

Ochtumverband

Sanierung der Delme-Dämme von der Autobahn A 28 bis zu den Graften in Delmenhorst

- Teil 2: Wasserwirtschaftliche Berechnungen -

Aufgestellt:



INGENIEUR-DIENST-NORD
Dr. Lange - Dr. Anselm GmbH
Marie-Curie-Str. 13 · 28876 Oyten
Telefon: 04207 6680-0 · Telefax: 04207 6680-77
info@idn-consult.de · www.idn-consult.de

Datum: **17. Februar 2023**

Projekt-Nr.: **5352-A**

Inhaltsverzeichnis

1	Berechnungsgrundlagen	2
1.1	Bestandsaufmaße	2
1.2	Abflussmengen	2
1.3	Staubauwerke	4
2	Dimensionierung der Bauwerke	6
2.1	Geplante Entleerungsbauwerke	6
2.2	Geplante Überlaufstrecken	6
3	Hydraulische 2D-Berechnungen	8
3.1	Untersuchungsraum	8
3.2	Verwendetes Programm	8
3.3	Modellierte Zustände	8
3.4	Rauheitsbeiwerte	10
3.5	Randbedingungen am Modellauslauf	10
3.6	Durchgeführte Berechnungen	11
4	Ergebnisse	12
4.1	Wasserstände	12
4.2	Abflussgeschehen in den Auenbereichen	13
4.3	Versickerung und Verdunstung aus dem Auen	16

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1:	Abflüsse der Delme	3
Tabelle 1-2:	Bemessungsabflüsse	3

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1:	Stauanlage Mili (Stadt Delmenhorst, 07/2015)	4
Abbildung 1-2:	Stauanlage Wassermühle (Stadt Delmenhorst, 08/2015)	5
Abbildung 3-1:	Lage des Modellgebietes	8
Abbildung 4-1:	Wasserstandsverlauf in der Delme und den Auenbereichen	14
Abbildung 4-2:	Strömungsgeschwindigkeiten bei BHQ	15
Abbildung 4-3:	Zeitlicher Verlauf der Wasserstandssenkung in den Auen	17

1 Berechnungsgrundlagen

1.1 Bestandsaufmaße

Die Berechnungen basieren auf den Unterlagen, die im Jahr 2012 für die "Gefährdungsabschätzung des Hochwasserschutzes der Delme im Bereich der Wiekhornwiesen" zur Verfügung gestellt wurden, sowie ergänzenden Daten und Unterlagen für die Bearbeitung der "Sanierung der Delme-Dämme".

Folgende Bestandsaufmaße wurden für die Berechnungen verwendet:

- digitales Geländemodell (DGM5) und Kartengrundlagen (DGK5)
- topografische Bestandsaufmaße der Stadt Delmenhorst aus den Jahren 2010 bis 2017
- Aufmaß des Stauwehrs an der ehemaligen Militärbadeanstalt (km 8+321) und des Mühlenwehrs (km 6+380) durch die Stadt Delmenhorst (Juli/August 2015)
- Aufmaß des Delme-Abschnittes in den Graftanlagen, aufgenommen vom Vermessungsbüro Ehrhorn im November 2016

1.2 Abflussmengen

Das abflusswirksame Einzugsgebiet der Delme ist in der Anlage 1 dargestellt und umfasst bis zum Beginn des Planungsgebietes etwa 108 km².

Rd. 3 km oberhalb des Planungsgebietes liegt der gewässerkundliche Pegel Holzkamp an der Delme. Das Einzugsgebiet beträgt am Pegel rd. 103 km².

Zwischen dem Pegelstandort und dem Beginn des Planungsgebietes mit der BAB 28 befindet sich ein Hochwasserrückhaltebecken (HWRHB) an der Delme. Unter Berücksichtigung der Pegelauswertungen ergeben sich die in folgender Tabelle abgedruckten Abflüsse oberhalb des HWRHB:

Tabelle 1-1: Abflüsse der Delme

	Einzugs- gebiet A_{E0} [km ²]	Mittleres Niedrigwasser MNQ [m ³ /s]	Mittel- wasser MQ [m ³ /s]	1-jährliches Hochwasser HQ ₁ [m ³ /s]	100-jährliches Hochwasser HQ ₁₀₀ [m ³ /s]
Pegel Holzkamp	103	0,331	0,941	5,65	-
Beginn Planungsgebiet/ Delme oberhalb HWRHB	<u>108</u>	<u>0,35</u>	<u>0,99</u>	<u>5,93</u>	-

In dem Rückhaltebecken befinden sich zwei Abschlagsbauwerke zu den Gewässern Hoyersgraben und Kleine Delme. Durch die Abschlagsbauwerke teilen sich die genannten Abflüsse zu den in Tabelle 1-2 zusammengefassten Bemessungsabflüssen auf.

Der Regelabfluss des HWRHB bei einem 100-jährlichen Hochwasserereignis ist in den Antragsunterlagen zur Planfeststellung festgesetzt und beträgt insgesamt 9,0 m³/s. Im Fall eines 100-jährlichen Hochwasserereignisses dauert die Regelabgabe aus dem Rückhaltebecken etwas mehr als sechs Tage (150 Stunden) an. Das Hochwasserrückhaltebecken wurde so bemessen, dass eine Drosselung der Abflüsse auf den Regelabfluss bis zu einem 100-jährlichen Hochwasserereignis gewährleistet ist. Bei noch selteneren Ereignissen erhöht sich der Abfluss in der Delme durch die Hochwasserentlastung des Beckens.

