

ROVDonau (Iller bis Lech) – Verbesserung Hochwasserschutz - Datenmanagement und Modelle

Morphologie - Sedimentationsabschätzung

Bericht

Anlage 6.1

1	Veranlassung	3
2	Aufgabenstellung	3
3	Vorhandene Daten – Auswertung.....	4
	3.1 Schwebstoffkonzentration	4
	3.2 Kornverteilung – mittlerer Korndurchmesser der Schwebstoffe	14
4	Verfahren zur Sedimentationsabschätzung	16
	4.1 Vorüberlegungen.....	17
	4.1.1 Planungszustand.....	17
	4.1.2 Bezugszustand.....	24
	4.2 Grobe Abschätzung der Sedimentationsmengen.....	25
	4.3 Verfahren zur Abschätzung der flächigen Verteilung der sedimentierten Schwebstoffe.....	29
	4.3.1 Schwebstoffeintrag im Istzustand	29
	4.3.2 Flächige Verteilung der Schwebstoffablagerungen.....	30
5	Ergebnisse der flächigen Verteilung der Schwebstoffablagerungen	31

Anlagen:

- | | |
|--------------|--|
| Anlage 6.1.1 | Leipheim, Differenzen Sedimentation ROVar A - BZ, Sed.-Konz.
2.000 g/m ³ |
| Anlage 6.1.2 | Helmeringen, Differenzen Sedimentation ROVar A - BZ, Sed.-
Konz. 2.000 g/m ³ |
| Anlage 6.1.3 | Neugeschüttwörth, Differenzen Sedimentation ROVar A - BZ,
Sed.-Konz. 2.000 g/m ³ |
| Anlage 6.1.4 | Tapfheim, Differenzen Sedimentation ROVar B - BZ, Sed.-Konz.
2.000 g/m ³ |
| Anlage 6.1.5 | Donauwörth, Differenzen Sedimentation ROVar B - BZ, Sed.-
Konz. 2.000 g/m ³ |

1 Veranlassung

Das Hochwasserschutz Aktionsprogramm Schwäbische Donau zwischen Iller- und Lechmündung, welches das Hochwasserschutz Aktionsprogramm 2020plus auf die Region anwendet, berücksichtigt das gesamte Einzugsgebiet der Donau in Bezug auf die Hochwassergenese für den überregionalen Hochwasserschutz bis in den Überlastbereich. Während für den Lastfall bis HQ₁₀₀ zzgl. Klimafaktor ein Grundschutz vorgesehen ist, sind auch Überlegungen zum Überlastverhalten erforderlich. Der Grund liegt in den enormen potenziellen Schäden und der in einem solchen Fall nicht mehr gegebenen Funktionsfähigkeit der Region für einen längeren Zeitraum.

Für den Überlastfall bzw. große Hochwasserereignisse werden drei Rückhalteräume untersucht. Als Beitrag zum Grundschutz bis zu mittleren Hochwasserereignissen (HQ₁₀₀ zzgl. Klimafaktor) sind zwei weitere Rückhalteräume vorgesehen. Zum natürlichen Rückhalt sowie für erforderliche naturschutzfachliche Kompensationsmaßnahmen werden ebenfalls zwei Rückhalteräume betrachtet. Somit werden insgesamt sieben Rückhalteräume untersucht.

2 Aufgabenstellung

Die Donau transportiert insbesondere bei größeren Abflüssen Schwebstoffe, die sich im Falle des Einsatzes der Rückhalteräume zumindest zu einem Teil anlanden werden. Da die Auswirkungen von Schwebstoffanlandungen für die Landwirtschaft sowie den Naturschutz relevant sein können, werden Sedimentationsabschätzungen für die jeweiligen Rückhalteräume durchgeführt. Die betrachteten Rückhalteräume werden zum Teil bereits im Istzustand bei den maßgebenden Hochwasserereignissen überflutet (z. B. durch den Riedstrom). Um eventuelle Schwebstoffablagerungen auch im Istzustand berücksichtigen zu können, werden sowohl der Planungs- als auch der Istzustand (Bezugszustand) betrachtet.

Nachfolgend werden zunächst die vorhandenen Daten (Schwebstoffmessungen) zusammengefasst und hinsichtlich ihrer weiteren Verwendung als Grundlage für die Sedimentationsabschätzungen analysiert (Kapitel 3). In Kapitel 4 wird das gewählte Verfahren zur quantitativen Abschätzung der Schwebstoffablagerungen beschrieben. Die Ergebnisse der Abschätzung werden dann für die jeweiligen Rückhalteräume in Kapitel 5 erläutert.

3 Vorhandene Daten – Auswertung

3.1 Schwebstoffkonzentration

Die Schwebstoffkonzentration des Abflusses in der Donau ist ein wesentlicher Eingangsparameter für die Abschätzung des Schwebstoffeintrags in die Rückhalteräume und damit für die Prognose der Anlandungen. Ziel der Auswertung der vorhandenen Daten ist die Festlegung der Schwebstoffkonzentration bei den jeweiligen Abflüssen in der Donau, bei denen die Rückhalteräume gefüllt werden (bzw. eine gegenüber dem Istzustand zusätzliche oder veränderte Füllung vorgesehen ist).

Im Projektgebiet liegen Schwebstoffmessungen an den Pegeln Bad Held (Neu-Ulm) sowie Donauwörth vor. Zudem befindet sich eine Messstelle unterstrom des Projektgebiets am Pegel Ingolstadt. Zum besseren Verständnis des Schwebstofftransports wird diese Messstelle bei der Auswertung der Daten ebenfalls berücksichtigt.

In Tabelle 1 sind die für die drei Messstellen verfügbaren Zeitreihen eingetragen. Kontinuierliche Messungen (15-Minuten-Werte) liegen nur für einen begrenzten Zeitraum vor. Mit dem Hochwasser 2013 liegt aber ein Hochwasserereignis in diesem Zeitraum. Zusätzlich sind für die Messstelle Bad Held Tageswerte seit 1965 vorhanden.

Tabelle 1: Übersicht Schwebstoffmessungen

Pegel	15-Minuten-Werte	Tagesmittelwerte
Bad Held	09/2011-03/2018	11/1965 – 03/2018
Donauwörth	10/2014-03/2018	10/2014 - 03/2018
Ingolstadt	11/2011 – 03/2018	11/2011 – 03/2018

Abnahme der Schwebstoffkonzentration von Bad Held bis Ingolstadt

In den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 1 bis Abbildung 4) sind die gemessenen Schwebstoffkonzentrationen in Form von Ganglinien dargestellt. Daraus lassen sich folgende Beobachtungen bzw. Folgerungen ableiten:

Es ist augenscheinlich, dass die Schwebstoffkonzentration von Neu-Ulm bis Ingolstadt deutlich abnimmt. So betrug diese beispielsweise beim Hochwasser im Juni 2013 an der Messstelle Bad Held beinahe 1.400 g/m^3 , in Ingolstadt nur mehr knapp 500 g/m^3 , also etwa ein Drittel. Die Abnahme wird auch durch den Vergleich der Schwebstoffmessungen in einer Juliwoche 2017 deutlich (siehe Abbildung 5). Trotz eines relativ geringen Abflusses in der Donau von ca. $400 \text{ m}^3/\text{s}$ (Pegel Bad Held) lag

die Schwebstoffkonzentration an der Messstelle Bad Held mit etwa 1.100 g/m^3 vergleichsweise hoch. Bis Donauwörth reduzierte sich der Schwebstoffgehalt auf ca. die Hälfte, in Ingolstadt lag die maximale Konzentration bei unter 200 g/m^3 . Diese Reduktion wird durch die für diesen Zeitraum ausgewerteten Massensummenlinien in Abbildung 6 bestärkt. Von ca. 57.000 to in Neu-Ulm reduziert sich die Gesamtmasse der in diesem Zeitraum transportierten Schwebstoffe auf 43.000 to in Donauwörth bzw. 28.000 to in Ingolstadt. Für die Ermittlung der Massensummenlinie wurde neben der Schwebstoffkonzentration auch die jeweilige Abflussganglinie an den Pegeln berücksichtigt.

Die Abnahme der Schwebstoffkonzentration von Neu-Ulm bis Donauwörth bzw. im weiteren Verlauf bis Ingolstadt kann einerseits durch Sedimentationsprozesse in den vorhandenen Staustufen erklärt werden. Infolge der deutlich reduzierten Fließgeschwindigkeiten im Stauroum sedimentiert ein Teil der Schwebstoffe. Andererseits tragen vermutlich Zuflüsse in die Donau mit einem geringen Schwebstoffgehalt zu einer „Verdünnung“ des Abflusses der Donau bei. Zwischen der Messstelle Bad-Held und dem Rückhalteraum Leipheim befinden sich die ersten beiden Staustufen (Böfinger Halde und Oberelchingen). Somit ist für den Rückhalteraum Leipheim bereits eine Reduzierung der Schwebstoffkonzentrationen gegenüber den Messwerten in Neu-Ulm zu erwarten. Für alle weiteren Rückhalteräume unterstrom von Leipheim gilt dies analog. Bei entsprechend großen Abflüssen in der Donau, bei denen der Riedstrom anspringt, ist auch davon auszugehen, dass zumindest ein Teil der mit dem Donauabfluss in die Vorlandflächen transportierten Schwebstoffe dort sedimentiert und die Schwebstoffkonzentration in der Donau in Fließrichtung folglich abnimmt.

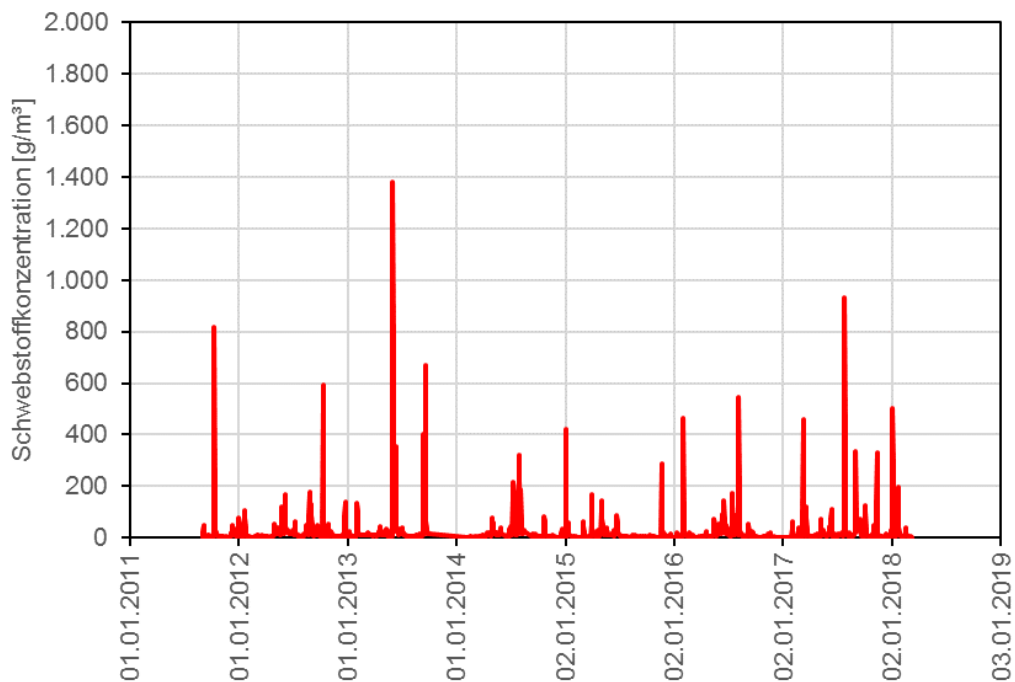


Abbildung 1: Kontinuierliche Schwebstoffmessungen an der Messstelle Bad Held (Neu-Ulm)

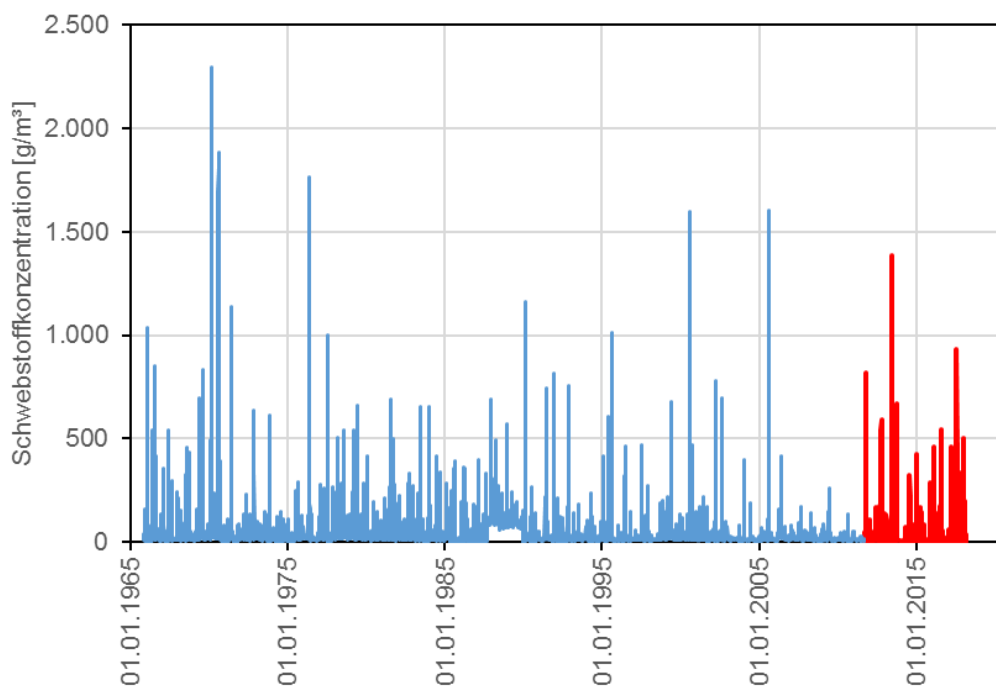


Abbildung 2: Kontinuierliche Schwebstoffmessungen an der Messstelle Bad Held, ergänzt durch Einzelwerte

