

# Hydraulische Modellierung

## Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielstellung .....	2
2	Bearbeitungsgrundlagen .....	2
3	Abgrenzung des Modellgebietes .....	2
4	Hydrologische Situation.....	4
5	Modellerstellung und Kalibrierung .....	5
5.1	Verwendetes Berechnungsmodell und Erstellung der Berechnungsnetze .....	5
5.2	Modellansätze und Randbedingungen .....	7
5.3	Modellkalibrierung .....	8
6	Untersuchungsumfang und Ergebnisse der Modellierungen.....	9
6.1	Untersuchte Zustände .....	9
6.2	Ergebnisse der Wasserspiegellagenberechnung.....	10

## Anlagen

<u>Anlagennummer</u>	<u>Inhalt</u>
Anlage 1	Wasserspiegellagen im Ist- und Planzustand entlang der Achse der Schwarzen Elster
Anlage 2	Fließgeschwindigkeiten im Ist- und Planzustand entlang der Achse der Schwarzen Elster

## 1 Veranlassung und Zielstellung

Die hydraulische Modellierung erfolgte im Rahmen der Entwurfsplanung für die Hochwasserschutzmaßnahmen in Herzberg, Teilobjekt 1 (vgl. Unterlage 1). Ziel war die Modellierung des bestehenden und des geplanten Zustandes, um das Hochwasserabflussverhalten im Stadtgebiet Herzberg beurteilen zu können und die maßgebenden Bemessungskennwerte und hier insbesondere den Wasserstand für das Bemessungshochwasser BHQ = HQ(100) zu ermitteln.

Gleichzeitig sollte mithilfe des Modells nachgewiesen werden, dass die geplanten Maßnahmen nicht zu einer Verschlechterung gegenüber dem im Hochwasserrisikomanagementplan (HWRMP) Schwarze Elster ausgewiesenen Zustand führen. Insbesondere waren die Auswirkungen der geplanten Ertüchtigung der Hochwasserschutzanlage und der im linken Vorland an der querenden Bundesstraße B 87 geplanten Flutmulde zu untersuchen.

Für die durchzuführenden Modellierungen wurde ein zweidimensionales hydronumerisches Modell (2D-HN-Modell) unter Nutzung der Software HYDRO-AS-2D 3 / SMS 12 aufgebaut.

## 2 Bearbeitungsgrundlagen

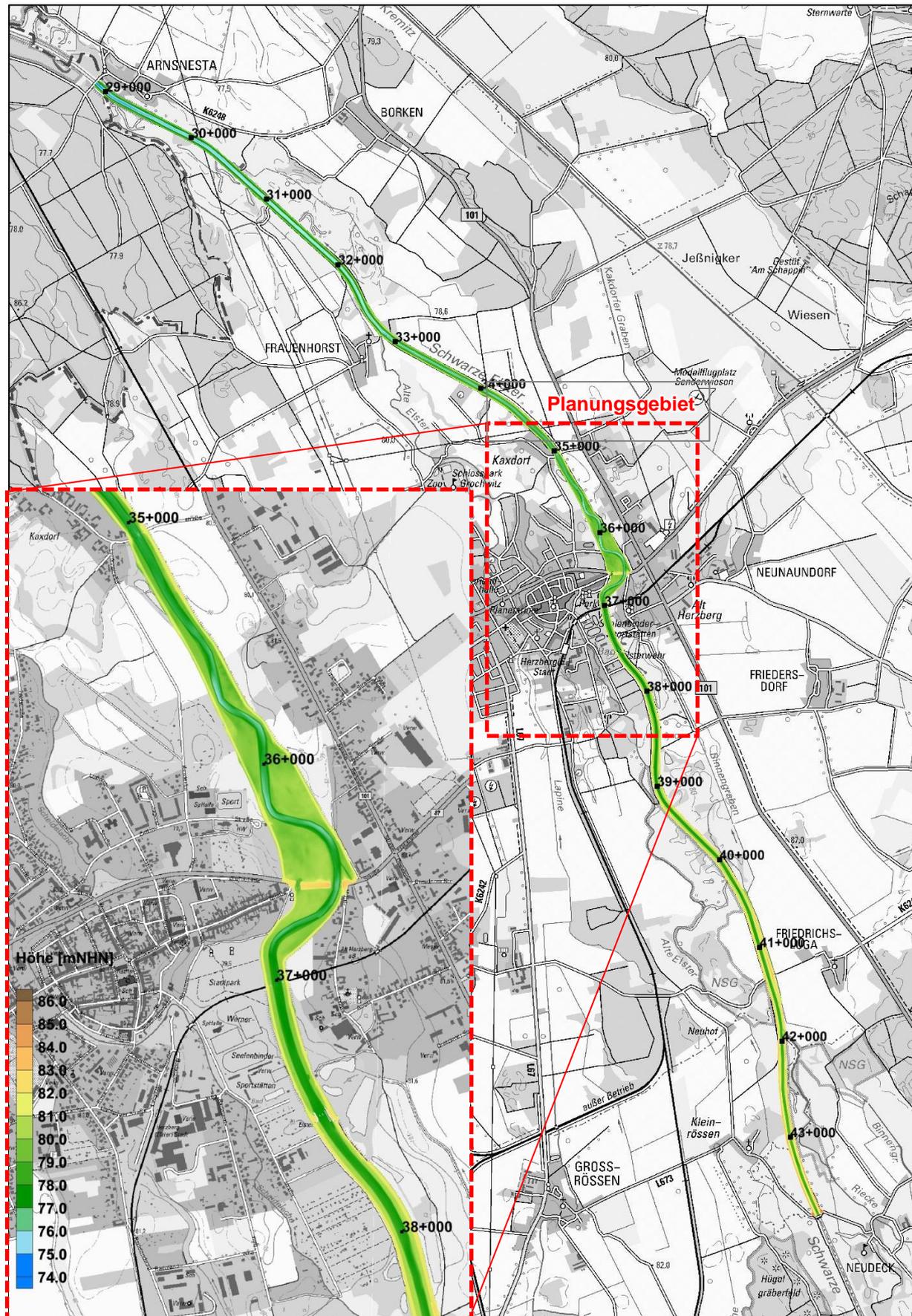
Die hydronumerische Modellierung zum Hochwasserschutz Herzberg basiert auf folgenden Grundlagen:

