

Unterlage 05.07 – Sedimentationsbetrachtung

Unterlage 05.07.01 – Erläuterungsbericht zur Sedimentation

Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung	1
2	Vorbemerkungen zum Geschiebe- und Sedimenttransport	1
2.1	Geschiebetransport	1
2.2	Sedimentation	2
3	Datengrundlagen und Messwerte	2
3.1	Schwebstoffkonzentration und Nährstoffmenge	2
3.2	Sediment- und Bodenproben	6
3.3	Nährstoffeintrag über den Luftpfad.....	6
3.4	Kornverteilung – mittlerer Korndurchmesser	7
4	Sedimentationsbetrachtung	8
4.1	Datengrundlage	8
4.2	Voraussetzungen für Sedimentation	9
4.3	Methodik.....	9
4.4	Eingangsdaten	10
4.5	Untersuchte Hochwasserwellen und Schwebstoffkonzentrationen.....	10
4.6	Auswertung	11
5	Betrachtung der Fließgeschwindigkeiten im Flutpolder	11
6	Betrachtung der Nährstoffeinträge	13
7	Zusammenfassung	14
8	Literatur- und Quellenverzeichnis	15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Messwerte über 1.400 m ³ /s an der Messstelle Deggendorf, Messreihe 1984 bis 2019.....	4
Tabelle 2:	Messwerte der Fließgewässer-Monitoringmessstelle bei ca. Donau-km 2285,600 in Deggendorf.....	5
Tabelle 3:	Messwerte (maximal) an der Oberauer Schleife bei ca. Donau-km 2332,650	5
Tabelle 4:	Ergebnisse von Sediment- und Bodenproben	6
Tabelle 5:	Nährstoffeinträge im Freiland in verschiedenen Gebieten Deutschlands aus [4].....	6
Tabelle 6:	Bestimmung des mittleren Korndurchmessers	8

Tabelle 7:	Eingangsdaten zur Sedimentationsabschätzung.....	10
Tabelle 8:	Vergleich Nährstoffeintrag bei Flutpolderbetrieb und über den Luftpfad auf den Wiesenflächen.....	13

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Lage und Höhe des geplanten Einlaufbauwerks	2
Abbildung 2:	Abfluss und abfiltrierbare Stoffe an der Messstelle Deggendorf, Messreihe 1984 bis 2019	3
Abbildung 3:	Korngrößenverteilungen des Schwebstoffes der Donau (Quelle: Universität der Bundeswehr, SUMAD - Morphologische Untersuchungen, 2005).....	7
Abbildung 4:	Diagramm nach Hjulström	9
Abbildung 5:	Bestand im Bereich des geplanten Einlaufbauwerks	12

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Sedimentation (140 mg/l) PLAN - Zustand HQ200 (HW 2011) ohne Deichbruch
Anlage 2	Sedimentation (730 mg/l) PLAN - Zustand HQ200 (HW 1988) ohne Deichbruch
Anlage 3	Sedimentation (80 mg/l) PLAN - Zustand HQreal (HW 2013) ohne Deichbruch
Anlage 4	Sedimentation (140 mg/l) mit Biotopkartierung PLAN - Zustand HQ200 (HW 2011) ohne Deichbruch
Anlage 5	maximale Fließgeschwindigkeiten PLAN - Zustand HQ200 (HW 2011) ohne Deichbruch
Anlage 6	Fließgeschwindigkeiten bis 0,5 m/s PLAN - Zustand HQ200 (HW 2011) ohne Deich- bruch

1 Veranlassung

Die folgende Unterlage beinhaltet die Themen Sedimentation und Eintrag von Nährstoffen bei Einsatz der geplanten Hochwasserrückhaltung Oberauer Schleife. Sie dient als Grundlage für die Bewertung und Beschreibung der Auswirkungen für das Schutzgut Wasser im Rahmen des Landschaftspflegerischen Begleitplans und umfasst auch Aussagen für die Bewirtschaftung der hochwertigen Wiesenflächen innerhalb des Flutpolders (Sedimentmengen).

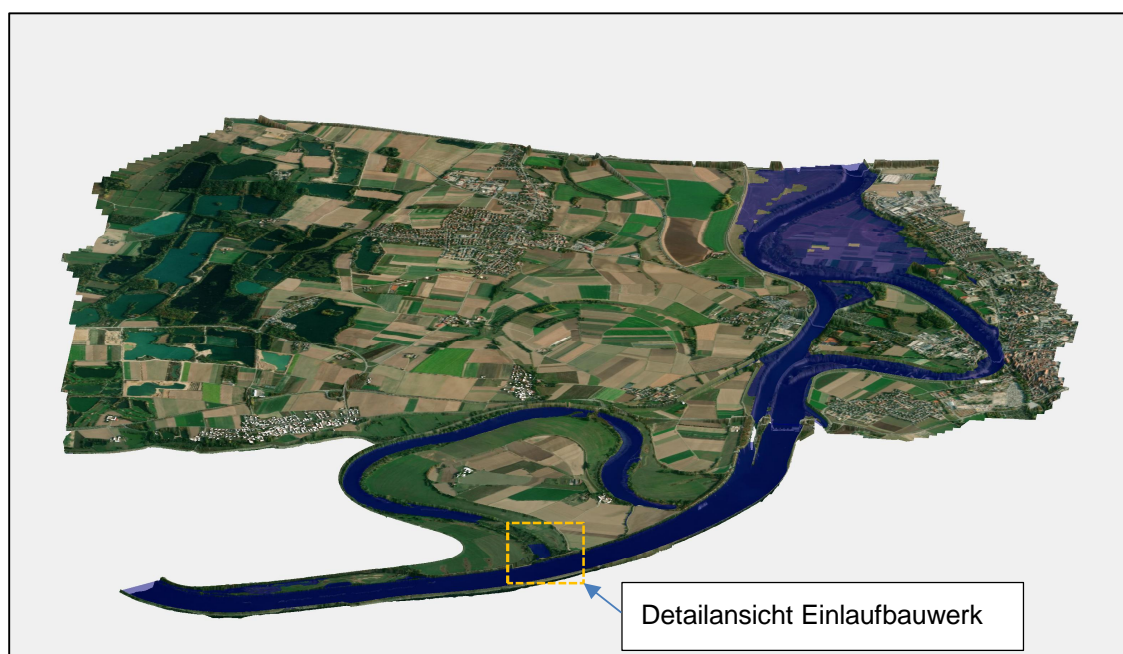
Das Verfahren zur Bestimmung der Sedimentationsmengen aus dem Raumordnungsverfahren (ROV) wird auch für die Untersuchungen im Zuge der Sedimentationsbetrachtung verwendet. Die Vorgehensweise wurde mit Stellungnahme LfU-63 vom Oktober 2018 bestätigt.