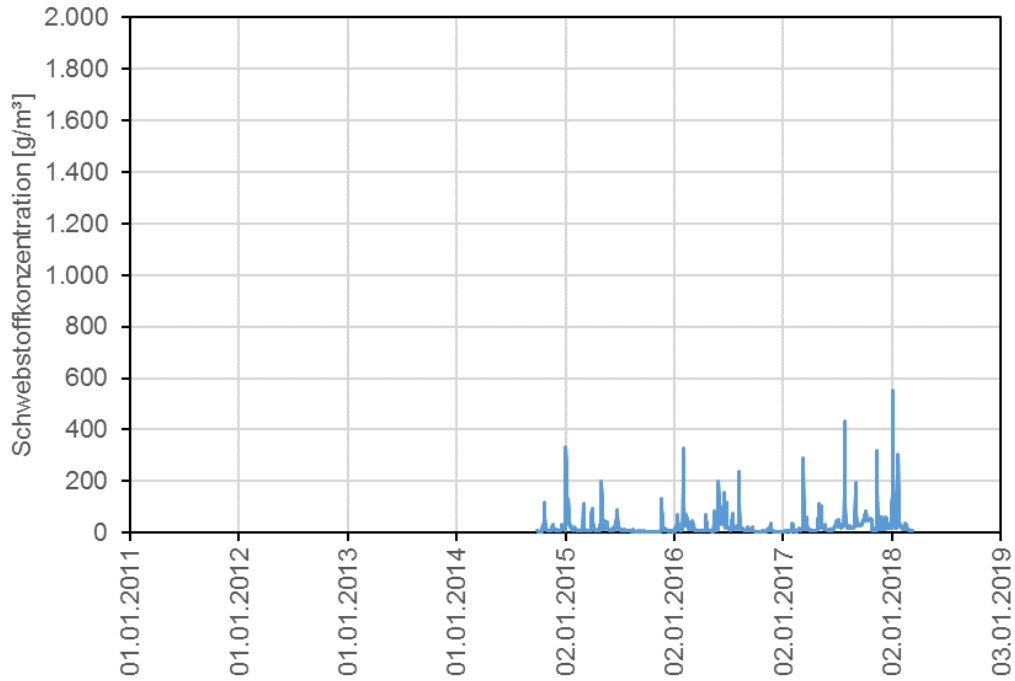


Abbildung 3: Kontinuierliche Schwebstoffmessungen an der Messstelle Donauwörth

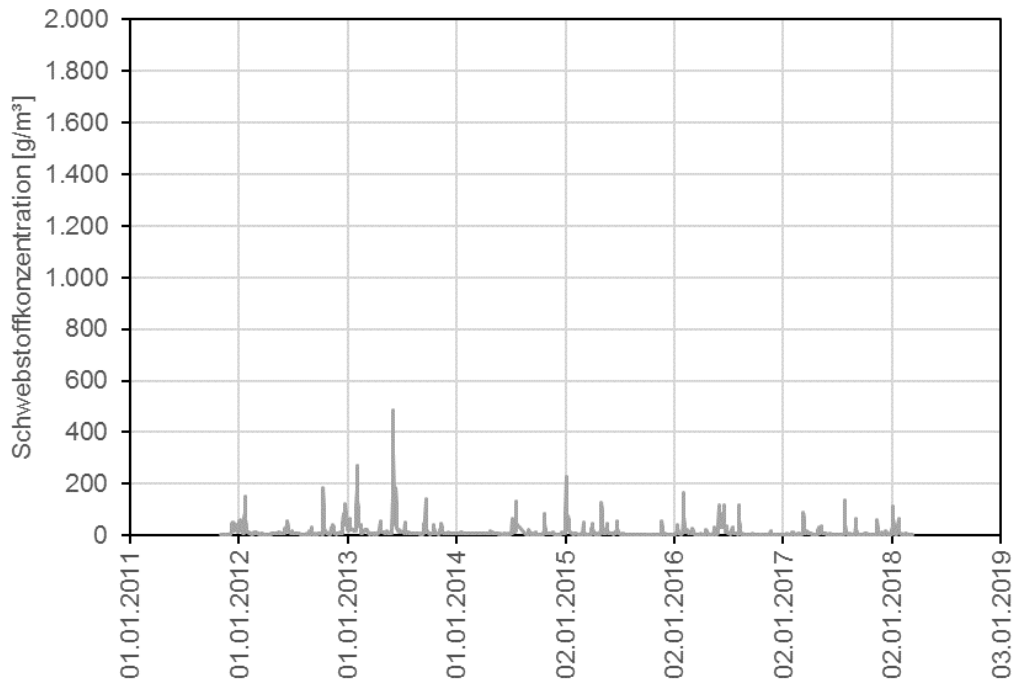


Abbildung 4: Kontinuierliche Schwebstoffmessungen an der Messstelle Ingolstadt

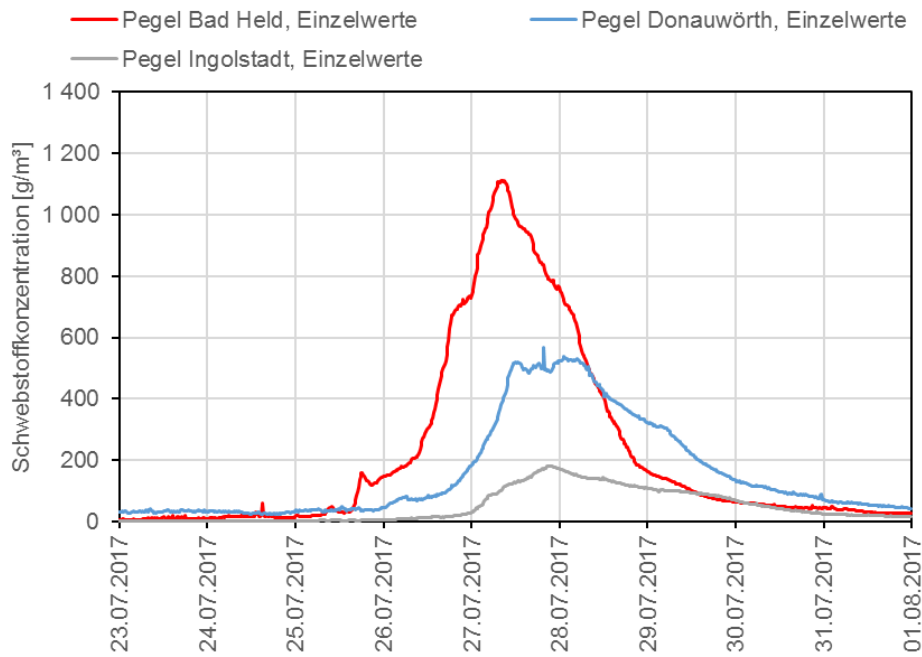


Abbildung 5: Schwebstoffkonzentration an den Messstellen Bad Held, Donauwörth und Ingolstadt im Juli 2017

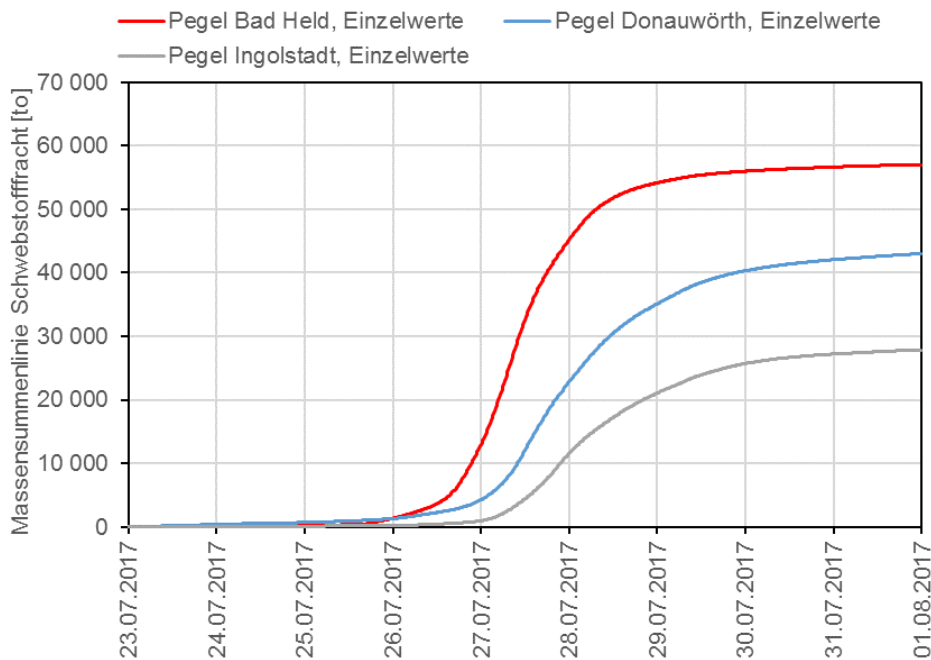


Abbildung 6: Massensummenlinien der transportierten Schwebstoffe im Juli 2017

Extrapolation der Schwebstoffkonzentration für sehr große Abflüsse in der Donau

Der maximale Abfluss im Zeitraum der Schwebstoffmessungen am Pegel Bad Held betrug $1.020 \text{ m}^3/\text{s}$ (23.05.1999). Der 100-jährliche Hochwasserabfluss mit $1.250 \text{ m}^3/\text{s}$ und insbesondere der 1.000-jährliche Hochwasserabfluss liegen mit $1.600 \text{ m}^3/\text{s}$ deutlich höher. Analog beträgt im Beobachtungszeitraum der Messstelle Donauwörth der maximale Abfluss $815 \text{ m}^3/\text{s}$, hingegen liegen die Abflüsse bei HQ_{100} mit $1.450 \text{ m}^3/\text{s}$ und HQ_{extrem} mit $1.800 \text{ m}^3/\text{s}$ wesentlich höher. Der Einsatz der Rückhalteräume Leipheim, Helmeringen und Neugeschüttwörth erfolgt bei Abflüssen, die ein HQ_{100} deutlich überschreiten. Die Rückhalteräume Tapfheim und Donauwörth werden bei Abflüssen im Bereich eines HQ_{100} eingesetzt. Somit stellt sich die Frage, wie die entsprechenden Schwebstoffkonzentrationen für große Abflüsse aus den vorhandenen Daten extrapoliert werden können.

Dazu werden die gemessenen Schwebstoffkonzentrationen an den drei Messstellen in Abhängigkeit der zeitgleich gemessenen Abflüsse an den Pegeln dargestellt. Abbildung 7 zeigt, dass an der Messstelle Bad Held kein Zusammenhang zwischen Abfluss und Schwebstoffkonzentration erkennbar ist. Es gibt Ereignisse mit hoher Schwebstoffkonzentration und gleichzeitig relativ geringen Abflüssen in der Donau, aber auch höhere Abflüsse bei gleichzeitig vergleichsweise niedrigem Schwebstoffgehalt.

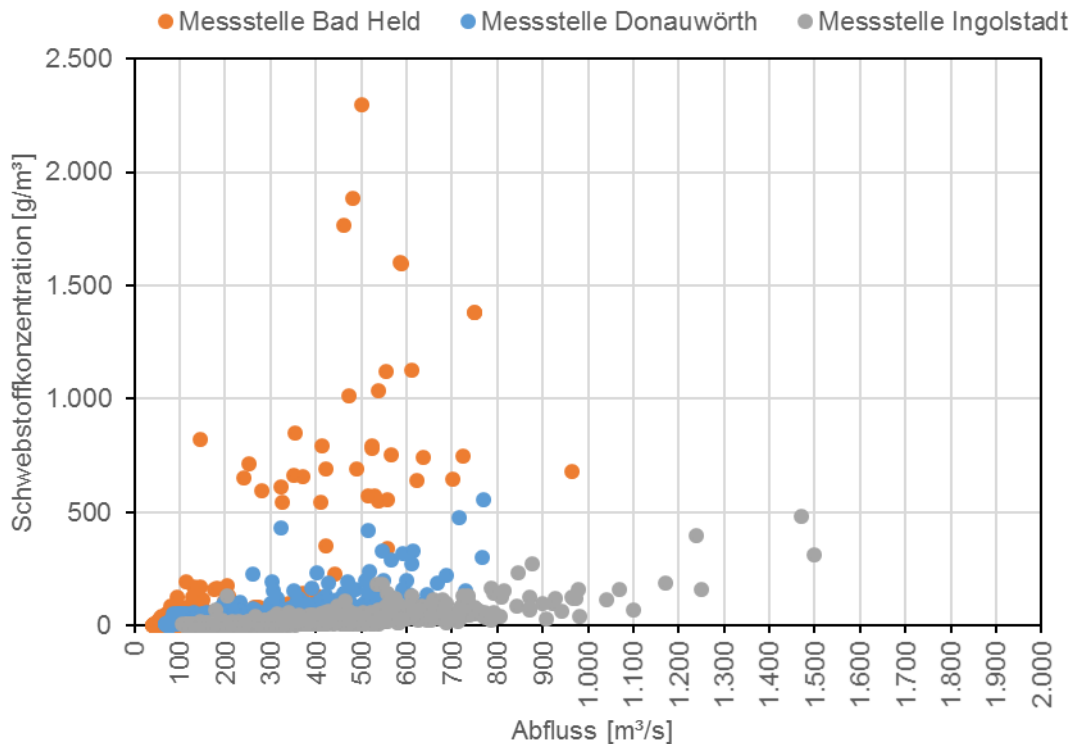


Abbildung 7: Schwebstoffkonzentration in Abhängigkeit des Abflusses an den Messstellen Bad Held, Donauwörth und Ingolstadt

Im Zuge der vorliegenden Untersuchungen wurden die Gründe für diese Beobachtung nicht vertieft untersucht, da dies letztendlich für die weiteren Aussagen hinsichtlich der Sedimentationsabschätzung in den Rückhalteräumen unwesentlich ist. Vermutlich spielt die Iller, die unmittelbar oberstrom der Messstelle Bad Held in die Donau mündet, eine wesentliche Rolle. Die Ganglinie der Schwebstoffkonzentration an der Messstelle Kempten an der Iller in Abbildung 8 zeigt relativ hohe Schwebstoffkonzentrationen. Darüber hinaus ergibt die Darstellung des Schwebstoffgehalts in Abhängigkeit des Abflusses ein sehr diffuses Bild. Teilweise treten sehr hohe Schwebstoffkonzentrationen bereits bei relativ kleinen Abflüssen auf. Dies kann durch ein sehr heterogenes Einzugsgebiet und dadurch sehr unterschiedliche Schwebstoffeinträge je nach hydrologischer Situation bedingt sein.

