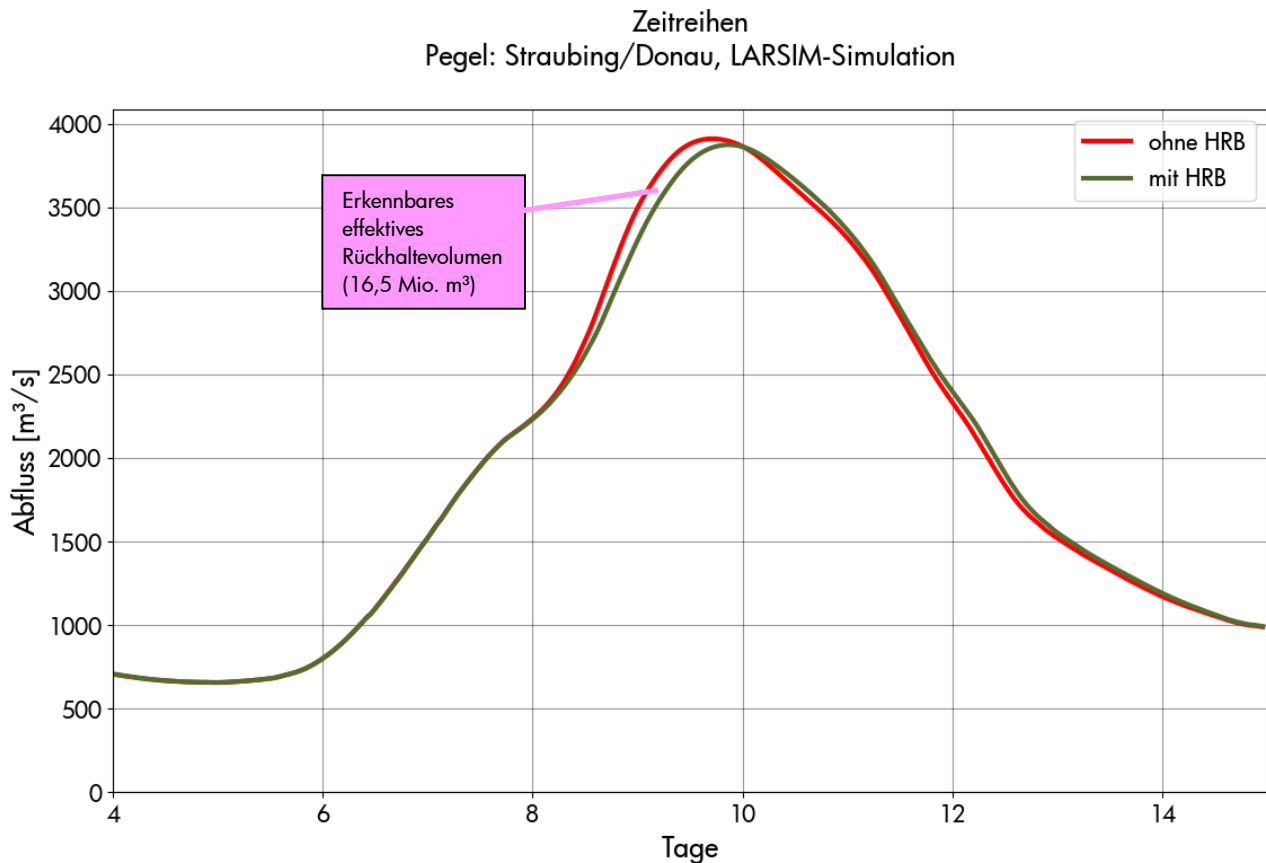


Bild 5.39: Abflusssimulation am Pegel Straubing/Donau ohne und mit HRB während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Ermittelt man den am Pegel Straubing anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne 300 HRB) und grüner Ganglinie (mit 300 HRB; s. Bild 5.39, rosa Textfeld), so ergibt sich ein erkennbares effektives Rückhaltevolumen von 16,5 Mio. m³, was einem Anteil am summarischen eingesetzten Rückhaltevolumen der angesprungenen HRB von 50,8 % entspricht.

In der finalen Analyse für das HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ wurde die Wirksamkeit der HRB (Szenario 1) mit jener der Flutpolder (Szenario 2) verglichen.

Dabei ergaben sich am Pegel Kelheim/Donau folgende Q_{sim} -Ganglinien bei der Simulation der drei Szenarien: Ohne HRB (rot), mit Einsatz der 200 HRB oberhalb von Kelheim (blau) bzw. mit Einsatz des vorgeschalteten Flutpolders Neugeschüttwörth oberhalb von Donauwörth sowie der vier im Donauabschnitt II gelegenen Flutpolder (schwarz; siehe Bild 5.40).