Weiterhin sind die in der Schwebstoffkonzentration enthaltenen Nährstoffmengen (z. B. anhand von Nitrat), die während der Hochwasserereignisse und bei der Frühjahrsflutung gemessen wurden, für die Beurteilung der Nährstoffeinträge bei Einsatz der geplanten Hochwasserrückhaltung heranzuziehen. Zusätzlich ist der Vergleich des Nährstoffeintrags bei Flutpolderbetrieb mit dem Nährstoffeintrag über den Luftpfad zu führen.

2 Vorbemerkungen zum Geschiebe- und Sedimenttransport

2.1 Geschiebetransport

Im künftigen Flutpolder Oberauer Schleife wird der Geschiebetransport keine Rolle spielen. Der Geschiebetrieb in den Flüssen mit geringem bis mittlerem Gefälle, wie der Donau, findet sohnah statt. Die Wehrschwelle des geplanten Einlaufbauwerks liegt hingegen ca. 5 Meter über der Sohle der Donau (siehe Abbildung 1). Falls Grobsand und Kies in den Flutpolder eingetragen werden, lagern sich diese Kornfraktionen direkt nach dem Einlaufbauwerk ab, da die Strömungsgeschwindigkeit und damit das Transportvermögen in diesem Bereich aufgrund des Tosbeckens und des anschließenden Absetzbeckens stark nachlassen.



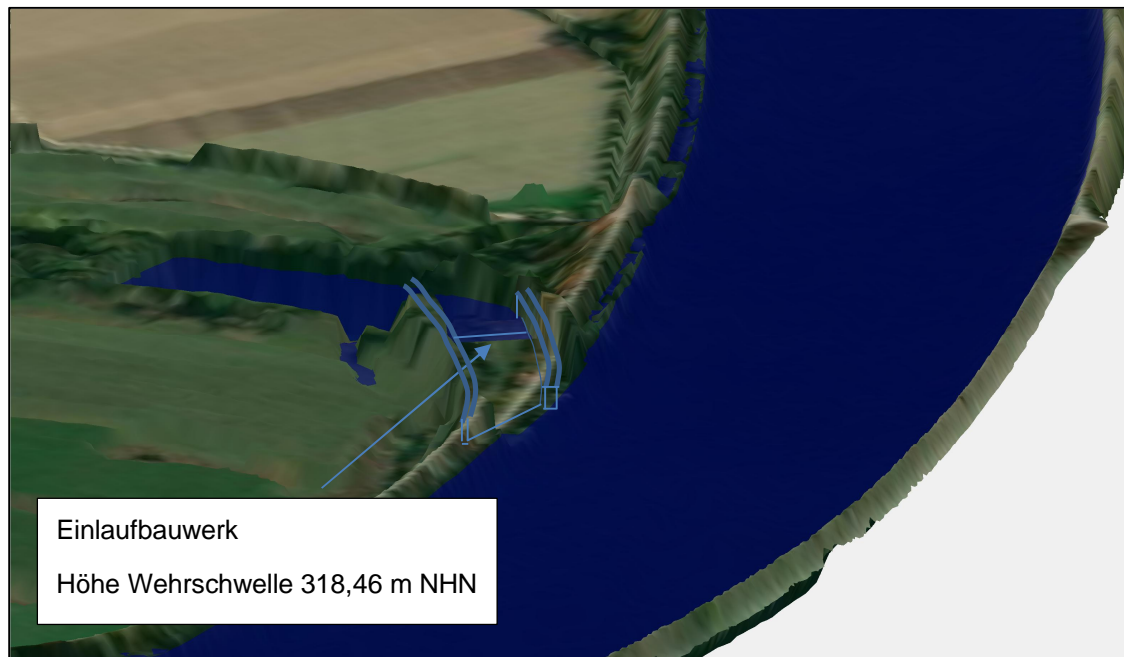


Abbildung 1: Lage und Höhe des geplanten Einlaufbauwerks

2.2 Sedimentation

Als fluviatile Sedimente werden in den Geowissenschaften von einem Fließgewässer mitgeführtes zerkleinertes Gestein bezeichnet. Diese Gesteine bzw. Schwebstoffe werden bei Starkniederschlägen durch Erosion von Böden aus dem Einzugsgebiet in die Gewässer eingetragen.

Gelöste und feste Stoffe werden mit dem Hochwasserabfluss in den Flutpolder transportiert und können dort für einige Zeit zurückgehalten werden. Diese gelösten und festen Stoffe setzen sich im Flutpolder ab, je länger die Verweilzeiten sind. Bei der Entleerung des Flutpolders können die abgesetzten Sedimente wieder mobilisiert bzw. aus dem Flutpolder transportiert werden.

3 Datengrundlagen und Messwerte

3.1 Schwebstoffkonzentration und Nährstoffmenge

Die zum Projektgebiet nächst gelegene Schwebstoffmessstelle an der Donau befindet sich bei Donau-km 2249,5 in Vilshofen. Der hier bisher gemessene Maximalwert der Schwebstoff-Konzentration beträgt 600 mg/l.

Darüber hinaus betreibt das Wasserwirtschaftsamt Deggendorf eine Fließgewässer-Monitoringmessstelle bei ca. Donau-km 2285,6 in Deggendorf. Auf der ca. 50 km langen Gewässerstrecke zwischen dem Projektgebiet und der Monitoringmessstelle münden keine größeren Gewässer in die Donau ein.

Der mit Abstand höchste gemessene Wert der Schwebstoffkonzentration (abfiltrierbare Stoffe) in der Messreihe von 1984 bis 2019 trat mit 730 mg/l beim Pflingsthochwasser 1999 auf. Beim Hochwasser 2013 wurde eine Schwebstoffkonzentration von 80 mg/l bestimmt. Die genannte Messreihe ist in nachstehender Abbildung dargestellt.