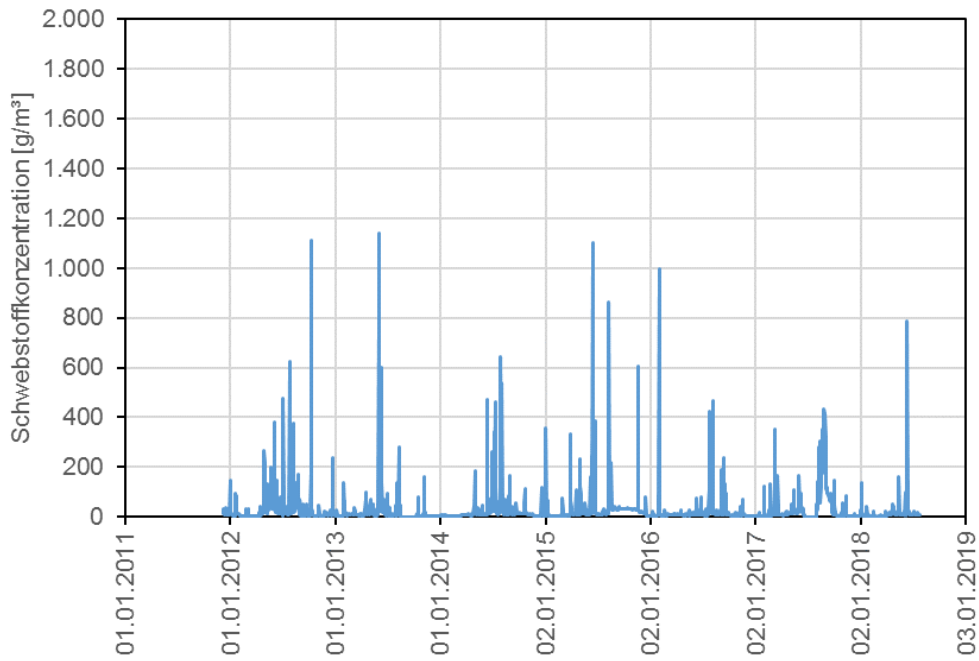


Abbildung 8: Schwebstoffmessungen an der Messstelle Kempten/Iller

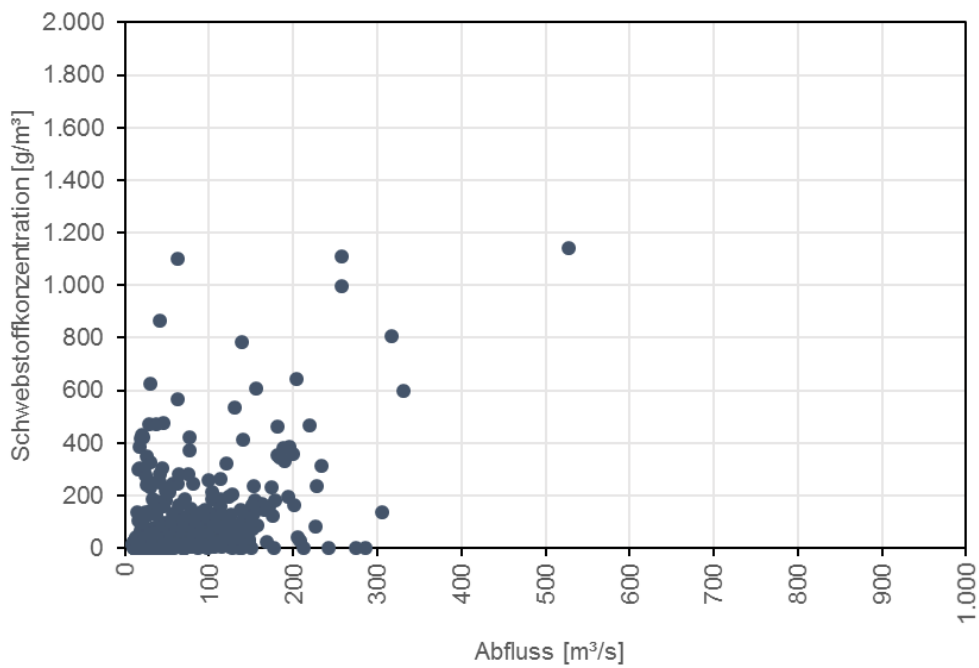


Abbildung 9: Schwebstoffkonzentration in Abhängigkeit des Abflusses an der Messstelle Kempten/Iller

Hingegen ist in Abbildung 7 im Bereich der Messstelle Donauwörth eine vergleichsweise klare Korrelation zwischen Abfluss und Schwebstoffgehalt zu erkennen. Mit steigendem Abfluss steigt auch die Schwebstoffkonzentration. In Ingolstadt ist dieser Zusammenhang noch deutlicher, was darauf hindeutet, dass in den Stauräumen der Staustufen an der Donau ein bedeutender Teil der Schwebstoffe sedimentiert. Dies erfolgt bei allen Abflüssen in der Donau, insbesondere aber bei kleinen bis mittleren Abflüssen. Auch bei größeren Abflüssen ist auf Basis der vorhandenen Messdaten davon auszugehen, dass ein Teil der vorhandenen Schwebstoffe in den Stauräumen verlandet. Es gibt keine Anhaltspunkte dafür, dass bei Hochwasser in der Donau die bei kleinen und mittleren Abflüssen sedimentierten Feinteile aktiviert werden und somit deutlich höhere Schwebstoffkonzentrationen entstehen.

Auf Basis der durchgeführten Auswertung der Schwebstoffmessungen und den dabei angestellten Überlegungen werden die nachfolgenden Schwebstoffmessungen mit zwei verschiedenen Schwebstoffkonzentrationen durchgeführt. Im Sinne einer Bandbreite wird eine untere und eine obere Schwebstoffkonzentration gewählt. Dazu werden in das Diagramm in Abbildung 10, welches die gemessene Schwebstoffkonzentration in Abhängigkeit des Abflusses für Donauwörth zeigt, zwei mögliche Regressionskurven ergänzt. Diese decken etwa den Bereich ab, in dem sich der Schwebstoffgehalt bei verschiedenen Donauabflüssen bewegen kann. Im Falle eines sehr großen Hochwasserereignisses liegt die Schwebstoffkonzentration somit circa zwischen 500 und 2.000 g/m³.

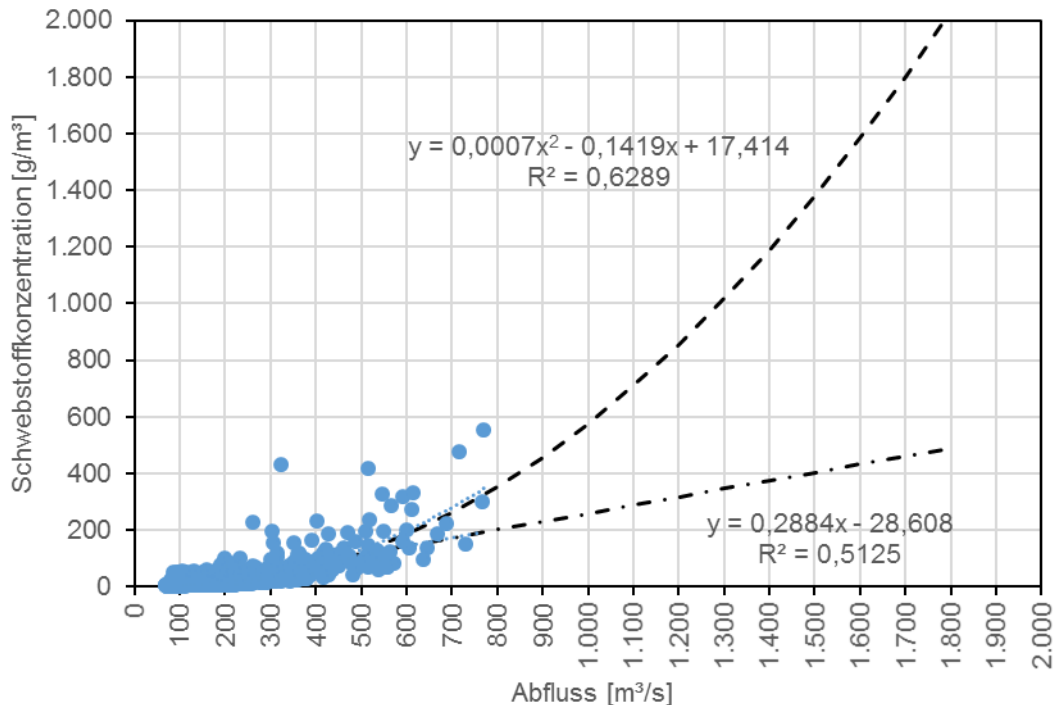


Abbildung 10: Schwebstoffkonzentration in Abhängigkeit des Abflusses an der Messstelle Donauwörth mit Regressionskurven

Mit diesen Werten für den Schwebstoffgehalt erfolgt die weitere Sedimentationsabschätzung. Der Wert von 2.000 g/m³ kann auch aus folgenden Gründen als obere Grenze im Sinne einer Worst-Case-Betrachtung herangezogen werden:

- An der Messstelle Bad Held ist eine Messreihe von 1965 bis heute vorhanden. Bis auf eine Messung liegen alle gemessenen Schwebstoffkonzentrationen unter 2.000 g/m³. Es ist davon auszugehen, dass im weiteren Verlauf der Donau durch die vorhandenen Stauräume und die Zuflüsse zur Donau die Schwebstoffkonzentration tendenziell abnimmt.
- Die Füllung der Rückhalteräume erfolgt durch Ausleitungen aus den oberen Schichten der Donau bezogen auf die Fließtiefe. Die Schwebstoffkonzentration in der oberen Lamelle ist kleiner als der über das gesamte Querprofil betrachtete Mittelwert oder die maximalen Schwebstoffkonzentrationen in den tieferen Schichten. Dies zeigt exemplarisch die als Ergebnis von Messungen dargestellte Verteilung der Schwebstoffkonzentration in einem Querschnitt in Abbildung 10(aus [1]).

- Die Rückhalteräume Helmeringen und Neugeschüttwörth werden größtenteils heute schon, der Rückhalteraum Leipheim teilweise über den natürlichen Riedstrom gefüllt. Es ist davon auszugehen, dass der Riedstrom auf der Fließstrecke von seiner Ausleitung aus der Donau bis zum Stauration zumindest einen Teil seiner Schwebstoffe durch Sedimentationsprozesse verliert.

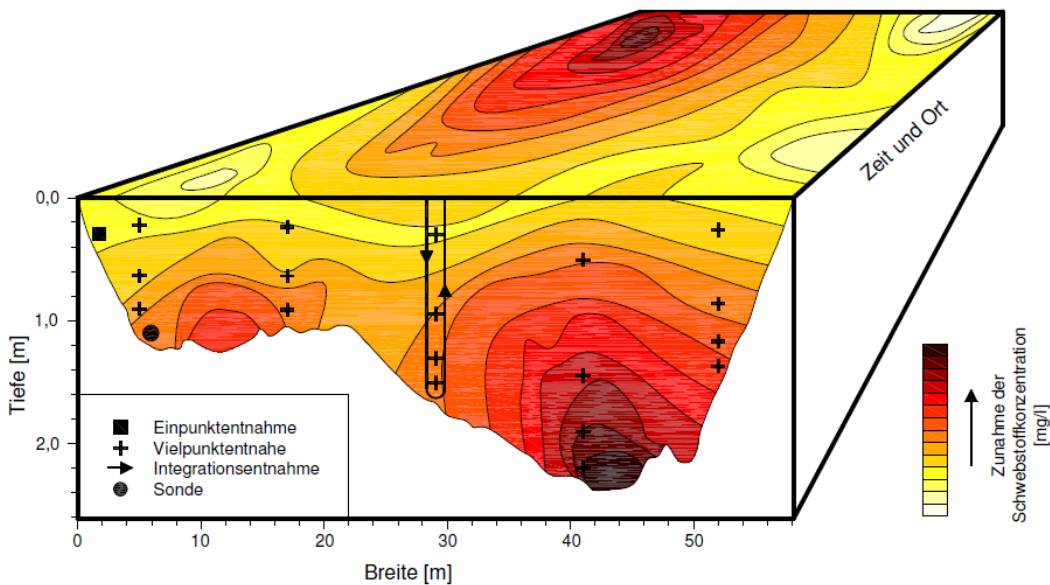


Abbildung 11: Verteilung der Schwebstoffkonzentration über den Querschnitt, beispielhaft [1]

3.2 Kornverteilung – mittlerer Korndurchmesser der Schwebstoffe

Für die Messstelle Ingolstadt liegen Korngrößenverteilungen von Schwebstoffen vor, die im Rahmen des Projekts SUMAD [3] erhoben wurden. Auf Grund der örtlichen Nähe wird davon ausgegangen werden, dass die Korngrößen der Schwebstoffe an der Messstelle Ingolstadt auf das Projektgebiet übertragen werden können.