Der Abfluss aus dem Rückhaltebecken wird auf die Delme, die Kleine Delme, den Wiekhorner Wasserzug (nur für naturschutzfachliche Zuwässerung) und den Hoyersgraben aufgeteilt. Die Abflussaufteilung des 1-jährlichen Hochwasserabflusses wird im Rahmen der Vorplanung prozentual zum 100-jährlichen Hochwasserabfluss angenommen.

Tabelle 1-2: Bemessungsabflüsse

Abfluss [m ³ /s]	Delme oberhalb Abschläge	Abschlag Kleine Delme	Abschlag Hoyersgraben	<u>Bemessungsab- fluss (BHQ) Delme</u>
MNQ	0,35	0,00*	0,11*	<u>0,24</u>
MQ	0,99	0,00*	0,11*	<u>0,88</u>
HQ1	5,93	1,32 (22,2 %)	0,33 (5,6 %)	<u>4,28</u>
HQ100	(9,00)	2,00 (22,2 %)	0,50 (5,6 %)	<u>6,50</u>

* Die Abschläge in die Kleine Delme und in den Hoyersgraben wurden in Abstimmung mit dem Ochtumverband angenommen.

1.3 Staubauwerke

Stau an der ehemaligen Militrbadeanstalt (Mili)

Das Stauwehr an der Mili besteht aus drei Wehrtafeln/Hubschtzen (s. Abbildung 1-1).

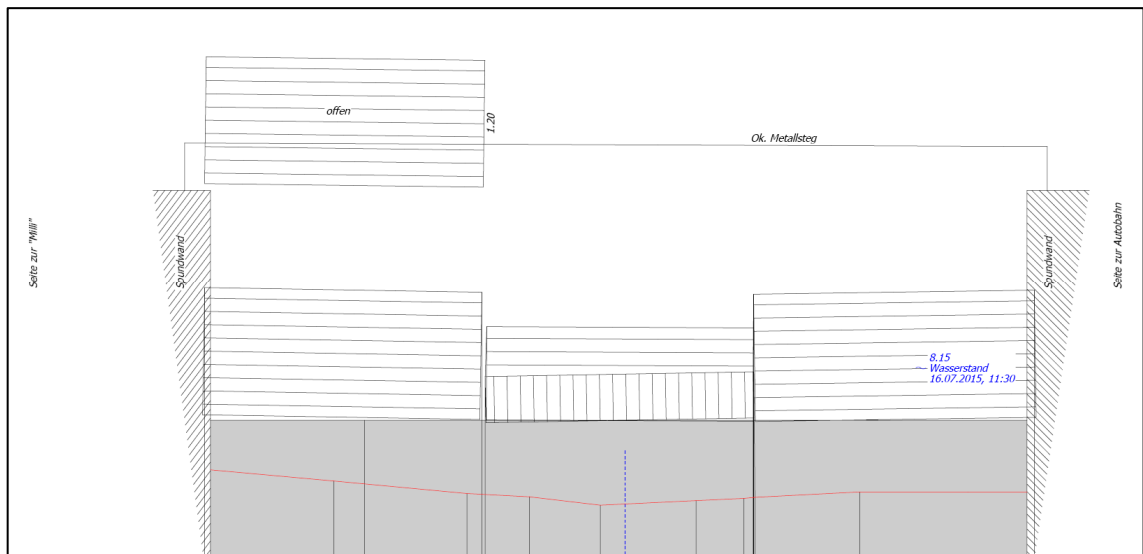


Abbildung 1-1: Stauanlage Mili (Stadt Delmenhorst, 07/2015)

Die beiden äußeren Wehrtafeln sind unterstromende Schtze und die mittlere Wehrtafel wird bei einer berfallkante von +8,54 m NN überströmt. Die Sohlschwelle liegt bei +7,66 m NN.

Das Stauziel des Wehres auf Höhe der Mili liegt bei +8,63 m NN.

Stau am Mühlenwehr

Die Wasserspiegellagen der Delme im Planungsraum werden bei Mittelwasser maßgeblich vom Aufstau am Mühlenwehr beeinflusst.

Das Mühlenwehr besteht aus drei Hubschtzen und einer festen Wehrtafel als Notdurchlass (s. Abbildung 1-2).