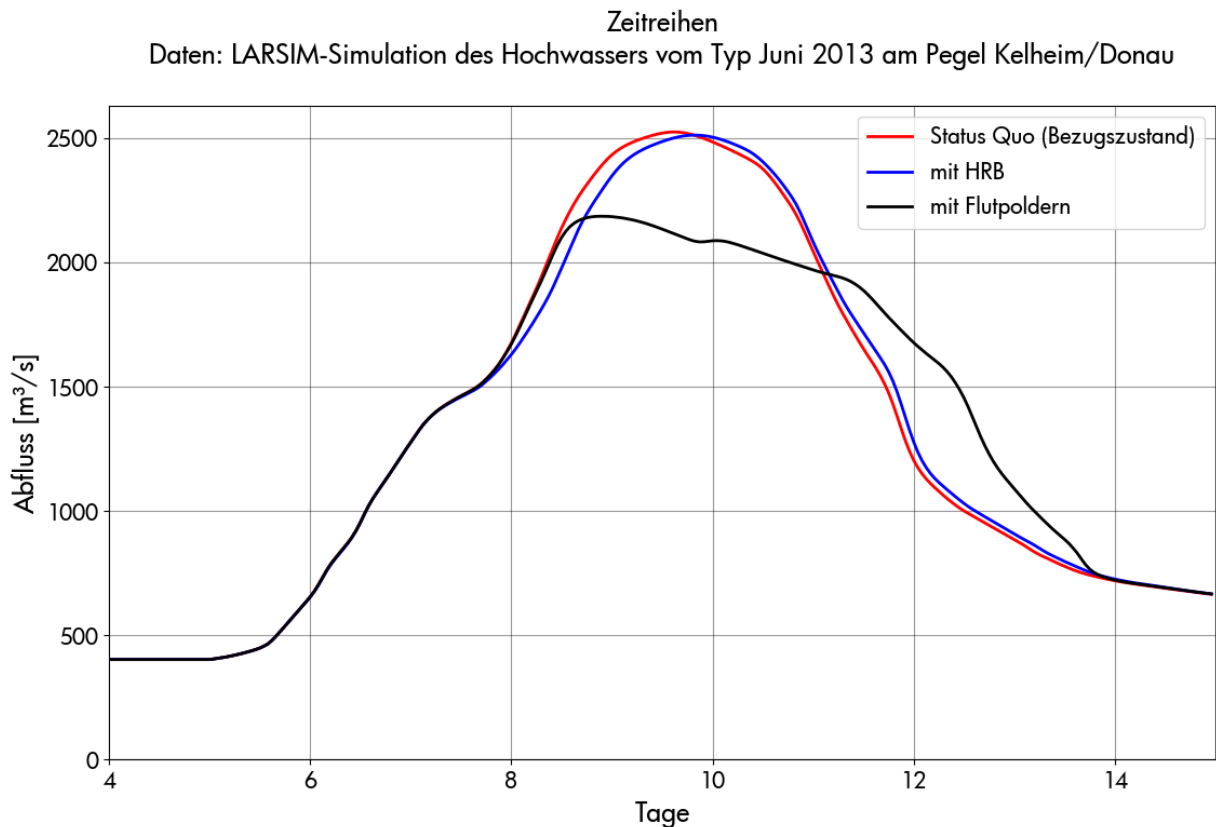


Bild 5.40: Abflusssimulation am Pegel Kelheim/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit Flutpolder (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Bild 5.40 zeigt für dieses hochskalierte HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ am Pegel Kelheim eine geringe abflussmindernde Wirkung beim Einsatz der HRB (blau) und eine deutliche abflussmindernde Wirkung beim Einsatz der Flutpolder (schwarz; siehe auch Kapitel 5.2.2).

Diese Beobachtung macht man auch am stromabwärts gelegenen Pegel Oberndorf/Donau. Dort konnte der simulierte Scheitelabfluss mit Einsatz der fünf Flutpolder von Neugeschüttwörth B bis Katzau (s. auch Kapitel 5.2.2) deutlich stärker reduziert werden als mit den 224 fiktiven HRB oberhalb des Pegels Oberndorf (siehe Q_{sim} -Ganglinie mit Flutpolder [schwarz] bzw. mit HRB [blau] in Bild 5.41).

Auch nach Zufluss von Naab und Regen zeigt sich an der Donau das gleiche Bild. Der simulierte Scheitelabfluss am Pegel Schwabelweis/Donau konnte mit Einsatz der fünf Flutpolder (Neugeschüttwörth B bis Katzau) deutlich stärker verringert werden als mit den fiktiven HRB (siehe Q_{sim} -Ganglinie mit Flutpolder [schwarz] bzw. mit HRB [blau] in Bild 5.42).

Zeitreihen

Daten: LARSIM-Simulation des Hochwassers vom Typ Juni 2013 am Pegel Oberndorf/Donau