In Abbildung 12 sind die Sieblinien der Schwebstoffe abgebildet. Dabei handelt es sich um Probenahmen bei verschiedenen Donauabflüssen. Die Kornverteilungslinien zu den größeren Abflüssen ab etwa 1.000 m³/s liegen alle in einer sehr engen Bandbreite und enthalten zu etwa 50 bis 80 % Schluffanteile. Für die weiteren Überlegungen im Rahmen der Sedimentationsabschätzungen wird ein mittlerer Korndurchmesser aus

der Probe vom 26.08.1975 bestimmt. An diesem Tag war der Abfluss mit über 1.100 m³/s relativ hoch.

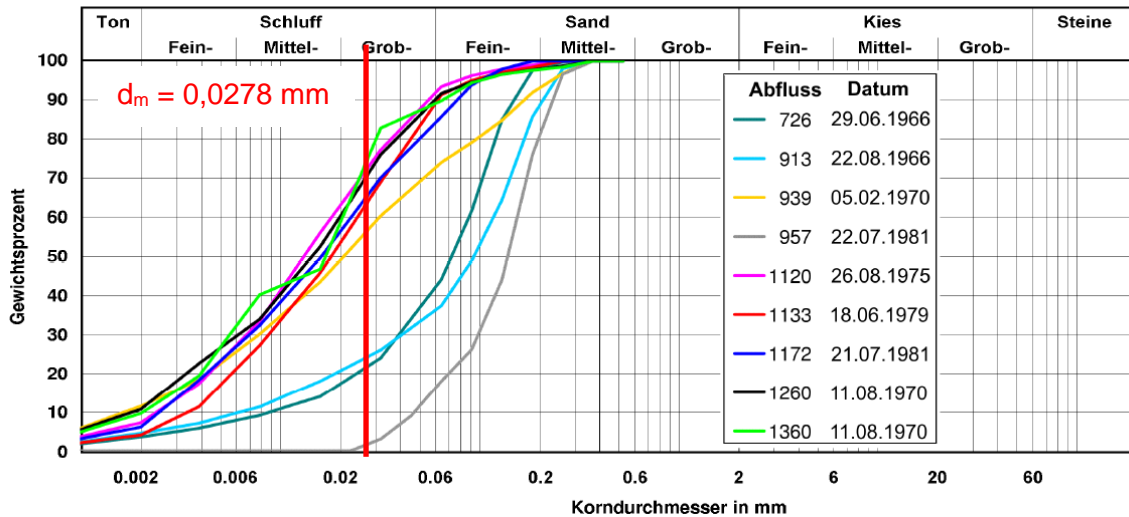


Abbildung 12: Korngrößenverteilungen des Schwebstoffes der Donau, aus [3]

Die Berechnung des mittleren Korndurchmessers erfolgt durch die Addition der Produkte der Anteile der einzelnen Kornfraktionen mit den entsprechenden Korndurchmessern (siehe Tabelle 2). Der mittlere Korndurchmesser beträgt 0,0278 mm. Daraus berechnet sich die so genannte Grenzgeschwindigkeit v_{gr} , ab der Partikel dieser Größe in Schweb gehalten werden zu 0,31 m/s. Die mittlere Sinkgeschwindigkeit der Schwebstoffpartikel beträgt 0,0007 m/s.

Tabelle 2: Ermittlung des mittleren Korndurchmessers aus der Kornverteilung der Probe vom 26.08.1975

d [mm]	Siebdurchgang [Gew. -%]	Anteil Kornfraktionen [Gew. -%]	$d_i \cdot f_i$
0,5000	100,0	0,0	0,0000
0,3536	100,0	0,0	0,0000
0,2500	100,0	1,0	0,0025
0,1768	99,0	1,1	0,0019
0,1250	97,9	1,6	0,0020
0,0884	96,3	2,8	0,0025
0,0625	93,5	8,1	0,0051
0,0442	85,4	8,2	0,0036
0,0312	77,2	10,6	0,0033
0,0221	66,6	10,6	0,0023
0,0156	56,0	11,3	0,0018
0,0110	44,7	11,4	0,0013
0,0078	33,3	8,0	0,0006
0,0055	25,3	8,1	0,0004
0,0039	17,2	5,0	0,0002
0,0028	12,2	5,1	0,0001
0,0020	7,1	1,8	0,0000
0,0014	5,3	1,8	0,0000
0,0010	3,5	1,7	0,0000
0,0007	1,8	1,8	0,0000
0,0005	0,0	0,0	0,0000
$d_m = \sum d_i \cdot f_i$			0,0278 mm

4 Verfahren zur Sedimentationsabschätzung

Nachfolgend wird das Verfahren zur Sedimentationsabschätzung vorgestellt. Als Grundlage für die Entwicklung dieses Verfahrens wurden Vorüberlegungen durchgeführt, die im Kapitel 4.1 erläutert werden. Zur Bestimmung der Größenordnung der Sedimentation, wurde zunächst basierend auf den Vorüberlegungen eine grobe Vorabschätzung durchgeführt (siehe Kapitel 4.2). Das Verfahren zur Abschätzung der Sedimentation in Verbindung mit einer räumlichen Verteilung der abgesetzten Sedimente wird in Kapitel 4.3 beschrieben.

4.1 Vorüberlegungen

4.1.1 Planungszustand

Bei den Rückhalteräumen Leipheim, Helmeringen und Neugeschüttwörth handelt es sich um Flutpolder, die bereits bei heutigen Hochwasserbedingungen durchflossen werden. Auch während des Einsatzes im Hochwasserfall sind diese durchströmt. Hinsichtlich der Sedimentationsabschätzung stellt sich somit die Frage, welcher Anteil der Sedimente, die mit dem Zufluss in die jeweiligen Rückhalteräume eingetragen werden, im Rückhalteraum sedimentieren bzw. durchtransportiert werden. Zur Beantwortung dieser Frage werden nachfolgend die Fließgeschwindigkeiten in den Rückhalteräumen im Einsatzfall sowie die Absenkdauer der Schwebstoffpartikel betrachtet.

Fließgeschwindigkeiten in den Rückhalteräumen

Als Ergebnis der instationären hydraulischen Berechnungen für den Einsatzfall der Rückhalteräume wurden die flächigen Verteilungen der Fließgeschwindigkeiten ausgewertet. Als Referenzwert für die Frage, ob ein Schwebstoffpartikel sedimentiert bzw. in Schwebelage gehalten wird, gilt die in Abhängigkeit der Korngröße ermittelte Grenzgeschwindigkeit von 0,31 m/s. In den nachfolgenden Abbildungen sind für die drei Rückhalteräume Leipheim (Abbildung 13), Helmeringen (Abbildung 14) und Neugeschüttwörth (Abbildung 15) Fließgeschwindigkeitsverteilungen für verschiedene Betriebszustände dargestellt. Augenscheinlich wird die Grenzgeschwindigkeit von 0,31 m/s trotz Durchfluss in den Rückhalteräumen in allen betrachteten Betriebszuständen großflächig deutlich unterschritten. Abbildung 16 zeigt am Beispiel des Rückhalteriums Helmeringen Wasserspiegelganglinien an einem Pegel im Rückhalteraum für den Bezugs- und den Planungszustand. Die Einstaudauer beträgt hier etwa 70 Stunden. Somit ist davon auszugehen, dass im Einsatzfall der Rückhalteräume Sedimentationsprozesse über einen Zeitraum von vielen Stunden stattfinden.

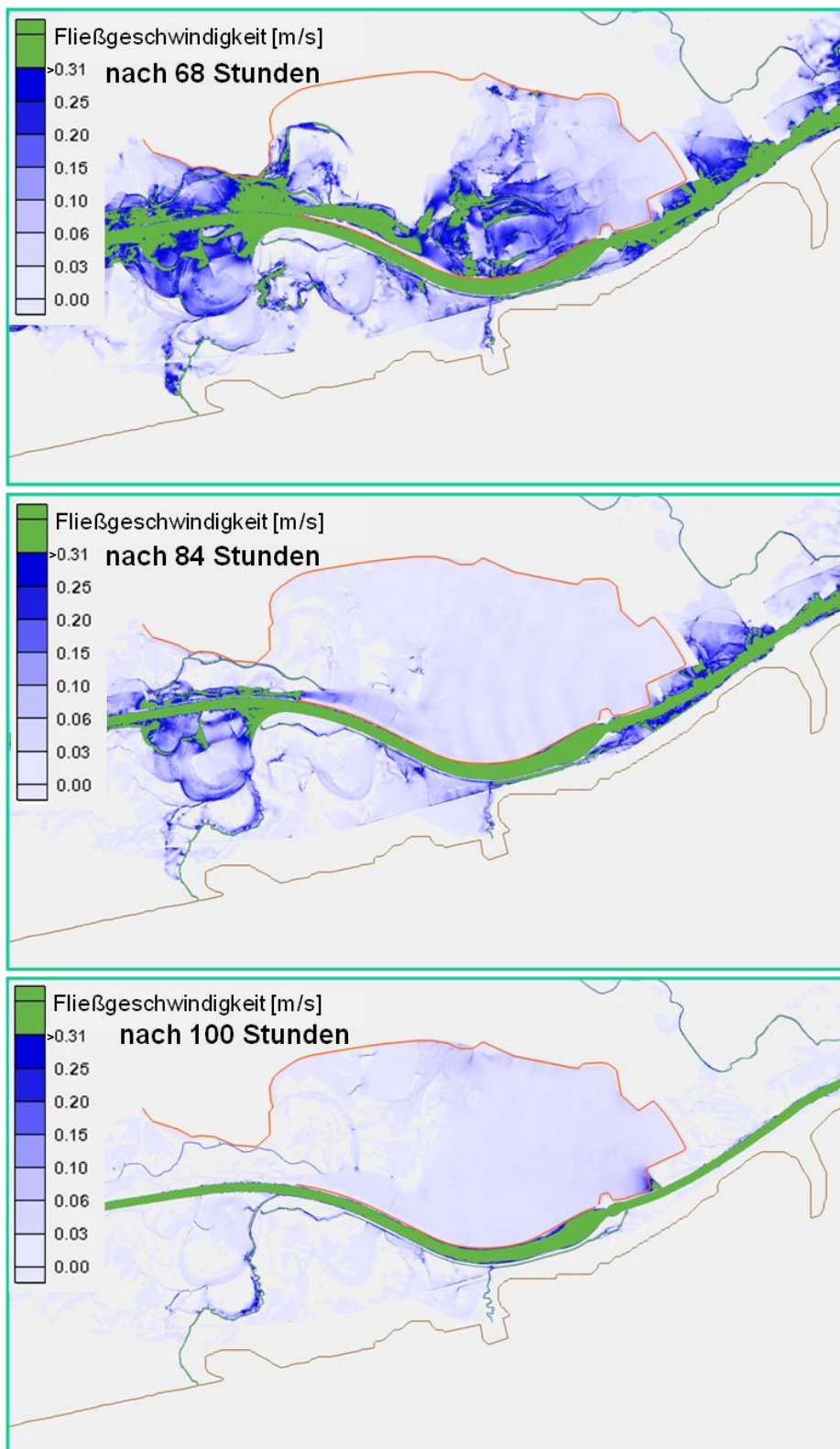


Abbildung 13: Rückhalteraum Leipheim: Fließgeschwindigkeiten bei a) maximalem Zufluss, b) maximalem Wasserspiegel, c) maximalem Abfluss