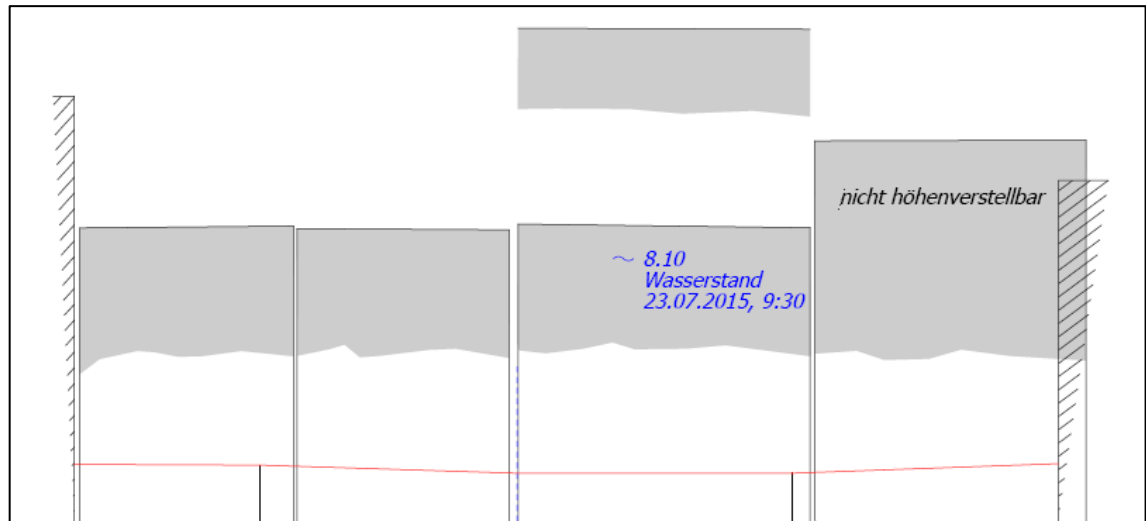


Abbildung 1-2: Stauanlage Wassermühle (Stadt Delmenhorst, 08/2015)

Links des Wehres befindet sich eine Fischaufstiegsanlage, deren Abfluss durch eine weitere Schütztafel geregelt wird. Der Abfluss beträgt $0,25 \text{ m}^3/\text{s}^1$. Der jeweils verbleibende Abfluss wird über das Mühlenwehr abgeleitet.

Im Normalbetrieb werden die Schütze an der Wassermühle so eingestellt, dass sich bei Mittelwasserabfluss ein Oberwasserstand (Sommerstauziel) von +8,20 m NN einstellt.

Bei niedrigen Abflüssen (MNQ) kann das Stauziel ggf. aufgrund des Abflusses über den Fischaufstieg unterschritten werden.

Im Winterbetrieb werden die drei beweglichen Schütze vollständig aus dem Wasser gehoben, da die Bewegung bei starkem Frost nicht möglich ist. Der Oberwasserstand ergibt sich dann aus dem Überfall über die feste Überfallkante. Bei dem Bemessungs-Hochwasserabfluss stellt sich bei vollständig geöffneten Wehrtafeln ein Wasserstand von etwa +8,20 m NN ein (vgl. Kapitel 3.5).

¹ Erläuterungsbericht zur Erstellung einer Fischaufstiegsanlage in der Delme im Bereich der Graftstauanlage in Delmenhorst, aufgestellt vom NLWKN Brake im Januar 1999, zur Verfügung gestellt von der Stadt Delmenhorst

2 Dimensionierung der Bauwerke

2.1 Geplante Entleerungsbauwerke

Um die Entleerung der tiefergelegenen Auenbereiche nach Hochwasserereignissen (\Rightarrow HQ₁) zu unterstützen, wird jeweils in den Altdeich ein Durchlass als Entleerungsbauwerk eingebaut.

Die Durchlässe sind im Normalbetrieb mit einem Schieber verschlossen. Nach Hochwasserereignissen mit einem Einstau der Aue werden die Schieber geöffnet. Die Aue kann hierdurch in der Höhenlage zwischen Überlaufschwelle (HW₁) und Mittelwasserlage entwässert werden. Nach Absinken des Auenwasserstandes auf Mittelwasserniveau werden die Schütztafeln wieder verschlossen.

Die Durchlässe werden als Stahlbetonrohre mit einem Nenndurchmesser 1,0 m ausgeführt.

Die Durchlässe liegen jeweils in einem tiefliegenden Bereich der Aue. Die Sohlage der Durchlässe entspricht etwa dem anstehenden Geländeniveau der Aue.

Die Sohle des nördlichen Durchlasses (linksseitige Aue) liegt auf einer Höhe von +7,50 m NN, die Sohle des südlichen Durchlasses (rechtsseitige Aue) liegt auf +7,60 m NN

2.2 Geplante Überlaufstrecken

Überläufe zu den Auenbereichen

Es sind insgesamt vier Überläufe zwischen der Delme und den geplanten Auen vorgesehen, bei beiden Auen jeweils ein Überlauf am südlichen Ende (Zulauf) und einer am nördlichen Ende (Ablauf). Der Zulauf der nördlichen Mulde wurde so angeordnet, dass er in direkter Verlängerung des Ablaufs der südlichen Mulde liegt.

Alle Schwellen erhalten eine Höhenlage entsprechend dem HW₁, d. h., nur Hochwasserereignisse mit einer geringeren Häufigkeit führen zu einer Flutung der Auenbereiche.

Überlauf zu den Wiekhorner Wiesen

Unmittelbar unterhalb der Autobahn wird am linken Ufer ein Überlauf eingerichtet, über den bei Extremhochwässern ($> HQ_{100}$) ein Abschlag in die Wiekhorner Wiesen erfolgt. Der Überlauf liegt auf +9,19 m NN entsprechend dem Wasserstand bei HQ_{100} . Die Breite dieser Überlaufschwelle beträgt 5,0 m.