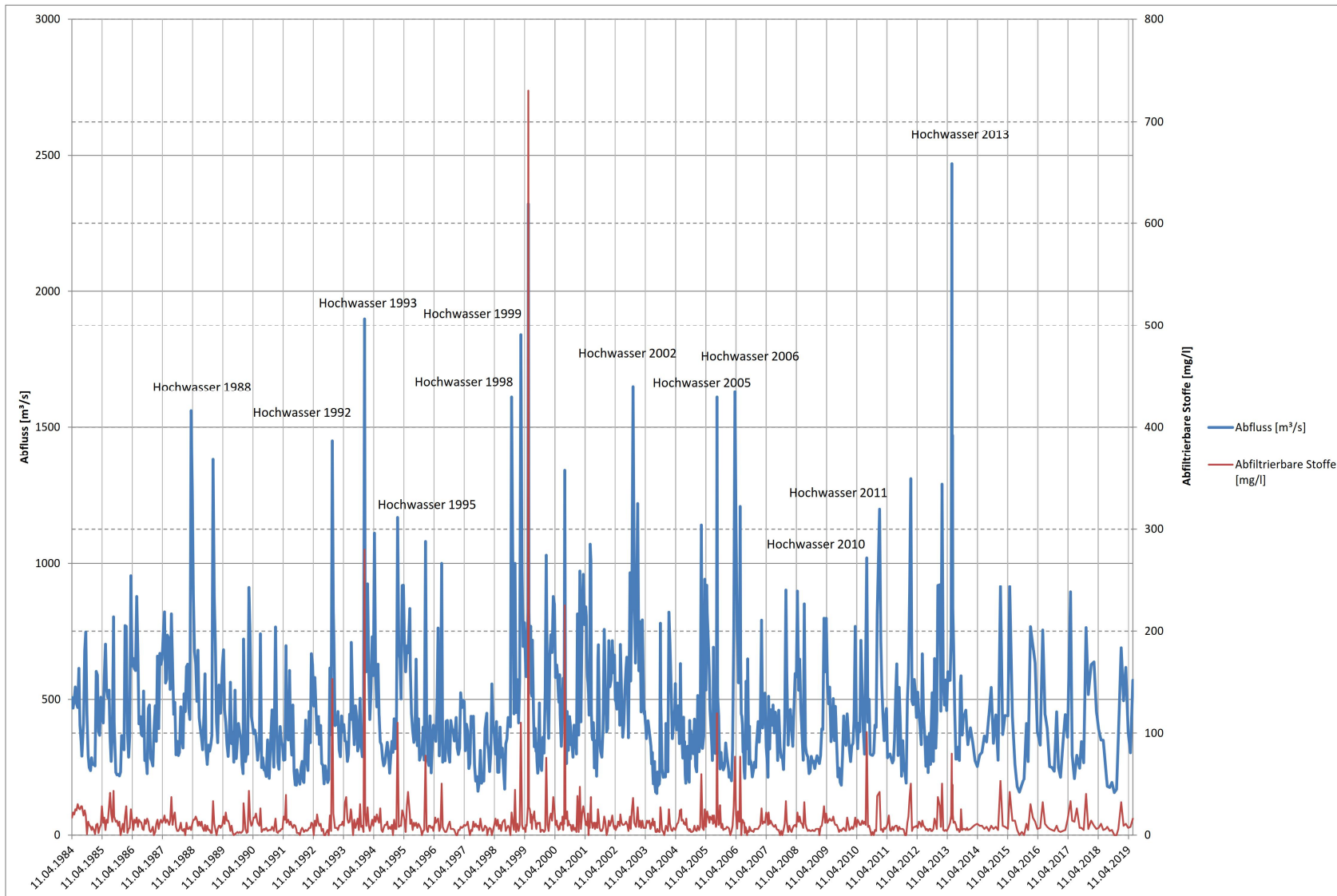


Abbildung 2: Abfluss und abfiltrierbare Stoffe an der Messstelle Deggendorf, Messreihe 1984 bis 2019

Der Mittelwert der Schwebstoffkonzentration liegt über die gesamte Zeitreihe bei ca. 14 mg/l.

Der Mittelwert der Schwebstoffkonzentration bei Hochwasser wurde ab Abflüssen von 1.400 m³/s (HQ 1) zu ca. 140 mg/l bestimmt, siehe Tabelle 1. Für die Mittelwertbildung wurden sämtliche Hochwasserereignisse der Messreihe von 1984 bis 2019, die über dem angegebenen Abfluss liegen, herangezogen. Da bei den in Tabelle 1 angegebenen Schwebstoffkonzentrationen (abfiltrierbare Stoffe) alle Messwerte, sowohl minimale als auch maximale Werte berücksichtigt wurden, ist die Mittelwertbildung als geeignet einzuschätzen.

Tabelle 1: Messwerte über 1.400 m³/s an der Messstelle Deggendorf, Messreihe 1984 bis 2019

Hochwasserereignis	Abfluss in m ³ /s	Abfiltrierbare Stoffe in mg/l
23.03.1988	1560	5
25.11.1992	1450	153
22.12.1993	1900	280
04.11.1998	1610	22
24.02.1999	1840	110
25.05.1999	2320	730
13.11.2002	1650	36
25.08.2005	1610	120
29.03.2006	1630	77
03.06.2013	2060	80
06.06.2013	2470	56
12.06.2013	1470	49
	Mittelwert	143

Aus Abbildung 2 geht zudem hervor, dass kein eindeutiger Bezug zwischen dem Abflussereignis (Höhe des Abflusses) und der Konzentration des jeweiligen Untersuchungsparameters hergeleitet werden kann. Der beim Hochwasser 1999 festgestellte Extremwert von 730 mg/l bei den abfiltrierbaren Stoffen erweist sich als absoluter Ausnahmewert innerhalb der 35 Jahre fortwährenden Messreihe.

In Tabelle 2 sind die Messwerte an der Monitoringmessstelle in Deggendorf getrennt nach der Schwebstoffkonzentration (abfiltrierbare Stoffe) und den im Wasser enthaltenen Nährstoffanteilen (Nitrat, Ammonium und Phosphor) aufgeführt.

Tabelle 2: Messwerte der Fließgewässer-Monitoringmessstelle bei ca. Donau-km 2285,600 in Deggendorf

Hochwasserereignis	Abfiltrierbare Stoffe	Nitrat (NO ₃ -N)	Ammonium (NH ₄ -N)	Phosphor- gesamt (P-ges.)	Ortho-Phosphat (PO ₄ -P)
HW 25.09.1999 (ca. 2300 m ³ /s)	730	1,9	0,22	0,36	0,014
HW 12.01.2011 (ca. 1200 m ³ /s)	42	4,4	0,12	0,23	0,077
HW 03.06.2013 (ca. 2100 m ³ /s)	80	3,2	0,09	0,24	0,064
2014 (Maximalwert)	11	3,3	0,15	0,12	0,083
2015 (Maximalwert)	53	3,5	0,14	0,19	0,065
2016 (Maximalwert)	32	3,7	0,10	0,14	0,068
2017 (Maximalwert)	40	3,7	0,18	0,12	0,061
2018 (Maximalwert)	14	3,8	0,12	0,09	0,059
2019 (Maximalwert)	32	4,6	0,11	0,11	0,059

Die Nährstoffparameter liegen nach Tabelle 2 zumeist in ähnlicher Größenordnung vor, unabhängig von der Höhe des Abflusses oder der Schwebstoffkonzentration.