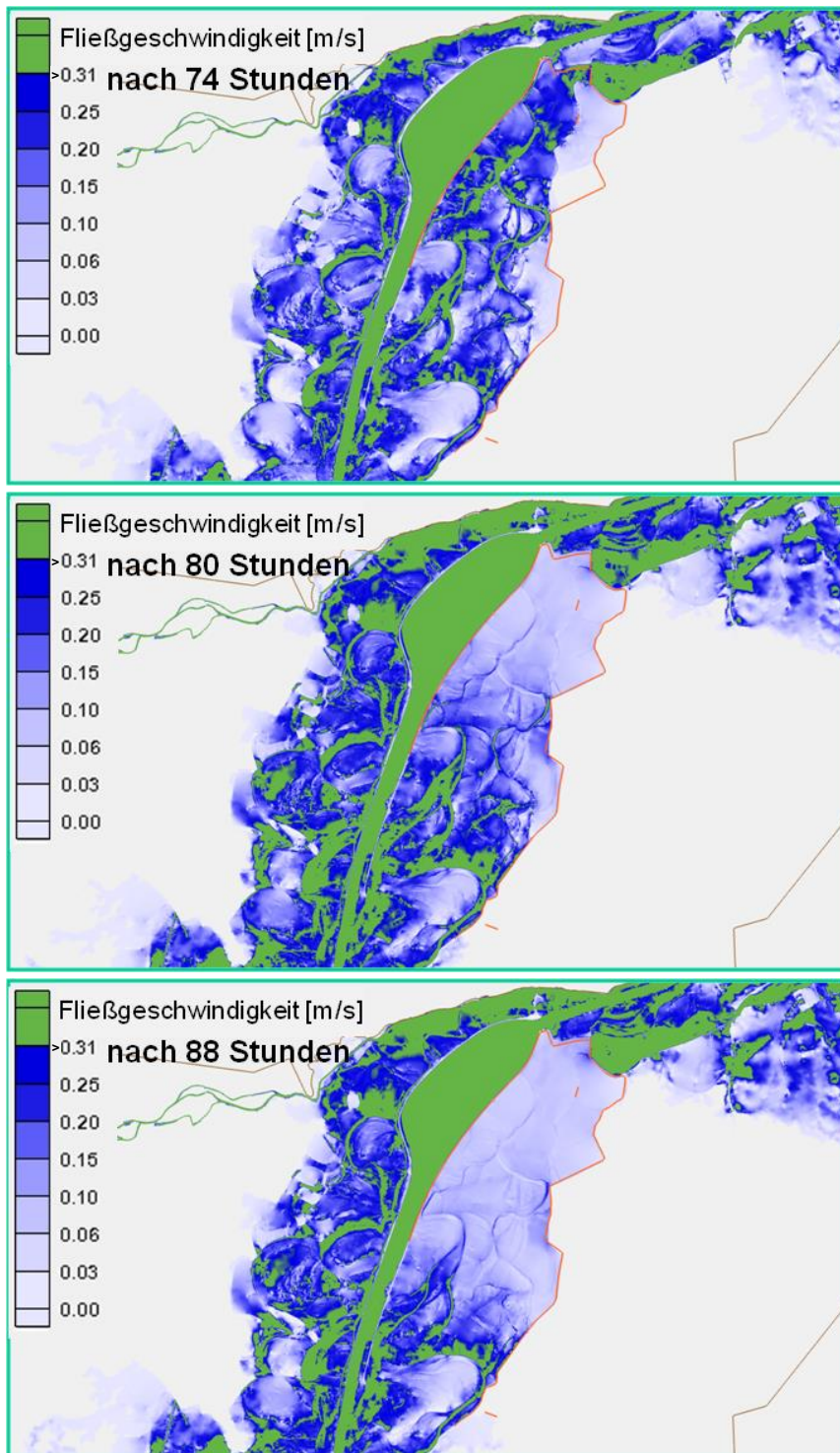


Abbildung 14: Rückhalteraum Helmeringen: Fließgeschwindigkeiten bei
a) maximalem Zufluss, b) maximalem Wasserspiegel, c) maximalem
Abfluss

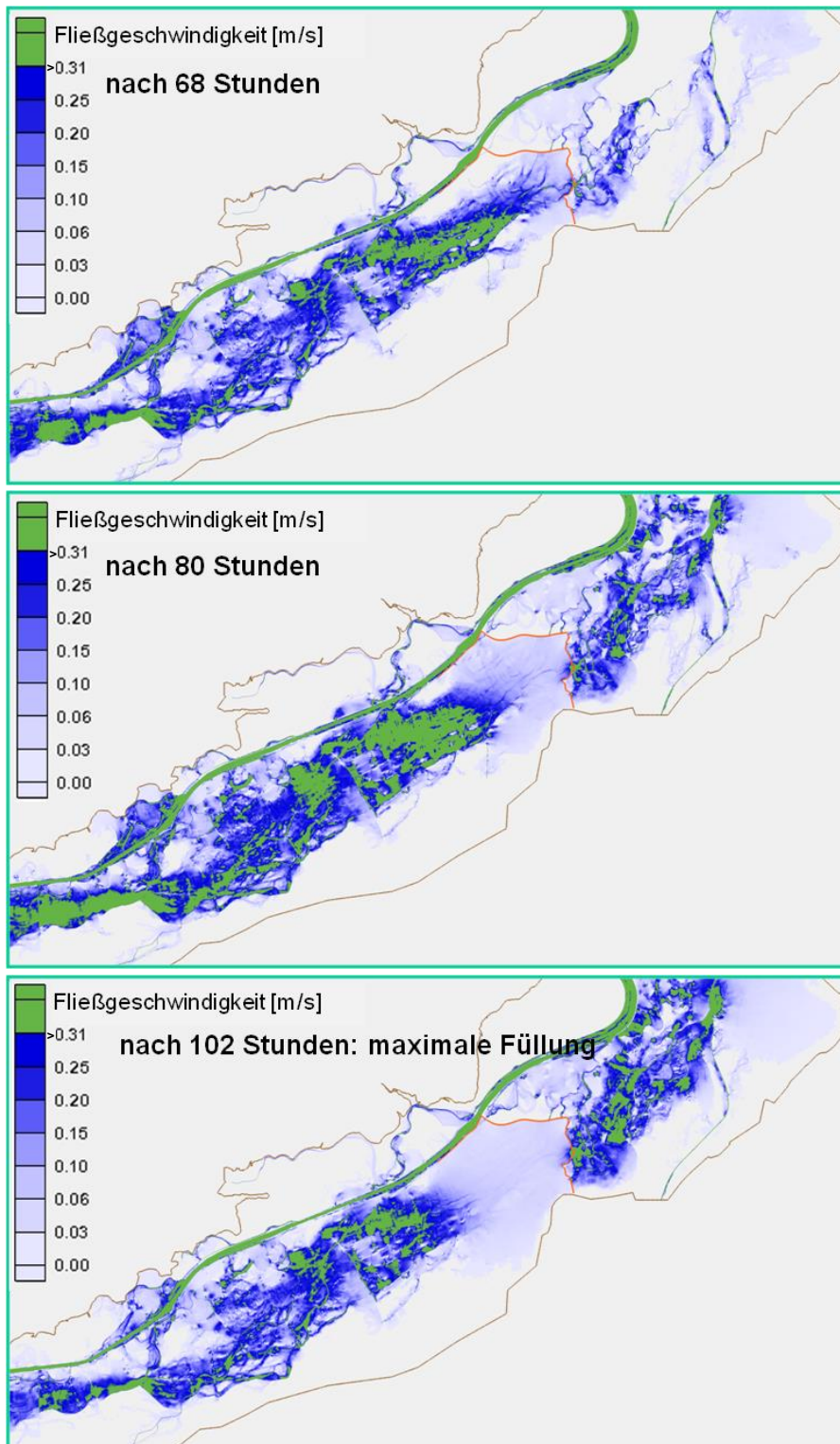


Abbildung 15: Rückhalteraum Neugeschüttwörth: Fließgeschwindigkeiten bei
a) Beginn Einstau, b) Teileinstau, c) maximale Füllung

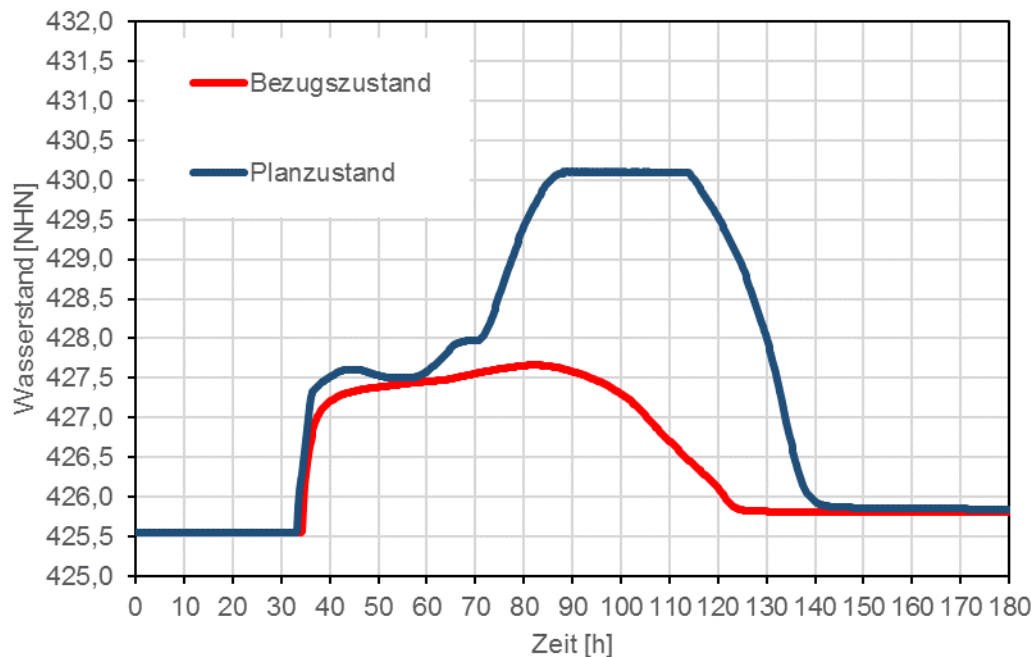


Abbildung 16: Rückhalteraum Helmeringen: Wasserstand an einem Pegel im Bezugs- und Planungszustand

Analog zu den obigen Abbildungen, zeigen Abbildung 17 und Abbildung 18 die Situation an den Rückhalteräumen Tapfheim und Donauwörth. Dargestellt ist jeweils die Fließgeschwindigkeit bei verschiedenen Abflusszuständen. Es ist zu erkennen, dass sowohl für Tapfheim, als auch für Donauwörth die Grenzggeschwindigkeit von 0,31 m/s großflächig unterschritten wird.

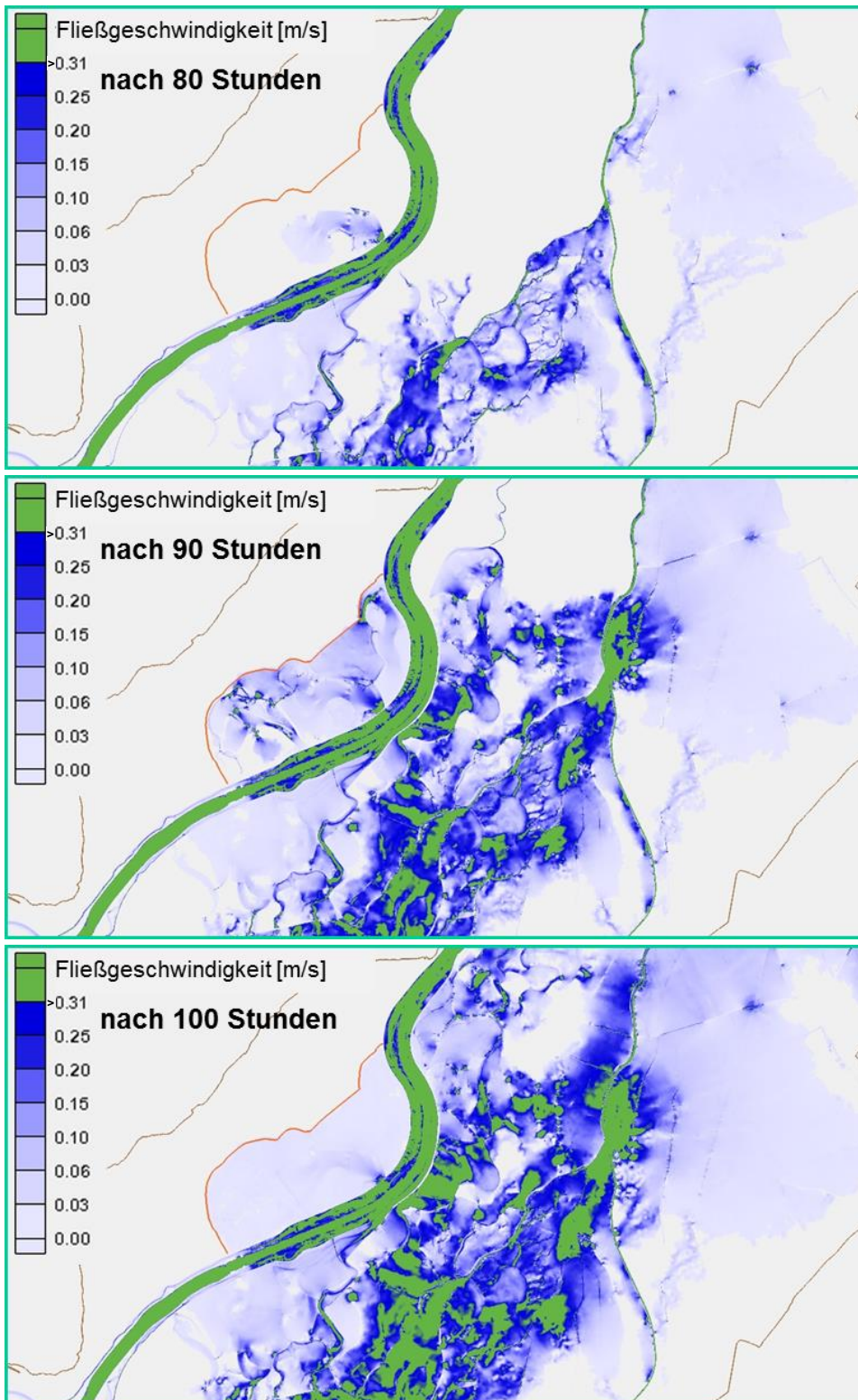


Abbildung 17: Rückhalteraum Tapfheim: Fließgeschwindigkeiten bei a) Beginn Einstau b) Teileinstau c) Entleerung