3 Hydraulische 2D-Berechnungen

3.1 Untersuchungsraum

Das Modell umfasst die Delme zwischen der BAB 28 und dem Wehr an der Graft-Mühle einschließlich der Graften. Das Modellgebiet ist in Abbildung 3-1 dargestellt.

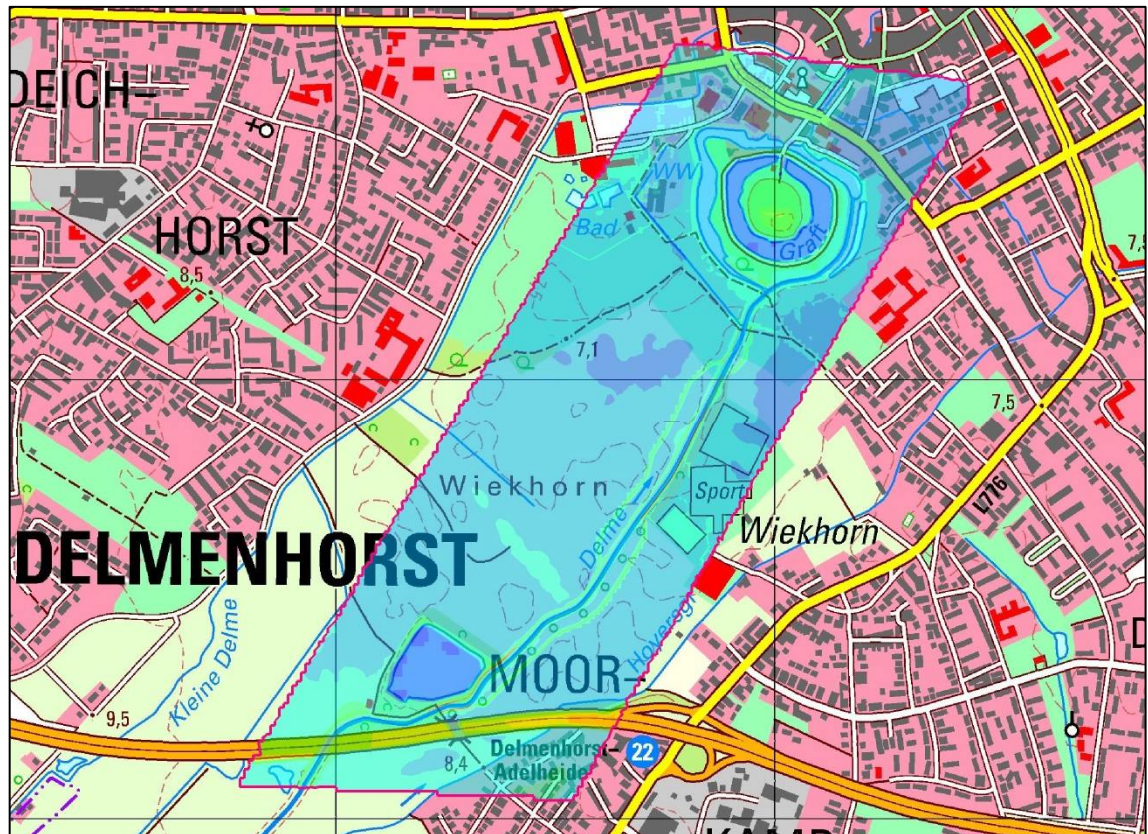


Abbildung 3-1: Lage des Modellgebietes

3.2 Verwendetes Programm

Für die hydraulische Modellierung wurde das Programm "HYDRO_AS-2D" verwendet.

3.3 Modellierte Zustände

Vorbemerkung zur Gewässersohle

Im Jahre 2014 wurden von der Stadt Delmenhorst zwischen der Autobahnbrücke der BAB 28 (km 8+419) und der Holzbrücke oberhalb der Graft (km 6+983)

etwa alle 50 m Gewässerprofile der Delme aufgemessen. Mit diesen Profilen wurde die im Jahr 2013 vorgenommene Sohlräumung erfasst.

Demgegenüber beinhalten die Aufmaße aus dem Jahr 2010 die Sohlage nach einer längeren Phase ohne Sohlräumungen.

Die Räumung der Sohle um rd. 30 cm hat Einfluss auf die Leistungsfähigkeit des Gewässers und damit auch die Wasserstände. Für die durchgeführten Berechnungen (Bestand und Planung) wurde die höhere, verlandete Sohlage angesetzt. Die Bemessungen liegen dadurch auf der sicheren Seite.

Bestand

Die flächenhaften Geländehöhen wurden aus dem digitalen Geländemodell (DGM 5) entnommen und mit vorliegenden Daten aus Bestandsvermessungen der Stadt ergänzt.

Der Gewässerabschnitt der Delme von der Autobahn bis zur Graftmühle wurde auf Grundlage der vermessenen Sohlagen und Kronenhöhen der Verwallungen sowie Bauwerksdaten modelliert und in das Geländenetzen eingefügt.