Weiterhin wurde seitens des Wasserwirtschaftsamtes Deggendorf während der Frühjahrsflutung an der Oberauer Schleife das übergeleitete Wasser an der jetzigen Heberanlage beprobt. Messwerte liegen hier für die Jahre 2011 und 2019 vor, ebenso für das Hochwasser 2019, siehe Tabelle 3.

Auch hier liegen die Nährstoffparameter zumeist in ähnlicher Größenordnung, unabhängig von Hochwasser in der Donau oder Frühjahrsflutung in der Oberauer Schleife.

Tabelle 3: Messwerte (maximal) an der Oberauer Schleife bei ca. Donau-km 2332,650

Hochwasserereignis	Abfiltrierbare Stoffe	Nitrat (NO ₃ -N)	Ammonium (NH ₄ -N)	Phosphor- gesamt (P-ges.)	Ortho-Phosphat (PO ₄ -P)
Frühjahrsflutung 2011					
16.02. bis 08.04.	10	4,3	0,10	0,10	0,050
Frühjahrsflutung 2019					
04.02. (vor Flutung)	4	4,0	0,11	0,06	0,038
26.02. (während)	5	4,2	0,07	0,05	0,019
14.03. (während)	7	2,8	0,05	0,06	0,026
03.04. (Ende Flutung)	4	3,2	0,03	0,04	0,021

Hochwasserereignis	Abfiltrierbare Stoffe	Nitrat (NO ₃ -N)	Ammonium (NH ₄ -N)	Phosphor- gesamt (P-ges.)	Ortho-Phosphat (PO ₄ -P)
Hochwasser 2019					
23.05.2019 ca. HQ1 (Maximal- wert Donau)	110	1,6	0,10	0,15	0,029

3.2 Sediment- und Bodenproben

Im Jahr 2012 wurden Sedimentproben vom Wasserwirtschaftsamt Deggendorf in der Donau im Bereich der bestehenden Heberanlage und auf den Wiesen der Oberauer Schleife entnommen. Während des Hochwassers 2013 ergab sich wiederum die Möglichkeit eine repräsentative Sedimentprobe aus dem Uferbereich der Donau im Bereich der Oberauer Schleife zu entnehmen, s. Tabelle 4.

Tabelle 4: Ergebnisse von Sediment- und Bodenproben

Entnahmestelle		Sediment - Alt- wasser Pittrich 2012	Donau - Bereich Heberanlage 2012	Wiese - Bereich Flutpolder 2012	Donau - Bereich Oberau HW 2013
Stickstoff-gesamt	mg/kg	600	4300	3300	2700
Phosphor-gesamt	mg/kg	370	1600	860	1060

3.3 Nährstoffeintrag über den Luftpfad

Ein atmosphärischer Eintrag (Deposition) von Nährstoffen (vor allem Stickstoff) und deren Anreicherung in Land-Ökosystemen ist Folge menschlicher Aktivitäten, wie Landwirtschaft oder Verbrennungsprozesse, die mit hohen Emissionen von chemisch und biologisch wirksamen (reaktiven) Stickstoffverbindungen in die Luft verbunden sind.

Nach [4] betragen die durchschnittlichen Stickstoffeinträge in Deutschland etwa 28 kg ha⁻¹ a⁻¹, siehe Tabelle 5. Dabei entfallen jeweils ca. 50 % auf Nitrat (NO₃-N) und Ammonium (NH₄-N). Die Variationsbreite reicht von 5 bis 132 kg ha⁻¹ a⁻¹. Höhere Einträge von mehr als 100 kg ha⁻¹ a⁻¹ treten beim Stickstoff vor allem in Gebieten mit hohem Viehbesatz und dementsprechend hohen Stickstoff-Emissionen auf, beim Schwefel in der Nähe von Ballungs- und Industriegebieten.

In Waldgebieten beträgt die Stoffdeposition infolge der Filterwirkung der Bäume, vor allem bei Koniferen mit ganzjähriger Benadelung, oft das 2–3-fache des Freilandeintrages.

Tabelle 5: Nährstoffeinträge im Freiland in verschiedenen Gebieten Deutschlands aus [4]

Stoffeinträge in kg ha ⁻¹ a ⁻¹	Stickstoff (NO ₃ -N + NH ₄ -N)	Ortho-Phosphat (PO ₄ -P)	Schwefel als Sulfat
Mittelwert	28	0,35	11
Schwankungsbereich	5 ... 132	0,05 ... 1,20	2 ... 50

3.4 Kornverteilung – mittlerer Korndurchmesser

An der Monitoringmessstelle des Wasserwirtschaftsamtes Deggendorf liegen keine Korngrößenverteilungen für die Schwebstofffracht vor. Für die Donau einschlägige Korngrößenverteilungen konnten aber aus Proben, die im Rahmen des Projekts SUMAD (Universität der Bundeswehr, 2005) an der Messstelle des Wasserwirtschaftsamtes Ingolstadt erhoben wurden, bezogen werden. An der dortigen Messstelle waren sogar Daten zu verschiedenen Hochwasserereignissen verfügbar.

Abbildung 3 zeigt diese Korngrößenverteilungen. Für die Sedimentationsbetrachtungen wird der mittlere Korndurchmesser verwendet, so dass eine geringfügig abweichende Form der Korngrößenverteilung am Standort des Projektgebiets nicht ergebnisrelevant wäre.