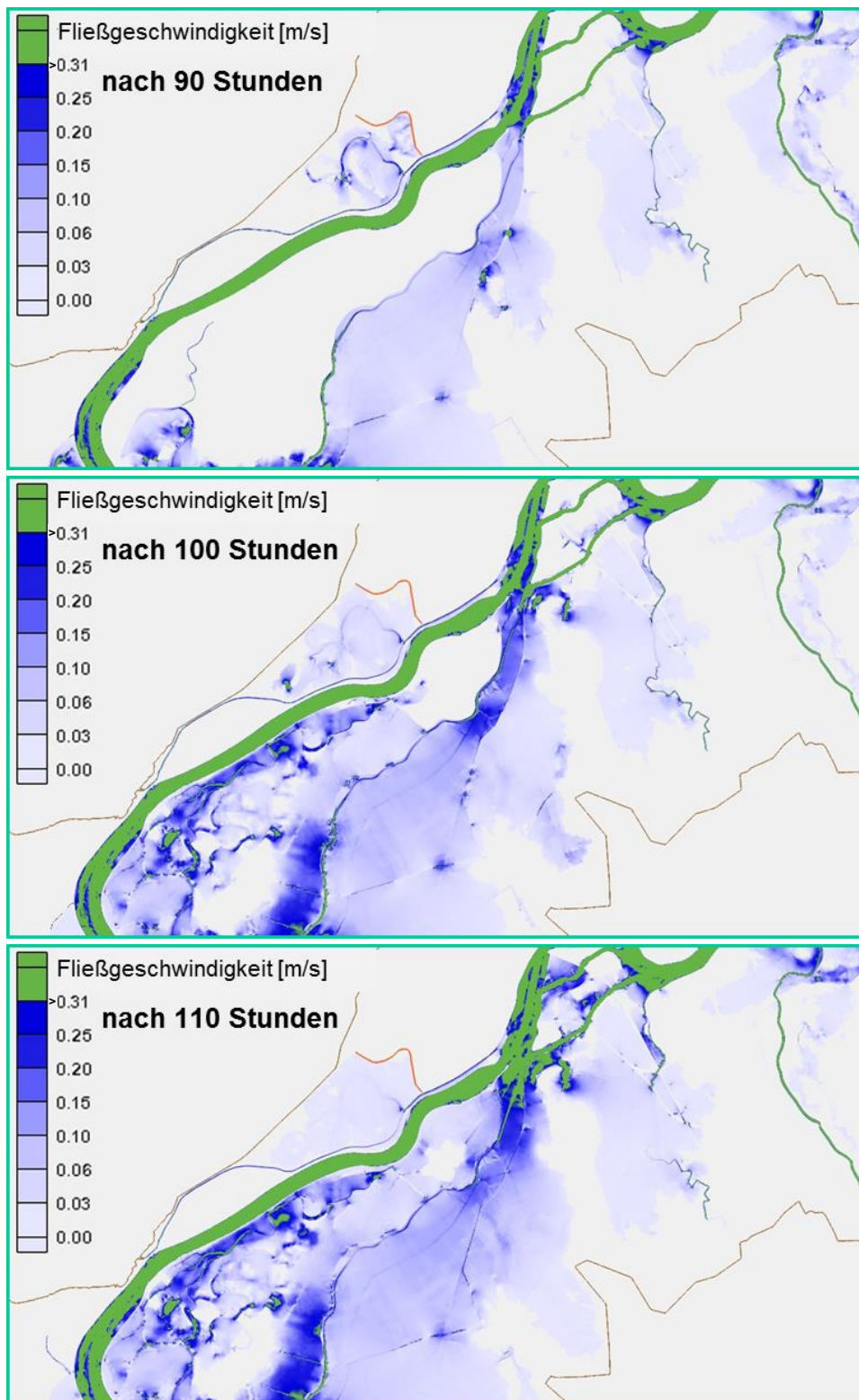


Abbildung 18: Rückhalteraum Donauwörth: Fließgeschwindigkeiten bei a) Beginn Einstau b) Teileinstau c) Entleerung

Absenkdauer

Bei der aus dem mittleren Korndurchmesser der Schwebstoffe ermittelten Absenkgeschwindigkeit der Schwebstoffpartikel von 0,0007 m/s und einer maximalen Fließtiefe im Bereich der Rückhalteräume von 6 bis 7 m, liegt die Absenkdauer in einer Größenordnung von 2 bis 3 Stunden.

Fazit

Auf Grund der geringen Fließgeschwindigkeiten in den Rückhalteräumen und der im Vergleich zur tatsächlichen Einstaudauer kurzen Absenkdauer der Schwebstoffpartikel, wird davon ausgegangen, dass die in die Rückhalteräume eingetragenen Schwebstoffe komplett sedimentieren.

4.1.2 Bezugszustand

Die Stauplächen der Rückhalteräume Leipheim, Helmeringen und Neugeschüttwörth werden bei entsprechenden Hochwasserereignissen durch den Riedstrom bereits im Bezugszustand (Istzustand) überströmt. Auch im Istzustand verlanden die mit dem Riedstrom eingetragenen Schwebstoffe. Allerdings zeigt die Geschwindigkeitsverteilung im Istzustand am Beispiel des Riedstroms im Bereich der Stauplächen des Rückhalteraums Neugeschüttwörth, dass die Fließgeschwindigkeiten über große Flächen größer sind als die Grenzgeschwindigkeit. Im Gegensatz zum Planungszustand ist also davon auszugehen, dass im Istzustand ein Teil der Schwebstoffe durch den Bereich der Rückhalteräume transportiert wird. Die Vorgehensweise, wie dies in der Abschätzung der Schwebstoffablagerungen im Istzustand berücksichtigt wird, wird in Kapitel 4.3 beschrieben.

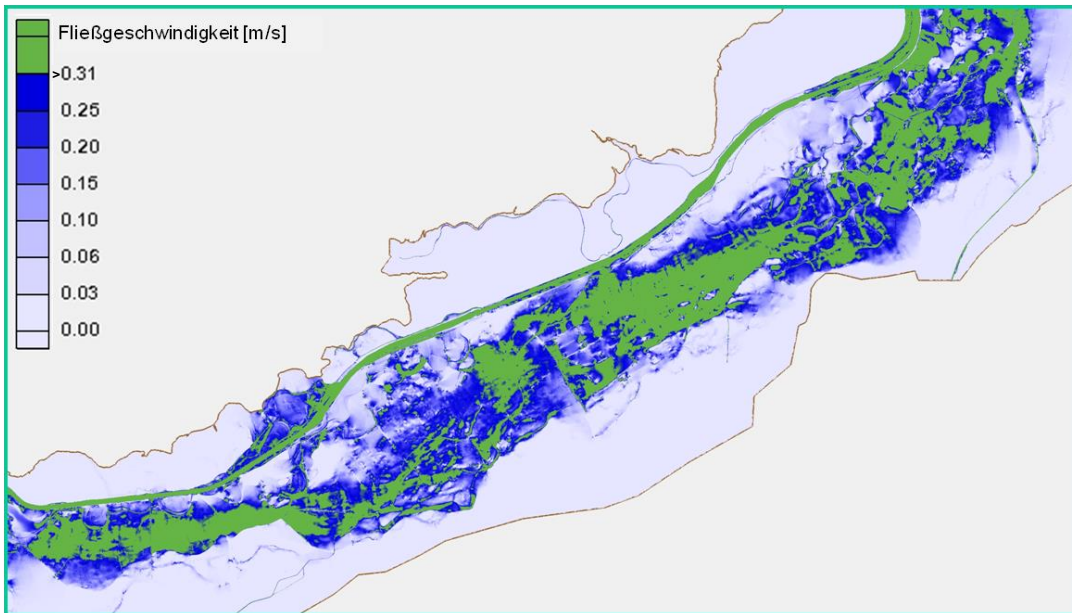


Abbildung 19: Bereich Rückhalteraum Neugeschüttwörth, Bezugszustand: Fließgeschwindigkeiten bei maximalem Abfluss im Riedstrom (HQ_{extrem})

4.2 Grobe Abschätzung der Sedimentationsmengen

Zur Abschätzung der Größenordnung des Schwebstoffeintrags in die Rückhalteräume, wurde zunächst für die drei Rückhalteräume Leipheim, Helmeringen und Donauwörth die Masse bzw. das Volumen der eingetragenen Schwebstoffe in die Rückhalteräume berechnet. Grundlage dafür sind die hydraulischen Berechnungen für die Raumordnungsvariante A und den Lastfall HQ_{extrem} . In den nachfolgenden Abbildungen sind die jeweiligen Zuflussganglinien zu den Rückhalteräumen Leipheim (Abbildung 20), Helmeringen (Abbildung 21) und Neugeschüttwörth (Abbildung 22) dargestellt. Daraus errechnet sich über die Schwebstoffkonzentration die eingetragene Masse der Schwebstoffe und daraus das Volumen. Bei der Umrechnung der Masse in das Volumen wird die Dichte der Schwebstoffe mit 2.650 kg/m^3 , sowie das Porenvolumen mit 30% angenommen. Zudem wird unter Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der sedimentierten Schwebstoffe in den Rückhalteräumen die mittlere Sedimentationshöhe bestimmt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 eingetragen. Um die Ergebnisse rechnerisch nachvollziehen zu können, wird hier die Mächtigkeit der Ablagerungen in Zentimeter mit einer Nachkommastelle angegeben. In der Realität wäre dies natürlich so nicht messbar.

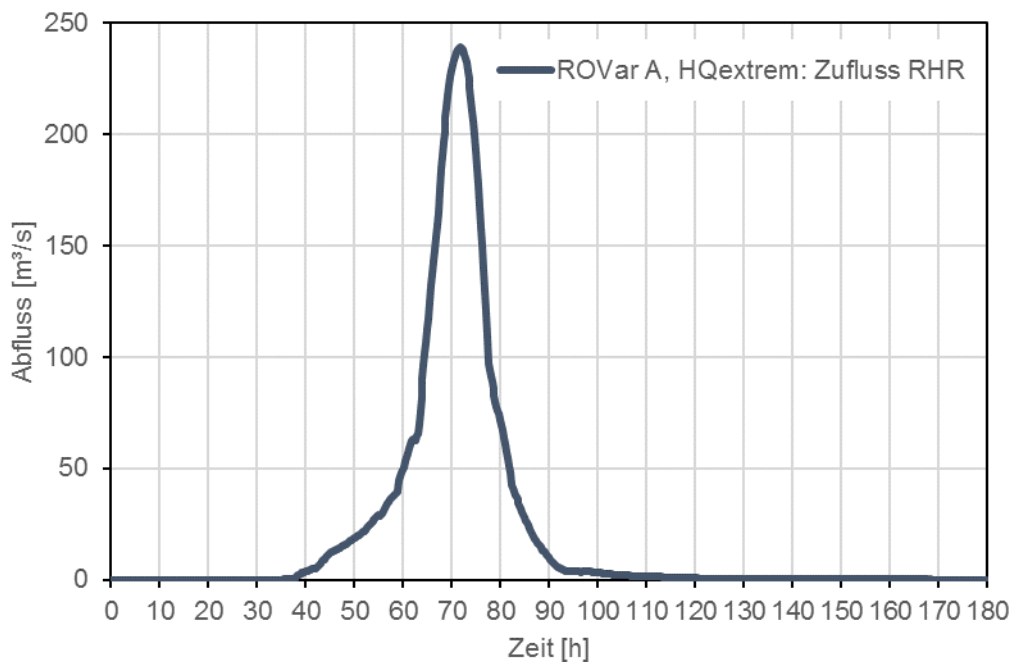


Abbildung 20: ROVar A, Rückhalteraum Leipheim: Zufluss in den Rückhalteraum

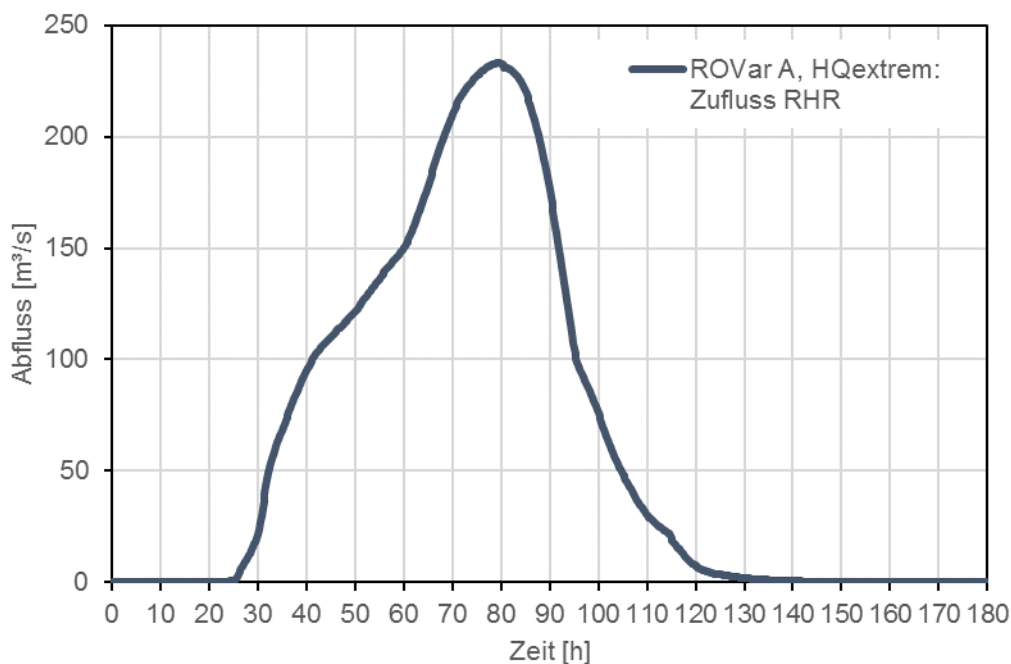


Abbildung 21: ROVar A, Rückhalteraum Helmeringen: Zufluss in den Rückhalteraum

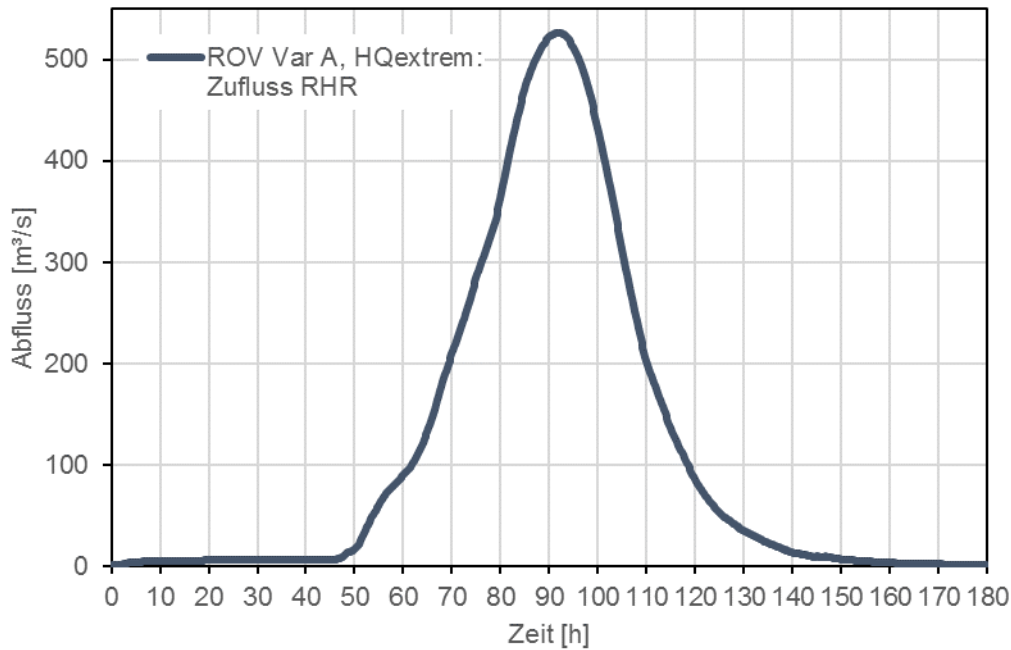


Abbildung 22: ROVar A, Rückhalteraum Neugeschüttwörth: Zufluss in den Rückhalteraum