Entwurfsplanung

Südlich der Graften wurde das Modell entsprechend dem Planungszustand abgeändert. Wesentliche hydraulisch relevante Bestandteile der Planung sind:

- Rückverlegung des Deiches auf zwei jeweils rund 500 m langen Strecken um 30 bis 40 m
- Schaffung von Auenbereichen im Bereich der rückverlegten Deichtrassen durch Beibehaltung der bisherigen Dämme entlang des Gewässers und Schaffung von Überlaufschwelen zwischen Delme und den Auenbereichen
- Höhenlage der Überlaufschwelen entsprechend dem Wasserstand des HQ_1
- Einbau von Durchlässen zur Entleerung tiefergelegener Flächen in den Auebereichen
- Sukzessionsbereiche in den neu geschaffenen Auen, in denen Gehölzaufwuchs zulässig sein wird.

3.4 Rauheitsbeiwerte

Die Oberflächenstruktur und der Bewuchs des Geländes wurden anhand von Luftbildern und Fotos der Örtlichkeit sowie aus den Informationen aus den Ortsbegehungen ermittelt. Auf Grundlage von Erfahrungswerten wurden für die verschiedenen Nutzungen die folgenden Rauheitsbeiwerte (k_{st}) angesetzt:

- Delme: $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Gräben $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Stillgewässer (Wasseroberfläche) $60 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Grünland $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Gehölz $5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- baulich geprägte Flächen $1 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$
- Straßen/Wegestrukturen $20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

Die geplanten Sukzessionsbereiche in den Auen wurden im Modell als nicht durchströmbare Bereiche berücksichtigt. Dies ist der hydraulisch ungünstigste Fall und liegt für die Bemessung der Dammhöhen auf der sicheren Seite.

3.5 Randbedingungen am Modellauslauf

Die hydraulische Modellstrecke endet am Mühlenstau der Delme nördlich der Graft. Das Wehr wird so geregelt, das oberhalb des Wehres normalerweise ein Wasserstand von +8,20 m NN vorhanden ist. Im Winter wird bei drohender Vereisung das Wehr vollständig geöffnet.

Der Ausgangswasserstand am Wehr wird nach der Wehrformel von Poleni ermittelt:

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sqrt{2g} b h_{\ddot{u}}^{3/2}$$

mit : Q	Abflußmenge	[m ³ /s]
μ	Überfallbeiwert	[-]
g	Erdbeschleunigung	[m/s ²]
b	Breite der Wehrkrone	[m]
h _ü	Überfallhöhe	[m].

Für die Berechnungen wurde der Überfallbeiwert = 0,55, die Breite der Wehrkrone mit $b = 3,46$ m, die Höhenlage der Überfallkante mit $+7,11$ m NN und die Abflussmenge entsprechend den untersuchten Abflussereignissen angesetzt.

Damit ergeben sich oberhalb des Mühlenwehres für MQ/HQ₁/HQ₁₀₀ die Wasserstände $+7,40/+7,95/+8,21$ m NN.

Bei MQ bzw. HQ₁ kann das Stauziel demnach durch entsprechende Regelung des Staus eingehalten werden. Bei HQ₁₀₀ wird das Stauziel bei vollständiger Öffnung des Staus rechnerisch um 1 cm überschritten.

Ein Rückstaeinfluss aus dem unterhalb des Wehres gelegenen Delmeabschnitt kann mit hoher Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen werden.

Für die hydraulischen 2D-Berechnungen wurde ein Ausgangswasserstand von $+8,20$ m NN angesetzt.

3.6 Durchgeführte Berechnungen

Folgende Abflussereignisse wurden mit dem 2D-Hydraulikmodell berechnet:

- MQ Mittelwasser Bestand
- HQ₁ 1-jährliches Hochwasser Bestand
- HQ₁₀₀ (BHQ) 100-jährliches Hochwasser Bestand und Planung

Da die Planungen bis zu einem 1-jährlichen Abfluss keine Auswirkungen haben, wurde für den Planungszustand nur das HQ₁₀₀ berechnet.

Die Berechnungen wurden instationär durchgeführt, um den zeitlichen Verlauf der Füllung und Entleerung der Auenbereiche abbilden und auswerten zu können.

4 Ergebnisse

4.1 Wasserstände

Die errechneten Wasserstände für Mittelwasserabfluss (MQ) und Hochwasserabflüsse für HQ_1 und HQ_{100} im Normalbetrieb sind im Längsschnitt (Anlage 4) dargestellt. Die im Folgenden erwähnten Wasserspiegellagen im Winterbetrieb wurden im Zuge der Vorplanung berechnet und dokumentiert.

Mittelwasser (MW)

Bei Mittelwasser und Normalbetrieb weist die Delme im Bereich der Graftanlagen einen ausgespiegelten Stauwasserstand auf. Der Rückstau des Wehres wirkt sich jedoch weit über die Graftanlagen hinaus auf die Delme aus. Die Wasserspiegeldifferenz von unterhalb des Mili-Wehres (Station 8+309) bis zur der Einmündung der Delme in die Graften (Station 6+903) beträgt nur 15 cm, was einem Wasserspiegelgefälle von nur 0,11 ‰, entspricht.

Oberhalb des Mili-Wehres ist die Delme bis zur Autobahn entsprechend dem Stauniveau an der Mili eingestaut.

Im Winterbetrieb stellt sich bei Mittelwasserabfluss am Mühlenwehr ein rd. 0,8 m niedrigerer Wasserstand ein als im Normalbetrieb. Das Wasserspiegelgefälle von den Graftanlagen bis zum Mili-Wehr ergibt sich dann zu 0,52 ‰.