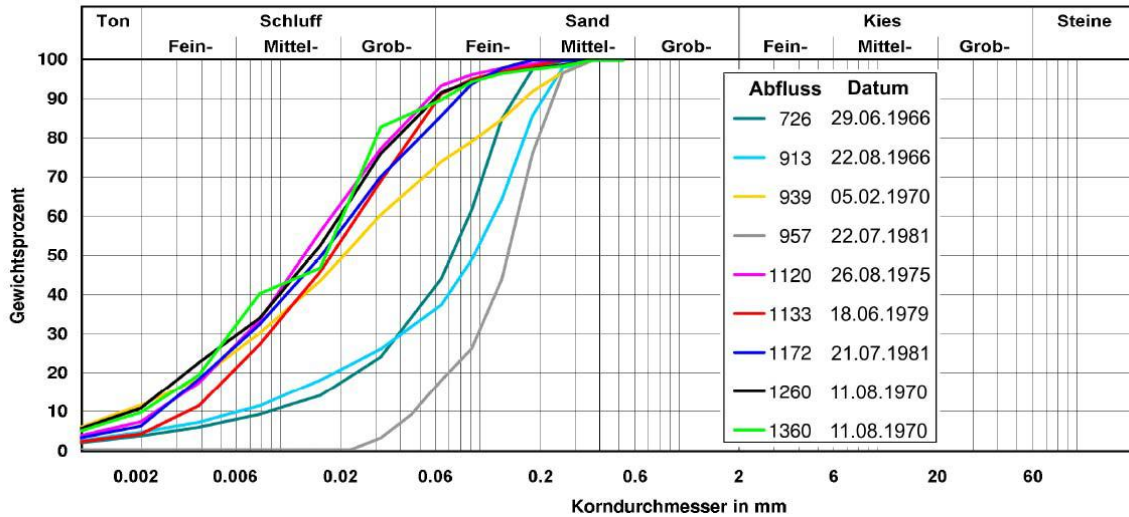


Abbildung 3: Korngrößenverteilungen des Schwebstoffes der Donau (Quelle: Universität der Bundeswehr, SUMAD - Morphologische Untersuchungen, 2005)

Die Kornverteilungslinien zu den größeren Abflüssen, ab etwa 1.000 m³/s liegen alle in einer sehr engen Bandbreite und enthalten zu etwa 80 % Schluffanteile. Der Sandanteil liegt bei 10 bis 20 %. Größere Kornfraktionen sind im Schwebstoff nicht vorhanden. Zur Ermittlung des mittleren Korndurchmessers wurde die Kornverteilung der Probe vom 26.08.1975 gewählt.

Die Berechnung des mittleren Korndurchmessers erfolgt nach Müller durch die Addition der Produkte der Anteile der einzelnen Kornfraktionen mit den entsprechenden Korndurchmessern.

Tabelle 6: Bestimmung des mittleren Korndurchmessers

d	Siebdurchgang	Anteil Kornfraktionen	$d_i \cdot f_i$
[mm]	[Gew. - %]	[Gew. - %]	
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
		100,0	0,0278

Berechnung mittlerer Korndurchmesser: $d_m = \sum d_i \cdot f_i$ (nach Müller, 1943)

4 Sedimentationsbetrachtung

4.1 Datengrundlage

Wichtigste Datengrundlage für die Sedimentationsbetrachtung sind die Ergebnisse aus der 2D instationären Strömungsberechnung (Hydro_AS-2D), insbesondere Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten an den jeweiligen Berechnungsknoten im Flutpolder und über die gesamte Zeitdauer des Flutpolderreinsatzes (Einstaudauer). Aus der 2d-Hydraulik wurden darüber hinaus folgende Datensätze verwendet:

- Verteilung der Materialbelegung (Strickler.dat),
- Grundfläche, die jedem Netzknoten zugeordnet ist (Volumen.dat).

Weitere Grundlagen sind die Schwebstoffkonzentration und die Kornverteilung des Schwebstoffes, siehe Kapitel 3.

4.2 Voraussetzungen für Sedimentation

Schwebstoff kann nur sedimentieren, wenn die Fließgeschwindigkeiten und Sohlschubspannungen entsprechend gering sind. Bei einem mittlerem Korndurchmesser von 0,0278 mm gemäß Kapitel 3.4 setzt nach Hjulström Sedimentation erst ein, wenn die Fließgeschwindigkeit weniger als 0,002 m/s bzw. 0,2 cm/s beträgt.

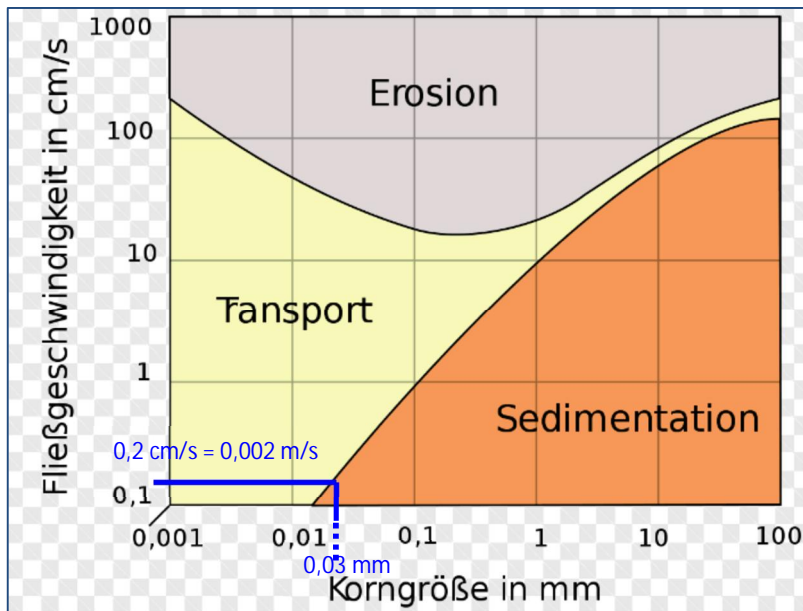


Abbildung 4: Diagramm nach Hjulström

Eine Erosion von Material wird nicht betrachtet. Ein Sedimenttransport innerhalb des Flutpolders wird nicht berücksichtigt. Da die Fließgeschwindigkeiten innerhalb des Flutpolders während der Füllung und Entleerung größtenteils sehr gering sind, ist der Sedimenttransport innerhalb des Flutpolders für eine Abschätzung der maximalen Ablagerungsmasse nicht relevant. Im Hinblick auf die Aufkonzentrierung von Schwebstoff und den darin enthaltenen Nährstoffen liegt dieses Vorgehen auf der sicheren Seite.

Die Berechnung der Sedimentationsvorgänge erfolgt im Bereich des Flutpolders auf dem Berechnungsnetz der 2d-Hydraulik. Sedimenthaltiges Wasser wird an jedem Berechnungsknoten im Projektgebiet mit steigendem Wasserstand zugegeben. Mit fallendem Wasserstand wird an jedem Berechnungsknoten das Wasser mit dem noch verbleibenden Sedimentgehalt wieder abgezogen.