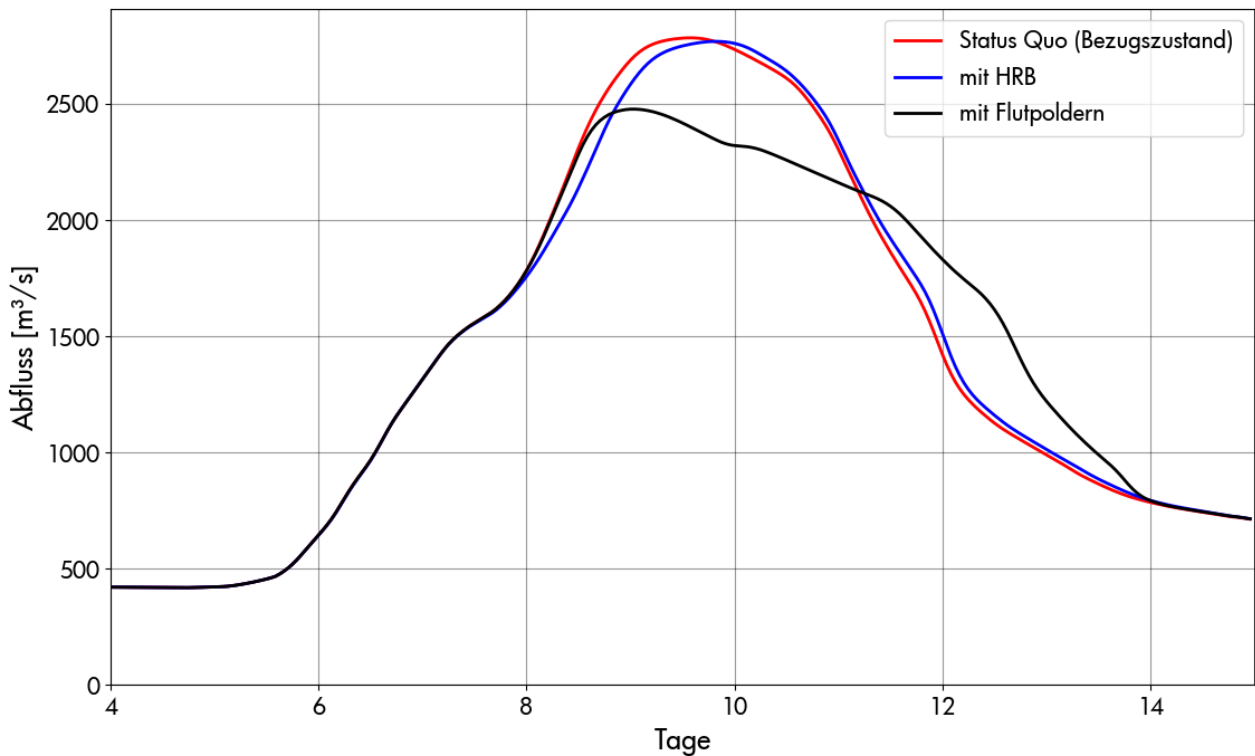


Bild 5.41: Abflusssimulation am Pegel Oberndorf/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit Flutpolder (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Zeitreihen

Daten: LARSIM-Simulation des Hochwassers vom Typ Juni 2013 am Pegel Schwabelweis/Donau