1-jährliches Hochwasser (HW_1)

Bei einem 1-jährlichen Hochwasserereignis stellt sich bei Normalbetrieb auch im Bereich der Graften ein Wasserspiegelgefälle ein. Zwischen den Graften (Station 6+903) und dem Mili-Wehr ergibt sich eine Wasserspiegeldifferenz von 0,56 m, was einem Wasserspiegelgefälle von 0,40 ‰ entspricht.

Am Mili-Wehr liegt der Unterwasserstand bei HW_1 höher als das Stauziel für dieses Wehr. Oberhalb des Wehres liegt der Wasserstand 0,35 m bis 0,4 m über dem Stauziel.

Im Winterbetrieb liegt der Wasserstand am Mühlenwehr rd. 0,3 m niedriger als bei Normalbetrieb. Der Unterschied zwischen Normal- und Winterbetrieb nimmt mit der Entfernung zur Mühle ab und beträgt im Bereich des Mili-Wehres noch rd. 2-3 cm.

100-jährliches Hochwasser (HW_{100}/BHQ)

Im vorhandenen Zustand liegt das Wasserspiegelgefälle im Normalbetrieb auf der Delmestrecke zwischen Graften und Mili bei 0,45 ‰. Durch die bei Hochwasser durchströmten Auen steht zukünftig ein erheblich vergrößertes Hochwasserabflussprofil zur Verfügung. Entsprechend sinkt die mittlere Fließgeschwindigkeit und damit auch das Energieliniengefälle sowie das Wasserspiegelgefälle.

Das Wasserspiegelgefälle beträgt im geplanten Zustand 0,39 ‰ und entspricht damit in etwa dem Wasserspiegelgefälle bei einem 1-jährlichen Hochwasser. Im Winterbetrieb ist das Wasserspiegelgefälle des 100-jährlichen Hochwassers dagegen mit 0,42 ‰ etwas geringer als bei einem 1-jährlichen Hochwasser.

Höhe der geplanten Dämme und Spundwände

Der für $HQ_{100, \text{Planung}}$ errechnete Wasserstand bildet den Bemessungswasserstand. Zur Ermittlung der Kronenhöhe der Dämme und Spundwände wird auf den Bemessungswasserstand ein Freibord von 0,5 m beaufschlagt.

4.2 Abflussgeschehen in den Auenbereichen

Da die Zu- und Ablaufbereiche der Auen mit einer Überlaufhöhe entsprechend dem HQ_1 angelegt werden, ist davon auszugehen, dass die Auenbereiche im langjährigen Mittel etwa einmal jährlich überflutet werden.

Der zeitliche Verlauf des Wasserstandes an ausgewählten Punkten in der Delme und in den Auenbereichen ist für das Bemessungshochwasserereignis in Abbildung 4-1 dargestellt.

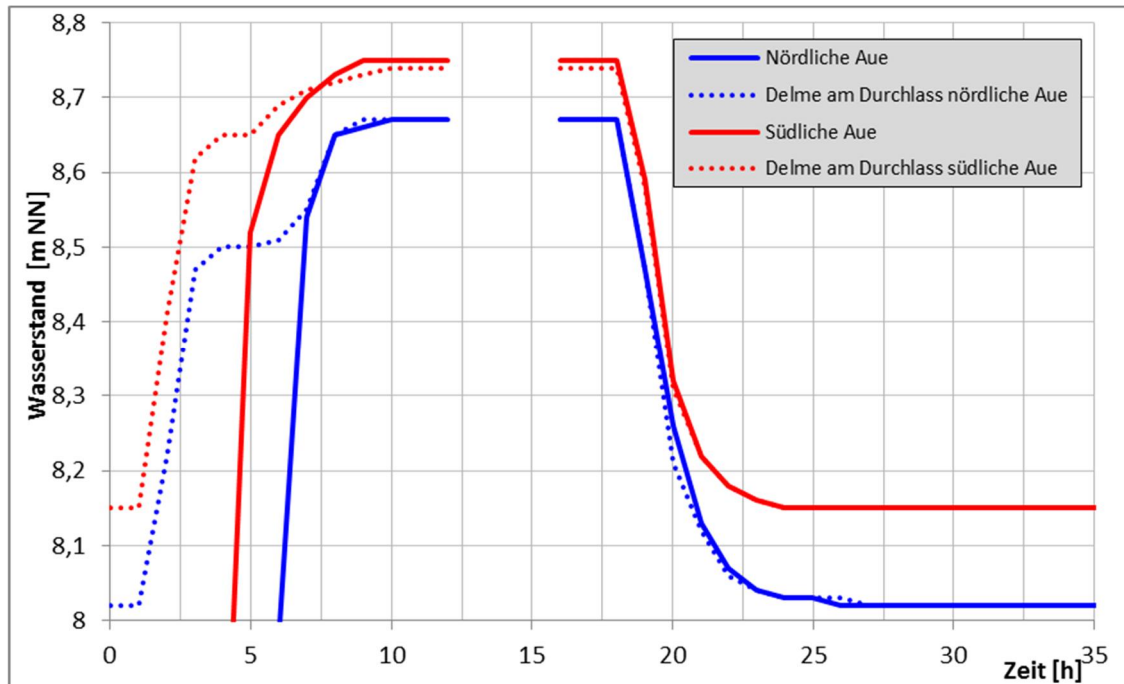


Abbildung 4-1: Wasserstandsverlauf in der Delme und den Auenbereichen

Zulauf und Füllung der Auenbereiche

Ein Überlauf in die Auenbereiche erfolgt, wenn der Wasserstand in der Delme über die Höhe der Überlaufschwelle ansteigt. Dies ist bei einem Abfluss von rd. $4,3 \text{ m}^3/\text{s}$ der Fall, was einem 1-jährlichen Hochwasserereignis entspricht.