4.3 Methodik

Die Sedimentation wurde aus den Ergebnissen der 2D-Hydraulik an jedem Knoten des Berechnungsnetzes und für jeden Zeitschritt mit Hilfe eines Programms nach den folgenden Ansätzen berechnet:

$$p = 1 - \frac{\tau_b}{\tau_{cr}} \quad \text{Wahrscheinlichkeit, dass eine Ablagerung stattfindet}$$

$$\tau_b = \rho \cdot g \cdot \frac{1}{h^3} \cdot \frac{v^2}{k_{st}^2} \quad [\text{N/m}^2] \quad \text{vorhandene Sohlschubspannung}$$

$$w_{st} = \frac{d_m^2 g (\rho_s - \rho_w)}{18 \vartheta \rho_w} \quad [\text{m/s}] \quad \text{Sinkgeschwindigkeit nach Stockes}$$

$$s = p \cdot w_{st} \cdot K \quad [\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})] \quad \text{Sedimentationsrate}$$

Die Ergebnisse aller Zeitschritte werden schließlich aufsummiert und die Sedimentationsmenge in kg/m² bestimmt. Die zeitschrittweise Betrachtung liefert detaillierte Ergebnisse, da hierdurch zeitlich unterschiedlich auftretende Schubspannungen berücksichtigt werden, in deren Folge auch die Wahrscheinlichkeit, ob in einem Zeitschritt überhaupt eine Ablagerung stattfindet, ermittelt wird.

4.4 Eingangsdaten

Die Eingangsdaten für die Abschätzung der Sedimentationsrate sind in nachfolgender Tabelle aufgelistet.

Tabelle 7: Eingangsdaten zur Sedimentationsabschätzung

Beschreibung	Kennzeichen	Wert
kritische Sohlschubspannung	τ_{cr}	1 N/m ²
Dichte der Partikel	ρ_s	2680 kg/m ³
Dichte Wasser	ρ_w	1000 kg/m ³
Wasserviskosität	ϑ	0,0010019 kg/(m·s)
Mittlerer Korndurchmesser	d_m	0,0000278 m
Schwebstoffkonzentration	K	siehe Kapitel 4.5

4.5 Untersuchte Hochwasserwellen und Schwebstoffkonzentrationen

Als zu untersuchende Hochwasserwellen werden die Ereignisse HQ200 mit der längsten Einstaudauer für die donaubetonte Welle auf Basis Hochwasser 2011, die breite Welle auf Basis Hochwasser 1988 und das reale Ereignis von 2013 herangezogen.

Den Hochwasserwellen werden folgende Schwebstoffkonzentrationen zu Grunde gelegt:

- HQ200 (HW2011) mit einer mittleren Schwebstoffkonzentration von 140 mg/l (typisches Extremhochwasser der Donau mit mittlerer Fülle und mittlerer Schwebstoffkonzentration)
- HQ200 (HW1988) mit dem Extremwert der Schwebstoffkonzentration von 730 mg/l (Extremfall mit langer Einstaudauer / großer Fülle und Extremwert der Schwebstoffmessung)
- HW2013 mit der im Jahr 2013 gemessenen Schwebstoffkonzentration von 80 mg/l (Nachrechnung Realereignis)

Der Mittelwert der bei Hochwasser der Donau ab einem Abfluss von 1.400 m³/s (HQ1) gemessenen Schwebstoffkonzentrationen liegt hingegen bei ca. 140 mg/l. Das Hochwasserereignis HQ200 (HW2011) entspricht einem Extremhochwasser mit „mittlerer“ Fülle. Die Kombination dieses Ereignisses mit dem Mittelwert der Schwebstoffkonzentration von 140 mg/l kann als Einschätzung typischer Verhältnisse im Überlastfall betrachtet werden.

Der im Raumordnungsverfahren (ROV) verwendete Maximalwert der Schwebstoffkonzentration von 730 mg/l aus dem Jahr 1999 ist als absoluter Ausnahmewert zu betrachten. In den letzten Jahren betrug die Konzentration abfiltrierbarer Stoffe nur 10 bis 80 mg/l, s. Tabelle 2.

Aufgrund der Erkenntnisse aus den letzten Hochwasserereignissen, insbesondere der Hochwasser 2002, 2005, 2006 und 2013 sind wesentliche Änderungen bei der bisherigen Beurteilung der zu verwendenden Schwebstoffkonzentrationen veranlasst. Insbesondere ist das im ROV betrachtete, „worst-

case-Szenarium“, das eine zweimalige Flutung innerhalb von 30 Jahren sowie damit verbunden eine doppelte, maximale Sedimentationsrate betrachtete, nicht mehr begründbar. Die Hochwasser der letzten zwanzig Jahre zeigten etwa nur ein Sechstel bis ein Zehntel der Schwebstofffracht des Hochwassers von 1999. Das Ereignis von 1999, das der bisherigen Berechnung zu Grunde lag, muss also hinsichtlich der Schwebstofffracht einem wesentlich selteneren Ereignis zugeordnet werden. D. h. der bisherige Ansatz der Sedimentfracht, kombiniert mit einer 30-jährlichen, wiederkehrenden Flutung, entsprach im Raumordnungsverfahren bereits einem außerordentlichen „worst-case-Szenarium“.

Das nunmehr untersuchte Ereignis von HQ200 auf Basis Hochwasser 1988 ist aufgrund der langen Einstaudauer und der großen Fülle ein äußerst seltenes und außergewöhnliches Ereignis. Beim Realereignis 1988 wurde seinerzeit nur eine Schwebstoffkonzentration von ca. 5 mg/l gemessen. Die Kombination dieses seltenen Ereignisses mit dem Maximalwert der Schwebstoffkonzentration von 730 mg/l stellt somit den äußersten Grenzfall dar.

4.6 Auswertung

Die Ergebnisse der Sedimentationsabschätzungen zeigen die Plandarstellungen in der Anlage 1 bis Anlage 3. Das Ereignis HQ200 (HW2011) mit einer Schwebstoffkonzentration von 140 mg/l wurde in Anlage 4 zusätzlich der Biotopkartierung gegenübergestellt.

Die größten Sedimentationsraten zeigt erwartungsgemäß das HQ200 (HW1988) mit dem Extremwert der Schwebstoffkonzentration von 730 mg/l. Im künftigen Flutpolder ist hierbei eine Sedimentationsmenge von 1,5 bis 2,0 kg/m² auf den Wiesenflächen (Sedimenthöhe von 0,56 bis 0,75 mm) und von 3,0 bis 6,5 kg/m² auf den Altwasserflächen (Sedimenthöhe von 1,1 bis 2,4 mm) zu erwarten.

Bei den beiden anderen Szenarien mit Schwebstoffkonzentrationen von 80 bzw. 140 mg/l liegen die Sedimentmengen deutlich niedriger. Hier sedimentieren auf den Wiesenflächen 0,1 bis 0,25 kg/m² (Sedimenthöhe von 0,04 bis 0,09 mm) und auf den Altwasserflächen 1,0 bis 1,5 kg/m² (Sedimenthöhe von 0,37 bis 0,56 mm).