Tabelle 3: Raumordnungsvariante A, HQ_{extrem}: Abschätzung des Schwebstoffeintrags in die Rückhalteräume Leipheim, Helmeringen und Neugeschüttwörth

Rückhalteraum	Zufluss [m³]	Fläche [m²]	Schwebstoffkonzentration [g/m³]	Schwebstoffeintrag [m³]	Mächtigkeit Ablagerung [cm]
Leipheim	13.520.000	5.360.000	500	3.600	0,1
			2.000	14.600	0,3
Helmeringen	40.470.000	4.140.000	500	10.900	0,3
			2.000	43.600	1,1
Neugeschüttwörth	68.650.000	16.530.000	500	18.500	0,1
			2.000	74.000	0,5

Bei einer angenommenen Schwebstoffkonzentration von 500 g/m³ liegen die mittleren Sedimentanlandungen in einer Größenordnung von etwa 0,1 bis 0,3 cm. Bei einer Schwebstoffkonzentration von 2.000 g/m³ beträgt die Anlandung zwischen 0,3 und 1 cm. Insgesamt ist der Schwebstoffeintrag also relativ gering.

Des Weiteren wurden mit der gleichen Methodik auch die Rückhalteräume Tapfheim und Donauwörth untersucht. Diese wurden für beide Rückhalteräume für die

Raumordnungsvariante B in Verbindung mit den Rechenläufen für HQ₁₀₀ zzgl. Klimafaktor ausgewertet. Abbildung 23 und Abbildung 24 zeigen die jeweiligen Zuflussganglinien in die Rückhalteräume. Tabelle 4 enthält eine Übersicht über die Ergebnisse. Auch hier sind die Sedimentationshöhen im Vergleich zum Bezugszustand vernachlässigbar gering.

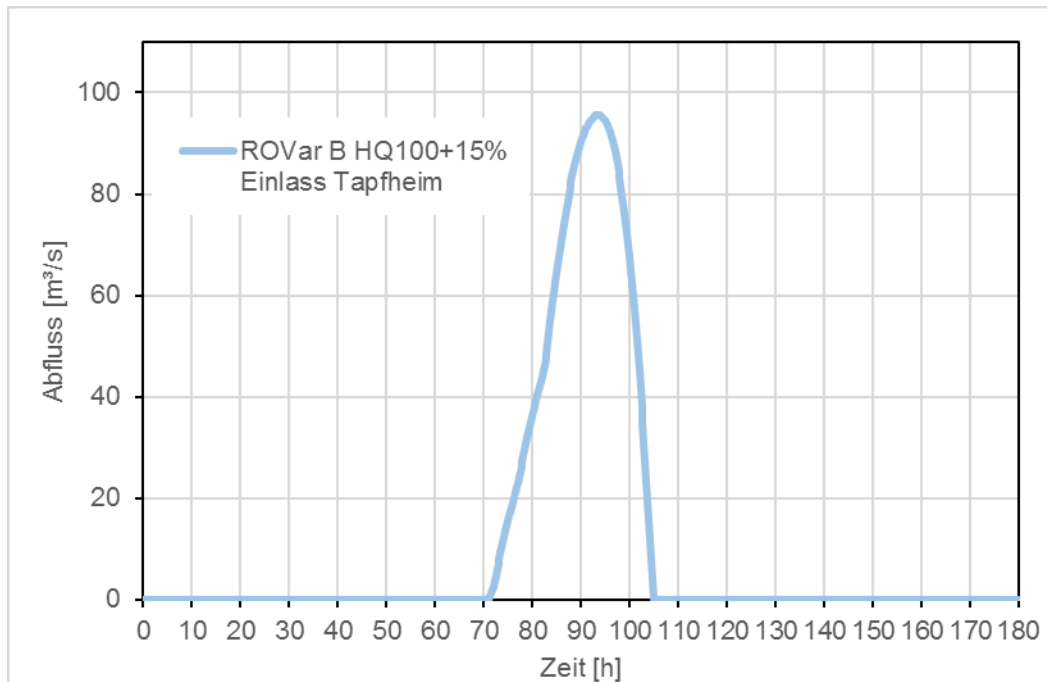


Abbildung 23: ROVar B, Rückhalteraum Tapfheim: Zufluss in den Rückhalteraum

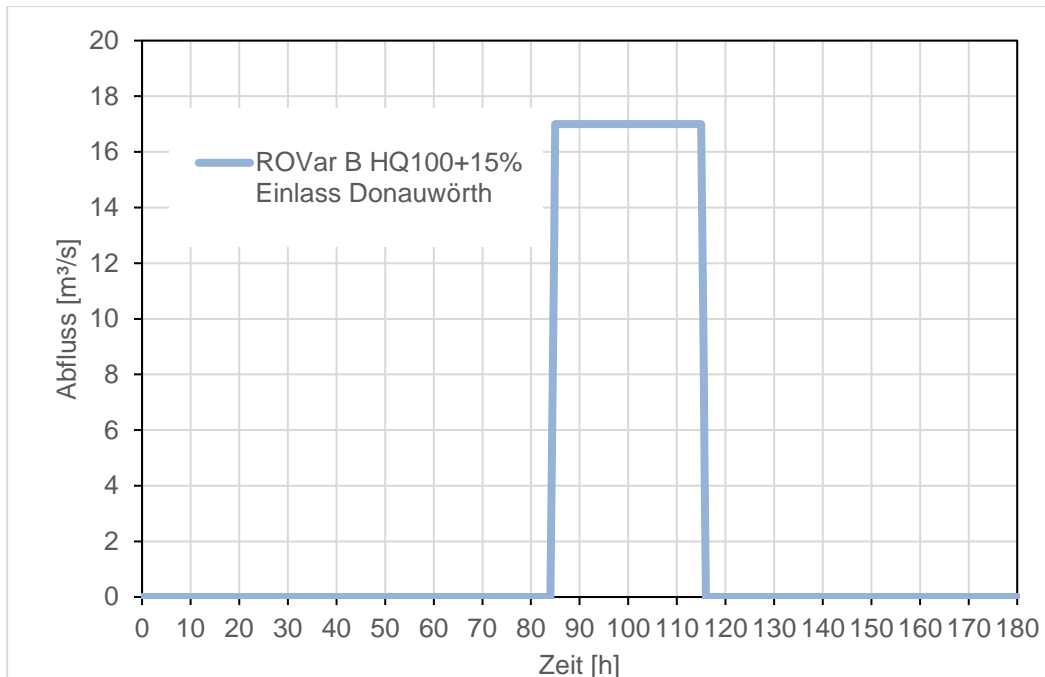


Abbildung 24: ROVar B, Rückhalteraum Donauwörth: Zufluss in den Rückhalteraum

Tabelle 4 Abschätzung des Schwebstoffeintrags in die Rückhalteräume Tapfheim und Donauwörth

Rückhalteraum	Zufluss [m³]	Fläche [m²]	Schwebstoffkonzentration [g/m³]	Schwebstoffeintrag [m³]	Mächtigkeit Ablagerung [cm]
Tapfheim ROVar B	7.695.150	2.780.000	500	2100	0,1
			2.000	8300	0,3
Donauwörth ROVar B	1.897.000	1.520.000	500	500	0,0
			2.000	2.000	0,1

4.3 Verfahren zur Abschätzung der flächigen Verteilung der sedimentierten Schwebstoffe

4.3.1 Schwebstoffeintrag im Istzustand

In Kapitel 4.1.2 wurde erläutert, dass im Istzustand zumindest ein Teil der Schwebstoffe, die mit dem Riedstrom in die Flächen der vorgesehenen Rückhalteräume gelangen, auf Grund der relativ hohen Fließgeschwindigkeiten im Riedstrom durch diese durch transportiert werden und somit nicht sedimentieren. Um diesen Anteil abzuschätzen, werden zum Zeitpunkt des maximalen Abflusses im Riedstrom die Knoten im Bereich des Rückhalterums ausgewählt, an denen die

Fließgeschwindigkeit größer ist als die Grenzgeschwindigkeit v_{gr} (siehe Kapitel 3.2). Die jeweiligen Einflussflächen dieser Knoten werden addiert. Der Massenanteil der durch den Bereich des Rückhalteraums transportierten Schwebstoffe entspricht der Summe der Einflussflächen der Knoten mit Fließgeschwindigkeiten größer v_{gr} bezogen auf die Gesamtfläche des Rückhalteraums.

4.3.2 Flächige Verteilung der Schwebstoffablagerungen

Ausgangsbasis für die Abschätzung der flächigen Verteilung der Schwebstoffablagerungen ist die Kenntnis der Masse bzw. des Volumens der Schwebstoffe, die mit dem Zufluss in den Rückhalteraum transportiert werden. Für die einzelnen Rückhalteräume wurden diese Werte bereits in Kapitel 4.2 zusammengestellt.

Zur Berechnung der flächigen Verteilung der sedimentierten Schwebstoffe wird für jeden Knoten i im Rückhalteraum ein Gewichtungsfaktor G_i eingeführt. In die Berechnung des Gewichtungsfaktors gehen folgende Größen ein:

$h_{m,i}$	mittlere Fließtiefe (am Knoten i) Je höher die Fließtiefe ist, desto größer ist die Sedimentmenge in der dem Knoten zugehörigen Wassersäule und somit das Potential zur Schwebstoffablagerung an dem Knoten.
$t_{s,i}$	Zeitspanne im Untersuchungszeitraum, in der die Grenzgeschwindigkeit v_{gr} am Knoten unterschritten wird (siehe Abbildung 25)

Abbildung 25: Zeitlicher Verlauf der Fließgeschwindigkeit

Je länger $t_{s,i}$ ist, desto größer ist das Potential zur Sedimentation an diesem Knoten. Hier wird auch berücksichtigt, dass eine Sedimentation nur stattfinden kann, wenn der Knoten benetzt ist. Nicht benetzte Knoten sind in den Ergebnisdaten der hydraulischen Berechnung mit einer Fließgeschwindigkeit $v=0$ m/s (entspricht v_{min} in Abbildung 25) gekennzeichnet.

A_i Einflussfläche (am Knoten i)
Je größer die Einflussfläche ist, desto größer ist die Sedimentmenge in der dem Knoten zugehörigen Wassersäule und damit das Potential zur Schwebstoffablagerung.

Der Gewichtungsfaktor G_i wird aus dem Produkt von $h_{m,i}$, $t_{s,i}$ und A_i berechnet.

$$G_i = t_{s,i} A_i h_{m,i}$$

Aus der Gesamtmasse der sedimentierten Schwebstoffe $M_{S,ges}$, der Gewichtung an jedem einzelnen Knoten G_i bezogen auf die Summe der Gewichtungen über alle Knoten (n ist die Menge aller Knoten) berechnet sich der Massenanteil $M_{S,i}$ der sedimentierten Schwebstoffe am Knoten i zu

$$M_{S,i} = \frac{G_i}{\sum_{i=1}^n G_i} M_{S,ges}$$

Unter Berücksichtigung der Sedimentdichte, des Porenvolumens sowie der Einflussfläche am Knoten i berechnet sich daraus die Sedimentdicke am Knoten i zu

$$h_{S,i} = \frac{M_{S,i}}{\rho_s(1-p)A_i}$$

Für die physikalischen Kenngrößen der Sedimentdichte ρ_s und dem Porenvolumen p werden für die weiteren Abschätzungen folgende Werte verwendet:

$$\rho_s = 2.650 \text{ kg/m}^3$$

$$p = 0,3$$

5 Ergebnisse der flächigen Verteilung der Schwebstoffablagerungen

Für die Sedimentationsabschätzung wurden die Ergebnisse (max. Wasserspiegel, Fließgeschwindigkeit) der Hydro_AS-2d-Rechenläufe herangezogen. Ausgewertet wurden für jeden Rückhalteraum der Bezugs- und Planungszustand für die minimale und maximale Schwebstoffkonzentration entsprechend der festgelegten Bandbreite (vgl. Kapitel 3.1). Daraus wurden die Differenzen zwischen Planungs- und Bezugszustand abgeleitet. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über die Auswertungen. Für die Rückhalteräume Leipheim, Helmeringen und Neugeschüttwörth wurden für die Raumordnungsvariante A, Rechenlauf HQ_{extrem} ausgewertet. Für die Rückhalteräume Tapfheim und Donauwörth wurde der Rechenlauf Raumordnungsvariante B, HQ zzgl. Klimafaktor ausgewertet. Da die Rückhalteräume Tapfheim und Donauwörth im Bezugszustand nicht benetzt sind, wurde folglich auch keine Auswertung des Bezugszustandes vorgenommen (siehe Bericht „Hydraulik Modelleinsatz“ Anlage 4.3).