Das Überlaufen der Schwellen führt zunächst zu einer Füllung der Auenbereiche, während der Wasserstand in der Delme nahezu konstant bleibt. Bei dem Bemessungshochwasser dauert die Füllung der Auen etwa drei bis vier Stunden.

Nach der Füllung der Auen erfolgt eine Durchströmung der Auen parallel zur Delme. Der Wasserspiegel in den Auenbereichen steigt in diesem Stadium annähernd parallel zum Wasserspiegel im Hauptquerschnitt der Delme an.

Konstanter Spitzenabfluss durch die Auen

Bei dem Bemessungshochwasserereignis fließt über mehrere Tage hinweg der Spitzenabfluss von $6,5 \text{ m}^3/\text{s}$ durch die Delme ab. In der Delme und den Auen stellt sich dabei ein konstanter Strömungszustand ein. Die Strömungsgeschwindigkeiten in Delme und Auen, die sich hierbei einstellen, sind in Abbildung 4-2 dargestellt.



Abbildung 4-2: Strömungsgeschwindigkeiten bei BHQ

Die Fließgeschwindigkeit in der Delme beträgt in den Bereichen, in denen der Abfluss nur über das Hauptgewässer erfolgt, bis zu 1,2 m/s.

In den Bereichen der Auen kommt es zu einer Abflussaufteilung. Gut $4,0 \text{ m}^3/\text{s}$ fließen jeweils durch das Delme-Profil ab, während die übrige Menge von knapp $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ durch die Auen abfließt. Die Fließgeschwindigkeiten liegen in der Delme im Mittel bei $0,6 \text{ m/s}$, maximal bei $0,9 \text{ m/s}$ und in den Auen im Mittel um $0,15 \text{ m/s}$, maximal bei $0,32 \text{ m/s}$.

Ablauf und Entleerung der Auen

Zum Ende des Bemessungshochwassers sinken der Abfluss und die Wasserstände in der Delme innerhalb von fünf bis acht Stunden auf das mittlere Niveau ab (vgl. Abbildung 4-1).

Der Wasserstand in den Auen sinkt zunächst parallel zum Wasserstand in der Delme ab, bis die Überlaufbereiche (Höhenlage entsprechend HQ_1) trockenfallen. Danach kann der Abfluss aus den Auenbereichen über die neu errichteten Durchlässe erfolgen, hier fließen kurzzeitig bis zu $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ ab. Während dieser Phase mit Abfluss über die Durchlässe sinkt der Wasserstand in den Auen etwas zeitverzögert gegenüber dem Wasserstand in der Delme ab.

Etwa fünf bis acht Stunden nach dem Ende einer Hochwasserwelle entspricht der Wasserstand in den Auen wieder dem Wasserspiegel der Delme. Zu

diesem Zeitpunkt können die Durchlässe wieder verschlossen werden. Die restliche Entwässerung der Auenbereiche erfolgt über die anschließende Versickerung und ggf. Verdunstung.

4.3 Versickerung und Verdunstung aus dem Auen

Nach Absinken des Wasserspiegels auf den Mittelwasserspiegel und Unterbrechung der oberflächlichen Wasserverbindung zwischen den Auen und der Delme sind bei Sommerstau am Stau am Mühlenwehr in der nördlichen Aue noch rund 18.400 m² überflutet, in der südlichen Aue rund 13.400 m².

In der nördlichen Aue befinden sich zu diesem Zeitpunkt noch etwa 7.600 m³ Wasser. Damit beträgt die Wassertiefe im Mittel 0,41 m. In der südlichen Aue befinden sich noch 5.030 m³, dies entspricht einer mittleren Wassertiefe von 0,38 m.

Dieses Wasser kann versickern oder verdunsten. Um die Dauer der Entleerung zu ermitteln, wurden vereinfachte Berechnungen des Versickerungs- und Verdunstungsprozesses durchgeführt. Die Berechnungen sind am Beispiel der nördlichen Aue durchgeführt worden, in der eine etwas größere Wassermenge versickern/verdunsten muss.

Versickerung

Zur Abschätzung der Entwässerungsdauer wurde beispielhaft für die nördliche Aue ein einfaches Grundwassermodell erstellt. Folgende Randbedingungen wurden angesetzt:

- Ausgangsgrundwasserstand im Gelände: +7,00 m NN
(entsprechend dem maximalen vorliegenden Grundwasserstand am Brunnen 201 der Stadtwerke Delmenhorst)
- Ausgangswasserstand in der Aue: +8,20 m NN (Sommerstau)
bzw. +8,04 m NN (Winterbetrieb)
- mittlere Geländehöhe i. M. +7,78 m NN
- Unterkante Sandschicht/
Oberkante Torfschicht +6,50 m NN
- Durchlässigkeitsbeiwert k_f :
Sand: 10^{-4} m/s
Torf: $5 \cdot 10^{-5}$ m/s

Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Abbildung 4-3 dargestellt.