Die größten Sedimentationsraten treten unabhängig vom Ereignis und der Schwebstoffkonzentration im Absetzbecken im Anschluss an das Einlaufbauwerk auf. Im Absetzbecken ergeben sich die größten Wassertiefen und die längste Verweildauer, so dass hier die meisten Schwebstoffe abgelagert werden.

Die Sedimentationsraten auf den naturschutzfachlich hochwertigen Wiesenflächen im Flutpolder sind mit einer Sedimenthöhe von 0,1 bis 0,8 mm eher gering, was auf die geringe Verweildauer und die niedrigen Wasserstände zurückzuführen ist.

Die Sedimentationsraten auf den Wiesenflächen im Flutpolder sind aber geringer als im Polder Sossau Ost. Dies ist auf die geringe Verweildauer des Wassers im Flutpolder zurückzuführen. Im Flutpolder tritt keine vollständige Sedimentation aller im Wasser befindlicher Schwebstoffe ein. Im Polder Sossau Ost sedimentieren hingegen nahezu sämtliche Schwebstoffe, da hier durch die ungesteuerte Retention das Wasser länger auf den Flächen verbleibt und bei Rückgang des Hochwassers nicht mehr zeitnah in die Kößnach und Donau abgeleitet werden kann.

5 Betrachtung der Fließgeschwindigkeiten im Flutpolder

In Anlage 5 sind die maximalen Fließgeschwindigkeiten im Flutpolder für das Ereignis HQ200 (HW2011) dargestellt. Die größten Fließgeschwindigkeiten treten am Einlaufbauwerk auf. Durch das Tosbecken im Anschluss an das Einlaufbauwerk und das Ableitungsgerinne zum Absetzbecken werden die Fließgeschwindigkeiten rasch unter 1,0 m/s reduziert. Im Absetzbecken beruhigt sich das einströmende Wasser und die Geschwindigkeiten reduzieren sich auf 0,25 bis 0,50 m/s.

Es ist somit zu erwarten, dass die groben Schwebstoffe (Sande, Grobschluff) im Ableitungsgerinne und im Absetzbecken abgelagert werden und die feinen Schwebstoffe (Fein- bis Mittelschluff) auf den Wiesen- und Altwasserflächen.

In Senken/Seigen, Gräben und im Bereich der Fließstrecke zwischen Absetzbecken und oberer Schleife sind lokal durchaus Fließgeschwindigkeiten von max. 1,0 bis 2,0 m/s möglich.

Auf dem Großteil der Wiesen- und Wasserflächen im Flutpolder treten jedoch max. Fließgeschwindigkeiten von kleiner 0,5 m/s auf, siehe Anlage 6. Dabei weisen die Wiesenflächen im Bereich des Einlaufbauwerks (Saulburger Wiese) und im Bereich des Trenndamms und Auslaufbauwerks (Fuchshöhle) mit 0,3 bis 0,5 m/s die größten Fließgeschwindigkeiten auf. Auf den anderen Wiesenflächen der oberen und unteren Schleife sowie im Polder Oberau und im Polder Sossau West sind hingegen max. Fließgeschwindigkeiten von $< 0,2$ m/s zu erwarten.

Aussagen zur Wassertiefe, Einstaudauer sowie der Fließgeschwindigkeit und Schubspannung bei Einsatz des Flutpolders sind detailliert im OW-Modell in Unterlage 05-03, Anhang B enthalten.



Abbildung 5: Bestand im Bereich des geplanten Einlaufbauwerks

Bei einer gut durchwurzelten und regelmäßig unterhaltenen Grasnarbe können die Wiesenflächen gemäß [7] Schubspannungen bis zu 30 N/m^2 und Fließgeschwindigkeiten bis zu $1,5 \text{ m/s}$ schadlos widerstehen.

Beim Flutungsprozess sind somit nur lokale Erosionen in den Grabenzügen am Einlaufbauwerk und in Teilen der Fließstrecke zu erwarten. Aufgrund des ökologisch hochwertigen Biotopbestandes sind in

diesen Bereichen keine bzw. nur begrenzte Maßnahmen (Verlängerung der Tosbeckenwange am Grabenzug) vorgesehen. Sollten im Einsatzfall des Flutpolders Erosionen auftreten, sind diese im Nachgang zu begutachten und die Abbruchstellen ggf. auszubessern.

Im Bereich der Deichlücken treten teilweise ebenfalls erhöhte Fließgeschwindigkeiten und Sohl Schubspannungen auf. Daher sind hier in der Sohle und im Bereich der Böschungen zu den vorhandenen Deichen verdeckte Sicherungen aus Wasserbausteinen vorgesehen, die mit einer Vegetationstragschicht abgedeckt werden. Sollten im Einsatzfall des Flutpolders die Vegetationstragschicht erodiert und die verdeckten Wasserbausteine beschädigt werden, sind diese im Nachgang wiederherzustellen.

Auf den Wiesen- und Altwasserflächen der Oberauer Schleife sowie auf den landwirtschaftlichen Flächen im Polder Öberau und im Polder Sossau West sind hingegen keine Erosionen infolge des Flutpoldereinsatzes zu erwarten.

6 Betrachtung der Nährstoffeinträge

Die **Nährstoffparameter im Gewässer** liegen nach Tabelle 2 zumeist in ähnlicher Größenordnung vor, unabhängig von der Höhe des Abflusses oder der Schwebstoffkonzentration. Dies bedeutet, dass die in der Oberauer Schleife befindlichen Gewässerflächen, eine vergleichbare Nährstoffkonzentration aufweisen, wie die Gewässerflächen in der Donau.

Gleiches gilt bei Vergleich mit den gemessenen Nährstoffkonzentrationen während der jährlich stattfindenden Frühjahrsflutung, siehe Tabelle 3. Auch hier liegen die Nährstoffkonzentrationen in ähnlicher Größenordnung, wie bei einem Hochwasser in der Donau.

Die Untersuchungsergebnisse der Sedimentproben aus den Jahren 2012 und 2013 zeigen wiederum, dass die Nährstoffkonzentrationen im Donausediment und im Sediment aus einer Wiese im Bereich des Flutpolders ähnliche Größenordnungen aufweisen, siehe Tabelle 4.