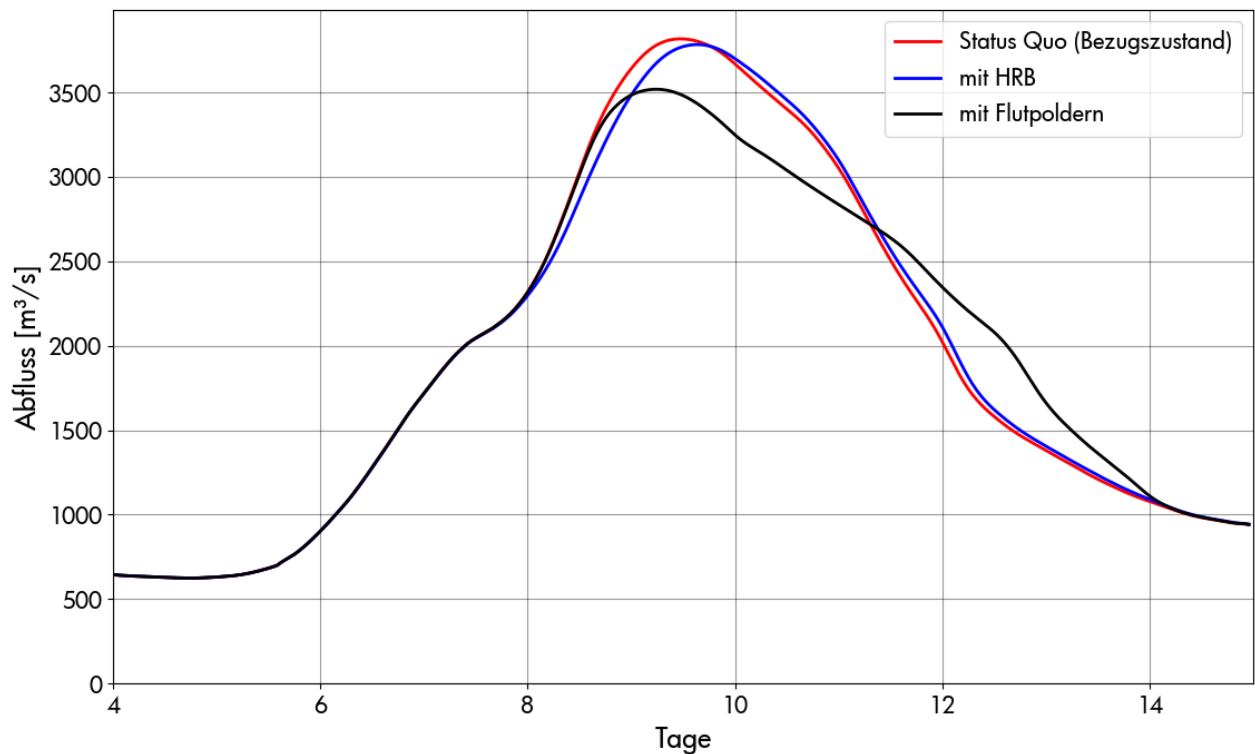


Bild 5.42: Abflusssimulation am Pegel Schwabelweis/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit Flutpolder (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Der wirkungsvollere Rückhalt bei Einsatz der Flutpolder (Szenario 2) im Vergleich zum Einsatz der HRB zeigt sich noch deutlicher am Zielpegel Straubing/Donau. Mit dem Einsatz aller bei diesem HW-Ereignis eingesetzten acht Flutpolder (Neugeschüttwörth B, Bertoldsheim, Riedensheim, Großmehring, Katzau, Eltheim, Wörthhof und Oberauer Schleife) beträgt dort die Reduzierung des simulierten Scheitelabflusses 743 m³/s (entsprechend 19,0 %), im Vergleich zu nur 36 m³/s (entsprechend 0,9 %) beim Einsatz aller 300 HRB im EZG (siehe Bild 5.43).

D. h., betrachtet man lediglich die relative Reduzierung des Scheitelabflusses am Zielpegel Straubing/Donau, fällt die Wirksamkeit bei Einsatz der Flutpolder für dieses HW-Ereignis mit einem Überlastfall in zwei Donauabschnitten über 20 Mal so hoch aus wie bei Einsatz der fiktiven HRB (19,0 % bei den FP gegenüber 0,9 % bei den HRB).

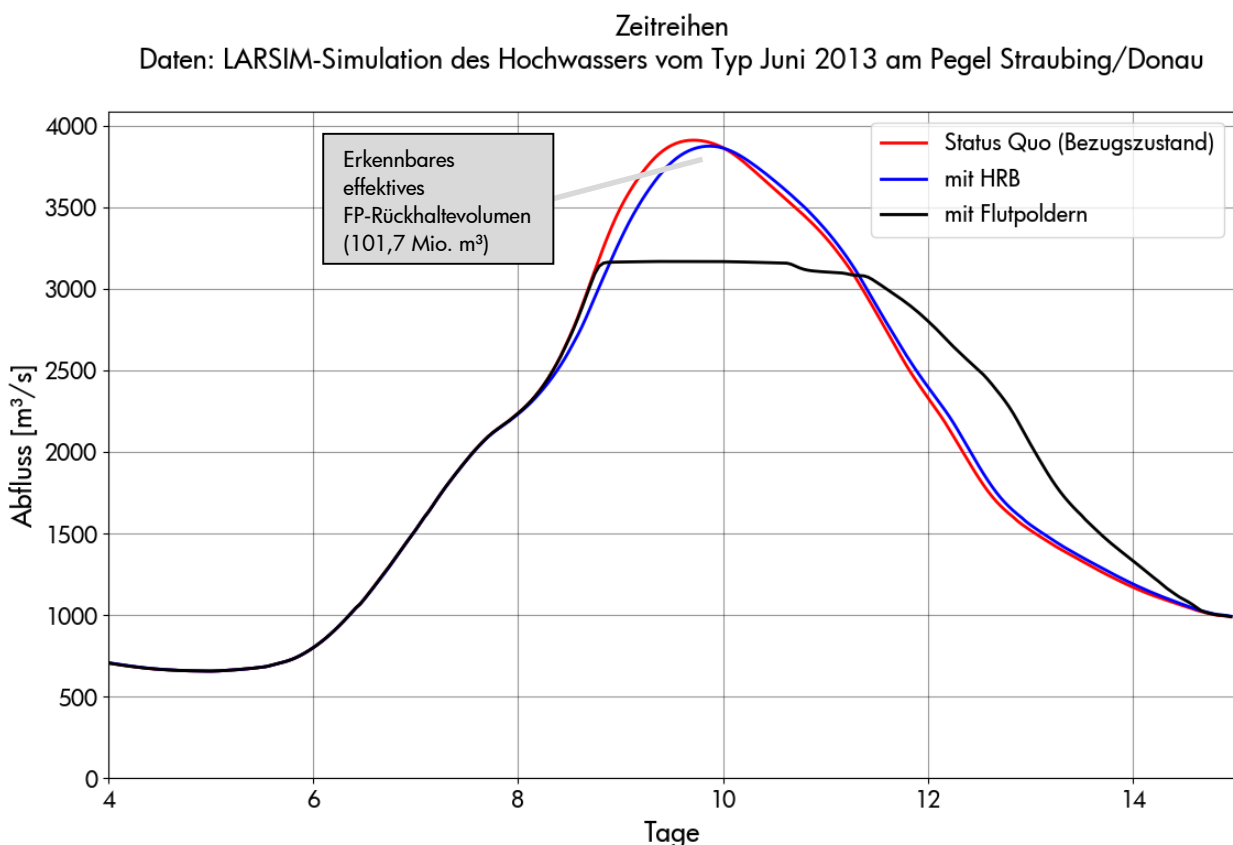


Bild 5.43: Abflusssimulation am Zielpegel Straubing/Donau ohne HRB (rot), mit HRB (blau) und mit Flutpolder (schwarz) während des HW-Ereignisses vom Typ „Juni 2013“