Tabelle 5: Übersicht über die Auswertungen

Rückhalteraum	Schwebstoffkonzentration [g/m ³]	Auswertung
Leipheim HQ _{extrem}	500	ROVar A Bezugszustand Differenz ROVar A - BZ
	2.000	ROVar A Bezugszustand Differenz ROVar A - BZ
Helmeringen HQ _{extrem}	500	ROVar A Bezugszustand Differenz ROVar A - BZ
	2.000	ROVar A Bezugszustand Differenz ROVar A - BZ
Neugeschüttwörth HQ _{extrem}	500	ROVar A Bezugszustand Differenz ROVar A - BZ
	2.000	ROVar A Bezugszustand Differenz ROVar A - BZ
Tapfheim HQ ₁₀₀ zzgl. Klimafaktor	500	ROVar B
	2.000	ROVar B
Donauwörth HQ ₁₀₀ zzgl. Klimafaktor	500	ROVar B
	2.000	ROVar B

Die Ergebnisse der flächigen Verteilung der sedimentierten Schwebstoffe (Differenz Planzustand – Bezugszustand) für hohe Schwebstoffkonzentrationen (2000 g/m³) sind in den Lageplänen der Anlagen 6.1.1 - 6.1.5 dargestellt.

Nachfolgend werden exemplarisch die Ergebnisse für den Rückhalteraum Helmeringen im Detail vorgestellt. Die durch die Vorabschätzung ermittelten geringen Sedimentablagerungen bestätigen sich auch in der Detailbetrachtung. Die mittlere Sedimentationshöhe bei einer angenommenen Schwebstoffkonzentration von 2.000 g/m³ beträgt 1,1 cm. Die Differenzenbetrachtung (Abbildung 26) zeigt, dass im Planungszustand bezogen auf den Bezugszustand lediglich lokal begrenzt auf einer relativ geringen Teilfläche eine vermehrte Sedimentanlandung in einer Größenordnung von 2 bis 3 cm zu erwarten ist. Im Großteil der Fläche des Rückhalteraums beträgt die Differenz der Anlandung zwischen 1 und 2 cm bzw. weniger als 1 cm.

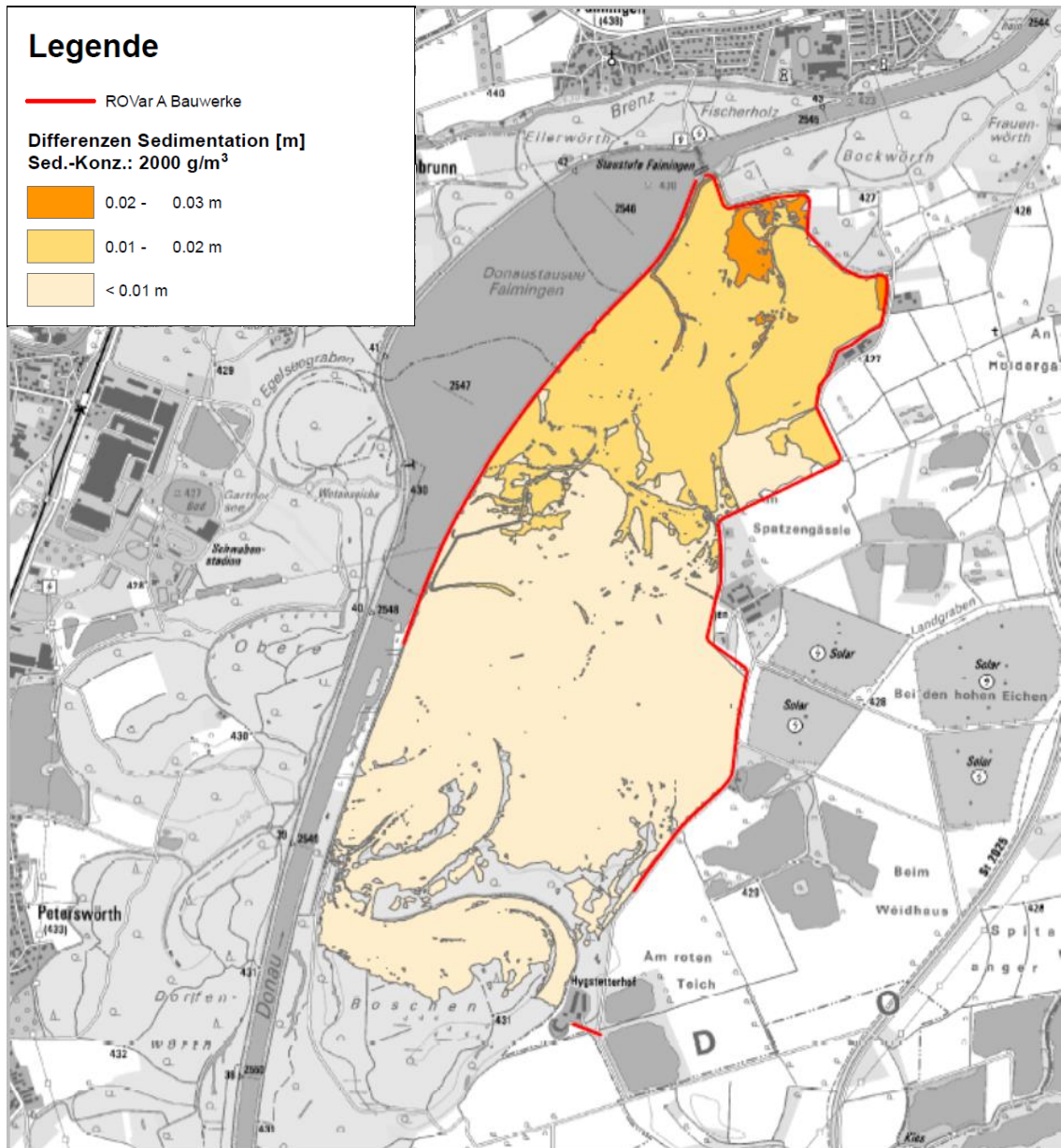


Abbildung 26: Differenzen der Sedimentation im RR Helmeringen, ROVar A - BZ
(angenommene Sedimentkonzentration 2.000 g/m³)

Die Auswertung der Untersuchungen der weiteren Rückhalteräume zeigen ein ähnliches Bild. Im betrachteten Planungszustand sind die Sedimentanlandungen tendenziell ein wenig höher als im Bezugszustand. Insgesamt bewegen sich die Sedimentationshöhen aber auf einem sehr niedrigen Niveau.

Abschließend zeigt die folgende Tabelle die Berechnungsergebnisse des Sedimenteintrags in die jeweiligen Rückhalteräume bezogen auf die Fläche der

Rückhalteräume in der Einheit kg/m², sowie zum Vergleich die Mächtigkeit der Ablagerungen in cm. Die Berechnungsergebnisse bestätigen die vorherige Abschätzung aus Tabelle 3.

Tabelle 6: Mittlere Sedimentmenge [kg/m²] und Mächtigkeit der Ablagerung [cm] in den jeweiligen Rückhalteräumen

Rückhalteraum Szenario	Schwebstoff- konzentration [g/m³]	Mittlere Sediment- menge [kg/m²]	Mächtigkeit Ablagerung [cm]
Leipheim	500	0,9	0,1
BZ, HQ _{extrem}	2.000	3,8	0,2
Helmeringen	500	4,2	0,2
BZ, HQ _{extrem}	2.000	16,8	0,9
Neugeschüttwörth	500	1,7	0,1
BZ, HQ _{extrem}	2.000	6,9	0,4
Leipheim	500	1,3	0,1
ROVar A, HQ _{extrem}	2.000	5,1	0,3
Helmeringen	500	5,0	0,3
ROVar A, HQ _{extrem}	2.000	20,2	1,1
Neugeschüttwörth	500	2,2	0,1
ROVar A, HQ _{extrem}	2.000	8,7	0,5
Tapfheim	500	1,1	0,1
ROVar B, HQ ₁₀₀ zzgl.	2.000	4,3	0,2
Klimafaktor			
Donauwörth	500	0,3	0,0
ROVar B, HQ ₁₀₀ zzgl.	2.000	1,2	0,2
Klimafaktor			

Verwendete Unterlagen:

- [1] Österreichisches Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Schwebstoffe in Fließgewässern – Leitfaden zur Erfassung des Schwebstofftransports, 2008.
- [2] Bayerisches Landesamt für Umwelt: Markblatt Nr. 2.4/2 Schwebstoffmessung, 2012.
- [3] Universität der Bundeswehr, Institut für Wasserwesen: SUMAD, Morphologische Untersuchungen der Donaustrecke von der Staustufe Vohburg bis zur Donaubrücke der B299 in Neustadt a. d. Donau – Schlussbericht, 2005

Abbildungsverzeichnis:

- Abbildung 1: Kontinuierliche Schwebstoffmessungen an der Messstelle Bad Held (Neu-Ulm)
- Abbildung 2: Kontinuierliche Schwebstoffmessungen an der Messstelle Bad Held, ergänzt durch Einzelwerte
- Abbildung 3: Kontinuierliche Schwebstoffmessungen an der Messstelle Donauwörth
- Abbildung 4: Kontinuierliche Schwebstoffmessungen an der Messstelle Ingolstadt
- Abbildung 5: Schwebstoffkonzentration an den Messstellen Bad Held, Donauwörth und Ingolstadt im Juli 2017
- Abbildung 6: Massensummenlinien der transportierten Schwebstoffe im Juli 2017
- Abbildung 7: Schwebstoffkonzentration in Abhängigkeit des Abflusses an den Messstellen Bad Held, Donauwörth und Ingolstadt
- Abbildung 8: Schwebstoffmessungen an der Messstelle Kempten/Iller
- Abbildung 9: Schwebstoffkonzentration in Abhängigkeit des Abflusses an der Messstelle Kempten/Iller
- Abbildung 10: Schwebstoffkonzentration in Abhängigkeit des Abflusses an der Messstelle Donauwörth mit Regressionskurven
- Abbildung 11: Verteilung der Schwebstoffkonzentration über den Querschnitt, beispielhaft [1]
- Abbildung 12: Korngrößenverteilungen des Schwebstoffes der Donau, aus [3]
- Abbildung 13: Rückhalteraum Leipheim: Fließgeschwindigkeiten bei a) maximalem Zufluss, b) maximalem Wasserspiegel, c) maximalem Abfluss
- Abbildung 14: Rückhalteraum Helmeringen: Fließgeschwindigkeiten bei a) maximalem Zufluss, b) maximalem Wasserspiegel, c) maximalem Abfluss
- Abbildung 15: Rückhalteraum Neugeschüttwörth: Fließgeschwindigkeiten bei verschiedenen Abflusszuständen
- Abbildung 16: Rückhalteraum Helmeringen: Wasserstand an einem Pegel im Bezugs- und Planungszustand

- Abbildung 17: Rückhalteraum Tapfheim: Fließgeschwindigkeiten bei verschiedenen Abflusszuständen
- Abbildung 18: Rückhalteraum Donauwörth: Fließgeschwindigkeiten bei verschiedenen Abflusszuständen
- Abbildung 19: Bereich Rückhalteraum Neugeschüttwörth, Bezugszustand: Fließgeschwindigkeiten bei maximalem Abfluss im Riedstrom (HQ_{extrem})
- Abbildung 20: ROVar A, Rückhalteraum Leipheim: Zufluss in den Rückhalteraum
- Abbildung 21: ROVar A, Rückhalteraum Helmeringen: Zufluss in den Rückhalteraum
- Abbildung 22: ROVar A, Rückhalteraum Neugeschüttwörth: Zufluss in den Rückhalteraum
- Abbildung 23: ROVar B, Rückhalteraum Tapfheim: Zufluss in den Rückhalteraum
- Abbildung 24: ROVar B, Rückhalteraum Donauwörth: Zufluss in den Rückhalteraum
- Abbildung 25: Zeitlicher Verlauf der Fließgeschwindigkeit
- Abbildung 26: Differenzen Sedimentation für das RR Helmeringen, ROVar A - BZ (angenommene Sedimentkonzentration 2.000 g/m^3)

Tabellenverzeichnis:

- Tabelle 1: Übersicht Schwebstoffmessungen
- Tabelle 2: Ermittlung des mittleren Korndurchmessers aus der Kornverteilung der Probe vom 26.08.1975
- Tabelle 3: Raumordnungsvariante A, HQ_{extrem} : Abschätzung des Schwebstoffeintrags in die Rückhalteräume Leipheim, Helmeringen und Neugeschüttwörth
- Tabelle 4: Abschätzung des Schwebstoffeintrags in die Rückhalteräume Tapfheim und Donauwörth
- Tabelle 5: Übersicht über die Auswertungen
- Tabelle 6: Mittlere Sedimentmenge [kg/m^2] und Mächtigkeit der Ablagerung [cm] in den jeweiligen Rückhalteräumen