Der Vergleich des Nährstoffeintrags bei Flutpolderbetrieb auf den Wiesenflächen mit dem mittleren jährlichen **Nährstoffeintrag über den Luftpfad** gemäß Tabelle 5 zeigt nachfolgende Übersicht:

Tabelle 8: Vergleich Nährstoffeintrag bei Flutpolderbetrieb und über den Luftpfad auf den Wiesenflächen

Eintragung	Hochwasser	Einheit	Nitrat (NO ₃ -N)	Ammonium (NH ₄ -N)	Ortho-Phosphat (PO ₄ -P)	Bemerkung
Luft	-	g/m ²	1,40	1,40	0,035	jährlicher Nährstoffeintrag
Wasser	2013	g/m ²	10,00	0,28	0,20	Schwebstoffkonzentration 80 mg/l und Sedimentationsmenge bis zu 0,5 kg/m ²
Wasser	1999	g/m ²	5,21	0,60	0,038	Schwebstoffkonzentration 730 mg/l und Sedimentationsmenge bis zu 6,5 kg/m ²

Bei einem Vergleich von Nitrat liegen die Werte bei Flutpoldereinsatz um ein Vielfaches höher als der jährliche Eintrag über den Luftpfad. Die Werte von Ammonium und Ortho-Phosphat liegen hingegen bei Einsatz des Flutpolders teils deutlich unter oder auf Höhe der jährlichen Werte, die über den Luftpfad eingetragen werden.

Die entnommenen Bodenproben im Vorland der Donau und in den Wiesen des Flutpolders zeigen jedoch eine ähnliche Größenordnung, siehe Kapitel 3.2.

7 Zusammenfassung

Anhand der Kombination von Hochwasserereignissen unterschiedlicher Fülle mit verschiedenen Schwebstoffkonzentrationen wurden die Sedimentationsmengen bei Einsatz des geplanten Flutpolders prognostiziert.

Dabei spielt im künftigen Flutpolder Öberauer Schleife der Geschiebetransport keine Rolle, da dieser in der Donau sohnah stattfindet und die Wehrschwelle des geplanten Einlaufbauwerks ca. 5 Meter über der Sohle der Donau liegt. Stattdessen werden in den Flutpolder gelöste und feste Stoffe (ca. 80 % Schluff und bis zu 20 % Sand) transportiert und können dort für einige Zeit zurückgehalten werden. Diese gelösten und festen Stoffe setzen sich im Flutpolder ab, je länger die Verweilzeiten sind.

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, dass die Sedimentmengen im Flutpolder bei Extremhochwasserereignissen, wie HQ200 (HW2011) der Donau, im Bereich von 0,25 bis 1,5 kg/m² liegen. Dies entspricht einer Sedimenthöhe von ca. 0,1 mm auf den Wiesenflächen und bis ca. 0,5 mm in den Altwasserbereichen.

Auch eine Grenzwertbetrachtung mit dem gemessenen Extremwert der Schwebstoffkonzentration von 730 mg/l und einem Extremhochwasserereignis mit großer Fülle, wie HQ200 (HW1988) der Donau ergaben nur geringe Sedimentationsmengen von 2,0 bis 6,5 kg/m. Dies entspricht einer Sedimenthöhe von ca. 1,0 mm auf den Wiesenflächen und bis ca. 2,5 mm in den Altwasserbereichen.

Es konnte durch die Modellberechnungen gezeigt werden, dass eventuell eingetragene Grobschluffe und Sande fast vollständig unterstrom des Einlaufbauwerks im Absetzbecken sedimentieren. Auf den hochwertigen Wiesenflächen des Flutpolders sedimentieren hingegen vorwiegend die feinen Schwebstoffe (Fein- und Mittelschluff).

Der Vergleich der Nährstoffparameter der gelösten Schwebstoffe anhand verschiedener Messwerte kam zu dem Ergebnis, dass die Nährstoffparameter zumeist in ähnlicher Größenordnung vorliegen, unabhängig von der Höhe des Abflusses in der Donau oder der Schwebstoffkonzentration. Auch die Nährstoffparameter der jährlich stattfindenden Frühjahrsflutung in der oberen Öberauer Schleife liegen in ähnlicher Größenordnung und sind vergleichbar denen in der Donau.

Es ist somit zu erwarten, dass bei Einsatz des geplanten Flutpolders vergleichbare Nährstoffkonzentrationen mit den gelösten Schwebstoffen eingetragen werden, wie bei der jährlichen Frühjahrsflutung in der oberen Schleife.

Bei Vergleich des Nährstoffeintrages über den Luftpfad liegen die in den Flutpolder eingetragenen Nährstoffkonzentrationen für Nitrat um ein Vielfaches höher als der jährliche Eintrag über die Luft. Bei den Nährstoffen Ammonium und Ortho-Phosphat liegen die Werte hingegen bei Einsatz des Flutpolders teils deutlich unter oder auf Höhe der jährlichen Werte, die über den Luftpfad eingetragen werden.

Die entnommenen Bodenproben im Vorland der Donau und in den Wiesen des Flutpolders zeigen jedoch eine ähnliche Größenordnung hinsichtlich der Nährstoffkonzentration.

Abschließend kann eingeschätzt werden, dass im (seltenen) Einsatzfall keine Überdüngung der mageren Wiesenflächen im Flutpolder auftritt und damit verbunden keine Veränderung der dort entsprechend angepassten Vegetation durch den Nährstoffeintrag zu erwarten ist. Darüber hinaus wurde aufgezeigt, dass auf der Basis der zu erwartenden, maximalen Fließgeschwindigkeiten keine Erosionsprozesse auf den hochwertigen Wiesenflächen stattfinden werden.

8 Literatur- und Quellenverzeichnis

- [1] Stellungnahme LfU-63 vom Oktober 2018 (Aktenzeichen 63-4424-55840/2018)
- [2] Messwerte der Fließgewässer-Monitoringmessstelle bei ca. Donau-km 2285,6, Wasserwirtschaftsamt Deggendorf, 2019
- [3] Sedimentproben im Bereich der Donau und der Oberauer Schleife, Wasserwirtschaftsamt Deggendorf, 2012/2013
- [4] Scheffer/Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde, 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg 2010
- [5] Elsner, T.: SUMAD – Morphologische Untersuchungen der Donaustrecke von der Staustufe Vohburg bis zur Donaubrücke der B 299 in Neustadt an der Donau. Universität der Bundeswehr, 2005
- [6] Ergebnisse aus der 2D instationären Strömungsberechnung, Ingenieurgemeinschaft Lahmeyer Hydroprojekt – Lahmeyer München – Büro Prof. Kagerer, 2020
- [7] Haselsteiner, R. (2006): Deichertüchtigung in Bayern - Eine Übersicht. Tagungsband zur Fachtagung "Deichertüchtigung und Deichverteidigung in Bayern", Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München, Band Nr. 107, S. 13 - 28, 13./14. Juli, Wallgau.