Beim Szenario 2 wurden 8 der 10 in den Donauabschnitten I bis III geplanten Flutpolder eingesetzt (Neugeschüttwörth B als vorgeschalteter Flutpolder sowie alle 7 Flutpolder in den unterhalb liegenden Donauabschnitten). Diese weisen zusammen ein eingesetztes Rückhaltevolumen von 124,6 Mio. m³ aus, was einer Ausnutzung von 86,8 % des Gesamtvolumens aller in den drei Donauabschnitten geplanten Flutpolder (Gesamtvolumen von 143,6 Mio. m³) entspricht.

Ermittelt man den am Pegel Straubing anhand der Ganglinien tatsächlich feststellbaren Rückhalt durch Einsatz der Flutpolder mittels der Differenz aus roter Ganglinie (ohne HRB) und schwarzer Ganglinie (mit Flutpolder; siehe Bild 5.43, graues Textfeld), so ergibt sich Typ „Juni 2013“ ein

erkennbares effektives Rückhaltevolumen von 101,7 Mio. m³, was einem Anteil am tatsächlich eingesetzten summarischen Rückhaltevolumen der acht eingesetzten FP von 81,6 % entspricht.

Wenngleich im realen Hochwasserfall die Wirkung der Flutpolder möglicherweise etwas geringer ausfällt als hier angenommen (vgl. Kapitel 4.1), wird auch für das HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ analog zu den vorherigen Ergebnissen deutlich, dass bei Einsatz der Flutpolder an der Donau eine eindeutig höhere Scheitelreduktion erreicht wird als durch den Einsatz der HRB im EZG.

6. Fazit

Projektgebiet A

Alle drei im Projektgebiet A analysierten HW-Ereignisse (KOSTRA-N₁₀₀, hochskaliert Typ „April 1994“ und hochskaliert Typ „Mai 1999 (A)“) zeigen, dass die jeweils eingesetzten HRB lokal und z. T. regional eine markante Rückhaltewirkung aufweisen können. An der Donau selbst fällt die hochwasserreduzierende Wirkung der 100 fiktiven HRB in allen drei Fällen hingegen deutlich geringer aus.

Beim KOSTRA-N₁₀₀-Ereignis mit flächendeckend gleichmäßiger Überregung mit einem 100-jährlichen Niederschlag werden die Rückhaltevolumina aller HRB in vollem Umfang genutzt, so dass eine lokal bestmögliche Reduktion der Hochwasserscheitel vorliegt. Die hochwasserreduzierende Wirkung am Pegel Donauwörth/Donau ist trotzdem nur mäßig ausgeprägt, da die einzelnen HRB-Standorte unterschiedlich weit von der Donau entfernt sind. Durch die sehr unterschiedlichen Wellenlaufzeiten zwischen den HRB-Standorten und dem Zielpegel Donauwörth/Donau treten die lokal deutlichen Rückhalteeffekte für eine effektive Scheitelabflussreduzierung am Zielpegel z. T. zu früh und z. T. zu spät auf. Folglich ist die hochwasserreduzierende Wirkung an der Donau trotz lokal optimaler Ausnutzung des Rückhaltevolumens wesentlich geringer als an den Zuflüssen.

Bei den beiden auf historischen Hochwassern basierenden hochskalierten sehr großen HW-Ereignissen trägt neben dem Laufzeitaspekt auch die räumlich differenzierte Verteilung der Niederschläge dazu bei, dass die 100 HRB nur eine vergleichsweise geringe hochwasserreduzierende Wirkung auf die Donau bei Donauwörth entfalten. Die ungleichmäßige Niederschlagsverteilung bedingt, dass manche HRB nicht oder nur zu einem Teil eingestaut werden. Bei den beiden hochskalierten Hochwasserereignissen (basierend auf realistischen historischen Niederschlagsverteilungen) kann somit das auf 100 HRB verteilte Gesamtvolumen nur zu einem Bruchteil (50,2 bzw. 38,2 %) genutzt werden (s. auch Tabelle 6.1).

Das erkennbare effektive Rückhaltevolumen am Donau-Zielpegel, ermittelt aus der Differenz der Ganglinien (Szenario 0 minus Szenario 1; s. letzte Zeile in Tabelle 6.1), beinhaltet nur zwischen 47 % und 69 % des summarisch an allen HRB eingesetzten Rückhaltevolumens. Dies ist auf den Laufzeitaspekt zurückzuführen und liegt hauptsächlich in der teilweise großen Entfernung zwischen den HRB und dem Donau-Zielpegel begründet. Auf diesen bis zu 230 km langen Fließstrecken schwimmt der lokal deutliche Rückhalteeffekt durch die HRB.