Verdunstung

Bei einem Hochwasserereignis im Winter ist die Verdunstungskomponente vernachlässigbar klein, d. h., die Entwässerung der Aue erfolgt ausschließlich über Versickerung.

Tritt das Hochwasserereignis dagegen im Sommer auf, erfolgt parallel zur Versickerung auch eine Verdunstung. Es wird eine Verdunstungsrate von 5 mm/d angesetzt². Eine Verdunstung wird nur angesetzt, solange der Wasserstand in der Aue oberhalb des Geländes liegt.

Ergebnisse

Der zeitliche Verlauf des absinkenden Wasserspiegels in der Aue ist in Abbildung 4-3 dargestellt.

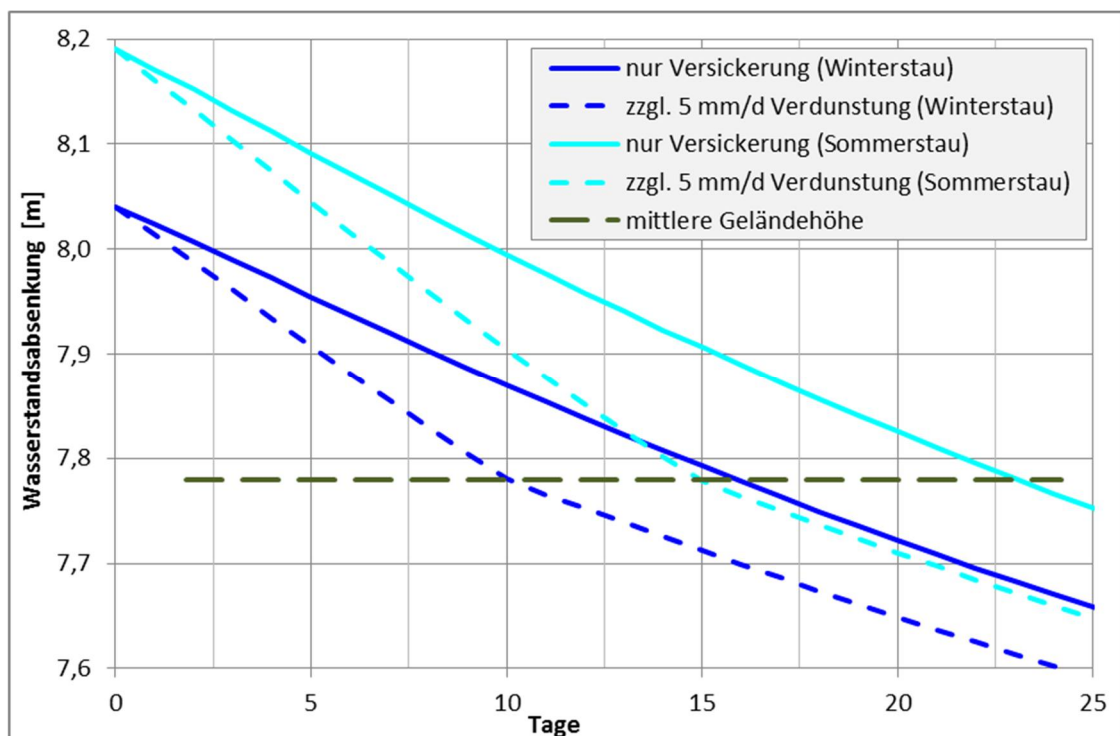


Abbildung 4-3: Zeitlicher Verlauf der Wasserstandssenkung in den Auen

² Der Deutsche Wetterdienst hat für einen Musterort eine Seeverdunstung im Juli von bis zu 143 mm ermittelt. Daher ist davon auszugehen, dass 5 mm/d zwar an einzelnen Tagen erreicht oder überschritten werden, über mehrere Tage aber einen oberen Grenzwert der Verdunstung darstellen. Veröffentlichung des DWD unter: https://www.dwd.de/DE/leistungen/bilanzgutachten/download/verdunstung_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=2

Werden die Auen über die Entleerungsbauwerke bis zum Sommerstau-Wert abgesenkt, dauert die anschließende Restentleerung über Versickerung und Verdunstung je nach Wetterlage etwa 14 bis 23 Tage.

Wenn der Mühlenstau nach dem Hochwasserereignis zunächst noch geöffnet bleibt, können die Delme und über die Durchlässe auch die Auen etwas weiter abgesenkt werden (Winterbetrieb). Die Dauer der Restentleerung kann hierdurch auf 11 bis 16 Tage reduziert werden.

Aufgestellt:

IDN Ingenieur-Dienst-Nord
Dr. Lange - Dr. Anselm GmbH

Bearbeitet:

Dipl.-Ing Ralf Albrecht
Wasserwirtschaft

Projekt-Nr. 5352-A

Dipl.-Ing. Stefan Meyer
Wasserwirtschaft

Oyten, 17. Februar 2023


Dipl.-Ing. (FH) Jörg Kahlenberg