Tabelle 6.1: Vergleich der Rückhaltevolumina der 100 HRB am Zielpegel Donauwörth/Donau bei den drei untersuchten HW-Ereignissen

	KOSTRA-N100-HW-Ereignis	hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „April 1994“	hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“
Vorhandenes Gesamtrückhaltevolumen der 100 HRB [Mio. m ³]	51,0	51,0	51,0
Eingesetztes Rückhaltevolumen der 100 HRB [Mio. m ³]	51,0	25,6	19,5
Erkennbares effektives Rückhaltevolumen aus Differenz der Ganglinien (Sz.0 minus Sz.1) [Mio. m ³]	24,0	17,7	9,4

Bei den drei HW-Ereignissen können am Zielpegel Donauwörth/Donau durch den Einsatz der 100 fiktiven HRB Scheitelabflussreduzierungen von 2,8 % bis 4,8 % erreicht werden (s. Tabelle 6.2). Um diese Wirkung besser einordnen zu können, wurde zusätzlich ermittelt, welche Scheitelreduktion am Pegel Donauwörth theoretisch maximal möglich wäre. Dazu wurde bei den Ganglinien der Simulationsläufe des Szenarios 0 (ohne Becken) jeweils der Hochwasserscheitel um das Gesamt-Rückhaltevolumen von 51,0 Mio. m³ optimal gekappt. Diese maximal mögliche Scheitelreduktion dient als theoretischer Referenzwert.

In Tabelle 6.2 werden die mit den 100 fiktiven HRB erzielten Scheitelreduktionen mit den theoretischen Referenzwerten verglichen. Hieraus wird deutlich, dass mit den HRB für die untersuchten Ereignisse nur ein relativ kleiner Anteil der theoretisch bei Donauwörth möglichen Reduktion der Scheitel erreicht wird.

Wie in Kapitel 4.1 dargelegt, wurde im Rahmen dieser Untersuchung keine Simulation der Wirkung der im Donauabschnitt I geplanten drei Flutpolder durchgeführt. Als Anhaltswert für die Flutpolderwirkung können die Ergebnisse von 2D-hydraulischen Simulationen der TU München herangezogen werden, die im Schlussbericht zur „Vertieften Wirkungsanalyse zu Verzögerung und Abschätzung von Hochwasserwellen entlang der bayerischen Donau“ dargestellt sind (Schlussbericht liegt beim AG vor). Bei Hochwasserereignissen in einer ähnlichen Größenordnung wird demnach durch eine nahezu horizontale Kappung am Flutpolder Neugeschüttwörth B (32 Mio. m³) eine Scheitelreduktion von 13,9 % am Pegel Donauwörth erreicht. Mit den drei großen, unmittelbar an der Donau gelegenen Flutpoldern mit einem Gesamtvolumen von 51,0 Mio. m³ könnte somit wahrscheinlich eine deutlich stärkere Reduktion der Hochwasserscheitel bei Donauwörth erreicht werden als mit den 100 fiktiven HRB.

Tabelle 6.2: Vergleich der Scheitelabflüsse am Pegel Donauwörth/Donau und deren Reduzierung mit 100 fiktiven HRB sowie der theoretisch mit 51,0 Mio. m³ Rückhalt maximal möglichen Reduzierung

	KOSTRA-N100- HW-Ereignis	hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „April 1994“	hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (A)“
Scheitelabfluss Bezugszustand [m ³ /s]	1 956	1 677	1 670
Scheitelabfluss mit 100 HRB [m ³ /s]	1 901	1 596	1 605
absolute Scheitelkappung [m ³ /s]	55	81	65
relative Scheitelkappung [%]	2,8	4,8	3,9
Scheitelabfluss nach theoretisch max. Reduktion [m ³ /s]	1 623	1 226	1 233
theoretische max. mögliche abs. Scheitelkappung [m ³ /s]	333	451	437
theoretische max. mögliche rel. Scheitelkappung [%]	17,0	26,9	26,2

Projektgebiet B

Die beiden im Projektgebiet B untersuchten HW-Ereignisse (hochskaliert Typ „Mai 1999 (B)“ und hochskaliert Typ „Juni 2013“) zeigen, dass die jeweils eingesetzten HRB lokal und z. T. regional eine deutliche Rückhaltewirkung aufweisen können. An der Donau selbst fällt die hochwasserreduzierende Wirkung der 200 fiktiven HRB in beiden Fällen hingegen deutlich geringer aus.

Bei beiden auf historischen Hochwassern basierenden hochskalierten sehr großen HW-Ereignissen trägt neben dem Laufzeitaspekt auch die räumlich differenzierte Verteilung der Niederschläge dazu bei, dass die 200 HRB nur eine vergleichsweise geringe hochwasserreduzierende Wirkung auf die Donau entfalten. Die ungleichmäßige Niederschlagsverteilung bedingt, dass manche HRB nicht oder nur zu einem Teil eingestaut werden. Bei den beiden hochskalierten Hochwasserereignissen kann also das auf 200 HRB verteilte Gesamtrückhaltevolumen nur zu einem Bruchteil (30,3 bzw. 28,8 %) genutzt werden (s. auch Tabelle 6.3).

Aufgrund des Laufzeitaspekts beträgt das erkennbare effektive Rückhaltevolumen am Donau-Zielpegel in beiden Fällen ca. 48 % des summarisch an allen HRB eingesetzten Rückhaltevolumens (s. Tabelle 6.3).

Tabelle 6.3: Vergleich der Rückhaltevolumina der 200 HRB am Zielpegel Kelheim/Donau bei den zwei untersuchten HW-Ereignissen

	hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“	hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“
Vorhandenes Gesamtrückhaltevolumen der 200 HRB [Mio. m ³]	97,8	97,8
Eingesetztes Rückhaltevolumen der 200 HRB [Mio. m ³]	29,6	28,1
Erkennbares effektives Rückhaltevolumen der 200 HRB aus Differenz der Ganglinien (Sz.0 minus Sz.1) [Mio. m ³]	14,1	13,4

Am Zielpegel Kelheim/Donau ergeben sich so durch den Einsatz der 200 fiktiven HRB Scheitelabflussreduzierungen von 1,5 % (HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“) bzw. 0,5 % (HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“; siehe Tabelle 6.4).

Um diese Wirkung besser einordnen zu können, wurde zusätzlich ermittelt, welche Scheitelreduktion am Pegel Kelheim theoretisch maximal möglich wäre. Dazu wurde bei den Ganglinien der Simulationsläufe des Szenarios 0 (ohne Becken) jeweils der Hochwasserscheitel um das Gesamt-Rückhaltevolumen von 97,8 Mio. m³ direkt am Zielpegel optimal gekappt. Diese maximal mögliche Scheitelreduktion von 25,4 % (HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“) bzw. 22,7 % (HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“; siehe Tabelle 6.4) dient als theoretischer Referenzwert.

Der simulierte Einsatz der geplanten Flutpolder (jeweils alle vier Flutpolder im Donauabschnitt II sowie Neugeschüttwörth B als vorgeschalteter Flutpolder, was einer Ausnutzung von rd. 80 % des Gesamtvolumens entspricht) zeigt bei beiden hochskalierten HW-Ereignissen eine deutlich größere abflussmindernde Wirkung entlang der Donau als die HRB. Dies beruht vor allem auf dem höheren einsetzbaren Rückhaltevolumen und der direkten Beeinflussung der Donau-Hochwasserwelle. Mit den Flutpoldern kann das verfügbare Volumen besser ausgenutzt werden (kein Einfluss durch ungleichmäßige Überregnung) und es ergeben sich keine Wirkungsverluste durch unterschiedliche Laufzeiten (kein zu früher oder zu später Rückhalt wie bei den HRB).

Durch den simulierten optimalen Einsatz von 5 der 7 geplanten Flutpolder könnten demnach relative HW-Scheitelabflussreduzierungen von 19,2 % (HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“) bzw. 13,4 % (HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“) erzielt werden (siehe Tabelle 6.4).

In Folge der Unsicherheiten der Hochwasservorhersagen könnte die tatsächliche Scheitelreduktion durch die Flutpolder unter realen Bedingungen möglicherweise etwas geringer ausfallen. Diese Einschränkung ändert jedoch nichts an dem grundlegenden Ergebnis, wonach mit dem gezielten Einsatz der Flutpolder für den Zielpegel an der Donau eine mehrfach höhere Scheitelreduktion erzielt werden könnte als mit den HRB.

Tabelle 6.4: Vergleich der Scheitelabflüsse am Pegel Kelheim/Donau und deren Reduzierung mit 200 fiktiven HRB bzw. mit Flutpoldern an der Donau

	hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „Mai 1999 (B)“	hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“
Scheitelabfluss Bezugszustand [m ³ /s]	2 525	2 525
Scheitelabfluss mit HRB [m ³ /s]	2 488	2 512
absolute Scheitelkappung [m ³ /s]	37	13
relative Scheitelkappung [%]	1,5	0,5
Scheitelabfluss mit Flutpolder [m ³ /s]	2 041	2 186
absolute Scheitelkappung [m ³ /s]	484	339
relative Scheitelkappung [%]	19,2	13,4
Scheitelabfluss nach theoretisch max. Reduktion [m ³ /s]	1 884	1 952
theoretische max. mögliche abs. Scheitelkappung [m ³ /s]	641	573
theoretische max. mögliche rel. Scheitelkappung [%]	25,4	22,7

Projektgebiet C

Die beiden im Projektgebiet C untersuchten HW-Ereignisse (hochskaliert Typ „Januar 2011“ und hochskaliert Typ „Juni 2013“) zeigen, dass die jeweils eingesetzten HRB lokal und z. T. regional eine deutliche Rückhaltewirkung aufweisen können. An der Donau selbst fällt die hochwasserreduzierende Wirkung der 300 fiktiven HRB in beiden Fällen hingegen deutlich geringer aus.

Bei beiden auf historischen Ereignissen basierenden, hochskalierten HW-Ereignissen trägt neben dem Laufzeitaspekt auch die räumlich differenzierte Verteilung der Niederschläge bzw. der Schneeschmelze dazu bei, dass die 300 HRB nur eine vergleichsweise geringe hochwasserreduzierende Wirkung auf die Donau entfalten. Die ungleichmäßige Niederschlagsverteilung bedingt, dass manche HRB nicht oder nur zu einem Teil eingestaut werden. Bei den beiden hochskalierten Hochwasserereignissen kann also, analog zu Projektgebiet B, das auf 300 HRB verteilte Gesamtrückhaltevolumen nur zu einem Bruchteil (27,9 bzw. 22,6 %) ausgenutzt werden (s. auch Tabelle 6.5).

Aufgrund des Laufzeitaspekts beträgt das erkennbare effektive Rückhaltevolumen am Donau-Zielpegel ca. 59 % bzw. 51 % des summarisch an allen HRB eingesetzten Rückhaltevolumens (s. Tabelle 6.5).

Tabelle 6.5: Vergleich der Rückhaltevolumina der 300 HRB am Zielpegel Straubing/Donau bei den zwei untersuchten HW-Ereignissen

	Hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“	Hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“
Vorhandenes Gesamtrückhaltevolumen der 300 HRB [Mio. m ³]	143,6	143,6
Eingesetztes Rückhaltevolumen der 300 HRB [Mio. m ³]	40,1	32,5
Erkennbares effektives Rückhaltevolumen der 300 HRB aus Differenz der Ganglinien (Sz.0 minus Sz.1) [Mio. m ³]	23,8	16,5

Am Zielpegel Straubing/Donau ergeben sich so durch den Einsatz der 300 fiktiven HRB Scheitelabflussreduzierungen von 1,8 % (HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“) bzw. 0,9 % (HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“; s. Tabelle 6.6).

Um diese Wirkung besser einordnen zu können, wurde zusätzlich ermittelt, welche Scheitelreduktion am Pegel Straubing theoretisch maximal möglich wäre. Dazu wurde bei den Ganglinien der Simulationsläufe des Szenarios 0 (ohne Becken) jeweils der Hochwasserscheitel um das Gesamt-Rückhaltevolumen von 143,6 Mio. m³ direkt am Zielpegel optimal gekappt. Diese maximal mögliche Scheitelreduktion von 23,9 % (HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“) bzw. 24,2 % (HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“; s. Tabelle 6.6) dient als theoretischer Referenzwert.

Der simulierte Einsatz der Flutpolder zeigt bei beiden hochskalierten HW-Ereignissen erneut deutlich größere abflussmindernde Wirkungen entlang der Donau als die HRB. Beim HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“ wurden die drei Flutpolder im Donauabschnitt III sowie Großmehring und Katzau als vorgeschaltete, nur teilgefüllte Flutpolder, eingesetzt, was einer Ausnutzung von 39,4 % des Gesamtvolumens entspricht. Beim HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“ mit Überlastfall in den Donauabschnitten II und III wurden alle 7 Flutpolder in diesen Donauabschnitten sowie Neugeschüttwörth B als vorgeschalteter Flutpolder eingesetzt (86,8 % des Gesamtvolumens).

lumens). Durch den Einsatz der geplanten Flutpolder können so am Zielpegel Straubing/Donau relative HW-Scheitelabflussreduzierungen von 12,2 % (HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“) bzw. 19,0 % (HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“) erzielt werden (siehe Tabelle 6.6).

Auch hier ist anzumerken, dass die Scheitelreduktion durch die Flutpolder im realen Hochwasserfall durch Unsicherheiten bei der Hochwasservorhersage vermutlich etwas geringer wäre als hier angenommen. Trotz dieser Einschränkung könnte mit dem gesteuerten Einsatz der Flutpolder für den Zielpegel an der Donau offenkundig eine um ein Vielfaches höhere Scheitelreduktion erzielt werden als mit den HRB.

Tabelle 6.6: Vergleich der Scheitelabflüsse am Pegel Straubing/Donau und deren Reduzierung mit 300 fiktiven HRB bzw. mit Flutpoldern an der Donau

	hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „Januar 2011“	hochskaliertes HW-Ereignis vom Typ „Juni 2013“
Scheitelabfluss Bezugszustand [m ³ /s]	3 910	3 910
Scheitelabfluss mit HRB [m ³ /s]	3 838	3 874
absolute Scheitelkappung [m ³ /s]	72	36
relative Scheitelkappung [%]	1,8	0,9
Scheitelabfluss mit Flutpolder [m ³ /s]	3 433	3 167
absolute Scheitelkappung [m ³ /s]	477	743
relative Scheitelkappung [%]	12,2	19,0
Scheitelabfluss nach theoretisch max. Reduktion [m ³ /s]	2 974	2 963
theoretische max. mögliche abs. Scheitelkappung [m ³ /s]	936	947
theoretische max. mögliche rel. Scheitelkappung [%]	23,9	24,2

Schlussfazit

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass mit vielen ungesteuerten HRB (Szenario 1), die das gleiche Gesamtvolumen wie die geplanten Flutpolder haben und an den Nebenflüssen des bayerischen Donau-Projektgebiets platziert sind, die Scheitel sehr großer Hochwasser auch an der Donau reduziert werden könnten. Allerdings wäre die Scheitelreduktion für diese Ereignisse durch die gesteuerten Flutpolder mit gleichem Gesamtvolumen (Szenario 2) um ein Vielfaches größer als die durch die HRB erreichbare Scheitelreduktion.