- /1/ Ertüchtigung Hochwasserschutzanlagen an der Schwarzen Elster, Ortslage Herzberg, AG: BDC Dorsch Consult Ingenieurgesellschaft mbH, AN: Hemminger Ingenieurgesellschaft mbH, Stand 08/2013
- /2/ Hochwasserschutzmaßnahme Herzberg, Schwarze Elster, Maßnahme SE 3p, Hemminger Ingenieurgesellschaft mbH (Auftragsnummer 730-15174), Stand 01/2017
- /3/ Hochwasserrisikomanagementplan HWRMP Schwarze Elster, HKV Hydrokontor, Stand 08/2012
- /4/ Ergebnisse Hydraulik HWGK, BCE Erfurt, Stand 08/2012
- /5/ Hydrologische Fachauskunft, Kennwerte und Stammdaten Pegel Herzberg und Bad Liebenwerda, Landesamt für Umwelt, Abteilung Wasserwirtschaft 1, 24.03.2016
- /6/ Hochwasserschutz Herzberg / Elster - SE 3p, Landkreis Elbe-Elster, Ertüchtigung Hochwasserschutzanlagen Schwarze Elster, AG: LUGV Brandenburg, BDC Dorsch Consult Ingenieurgesellschaft mbH, Vorplanung, 02/2014

## 3 Abgrenzung des Modellgebietes

Das hydronumerische Modell umfasst das Gewässerbett der Schwarzen Elster und ihre beidseitig begleitenden Schutzanlagen bis zu ihren luftseitigen Deichfüßen von der Brücke in Neudeck bei Fluss-km 43+850 bis zur Brücke in Arnsnesta bei Fluss-km 28+870 (Abbildung 3.1). Es bildet das Hochwasserabflussprofil der Schwarzen Elster im Stadtgebiet von Herzberg (Teilobjekt 1), ca. von Fluss-km 35+000 bis 38+000, sowie 9 km im Oberwasser und 6 km im Unterwasser ab. Die Modellausdehnung wurde so gewählt, um im weiteren Planungsprozess auch die Auswirkungen der Maßnahmen des Teilobjektes 2 (Flügeldeiche ober- und unterhalb von Herzberg) valide abbilden zu können.

Abbildung 3.1: Übersicht Modell- und Planungsgebiet



## 4 Hydrologische Situation

Für die Entwurfs- und Genehmigungsplanung wurde vom Landesamt für Umwelt eine Hydrologische Fachauskunft /5/ zur Verfügung gestellt. Maßgebend für das Planungsgebiet ist der seit 1998 in Betrieb befindliche Pegel Herzberg. Er misst den Wasserstand unmittelbar unterhalb der B 87. Für die Reihe von 1998 bis 2015 ergeben sich folgende Abflusshauptwerte:

$$\begin{aligned} \text{NQ} &= 1,59 \text{ m}^3/\text{s}, \\ \text{MQ} &= 15,1 \text{ m}^3/\text{s} \text{ und} \\ \text{HQ} &= 127 \text{ m}^3/\text{s}. \end{aligned}$$

Der nächstgelegene Pegel unterhalb von Herzberg ist Löben (Sachsen-Anhalt) in einer Entfernung von 14,8 km. Er ist der letzte Pegel der Schwarzen Elster vor ihrer Mündung in die Elbe. Oberhalb befindet sich in einer Entfernung von 23,2 km der Pegel Bad Liebenwerda. Eine Übersicht der im Mittel- und Unterlauf der Schwarzen Elster befindlichen Pegel zeigt die nachfolgende Tabelle 2.2.

Tabelle 4.1: Übersicht der Pegel im Einzugsgebiet der Schwarzen Elster (unvollständig)

Pegel	Gewässer	Lage [Fluss-km]	Bundesland	A <sub>EZG</sub> in km <sup>2</sup>	Pegelnullpunkt
Löben	Schwarze Elster	21+600	Sachsen-Anhalt	4327	73,07 mNN
<b>Herzberg</b>	<b>Schwarze Elster</b>	<b>36+400</b>	<b>Brandenburg</b>	<b>4146</b>	<b>77,27 mNHN</b>
Bad Liebenwerda	Schwarze Elster	59+600	Brandenburg	3184	83,91 mNHN
Lauchhammer	Schwarze Elster	87+500	Brandenburg	1513	91,86 mNHN
Biehlen 1	Schwarze Elster	103+000	Brandenburg	1134	96,50 mNHN
Neuwiese	Schwarze Elster	124+200	Sachsen	669	109,72 mHN
Ortrand	Pulsnitz	20+600	Brandenburg	245	102,11 mNHN

Der Pegel Herzberg liegt bei Niedrig- und Mittelwasser im Rückstau des 3,5 km unterhalb gelegenen Wehres Frauenhorst. Bei Hochwasser wird das Wehr gezogen und es findet keine Beeinflussung der Wasserspiegellagen im Bereich des Pegels statt.

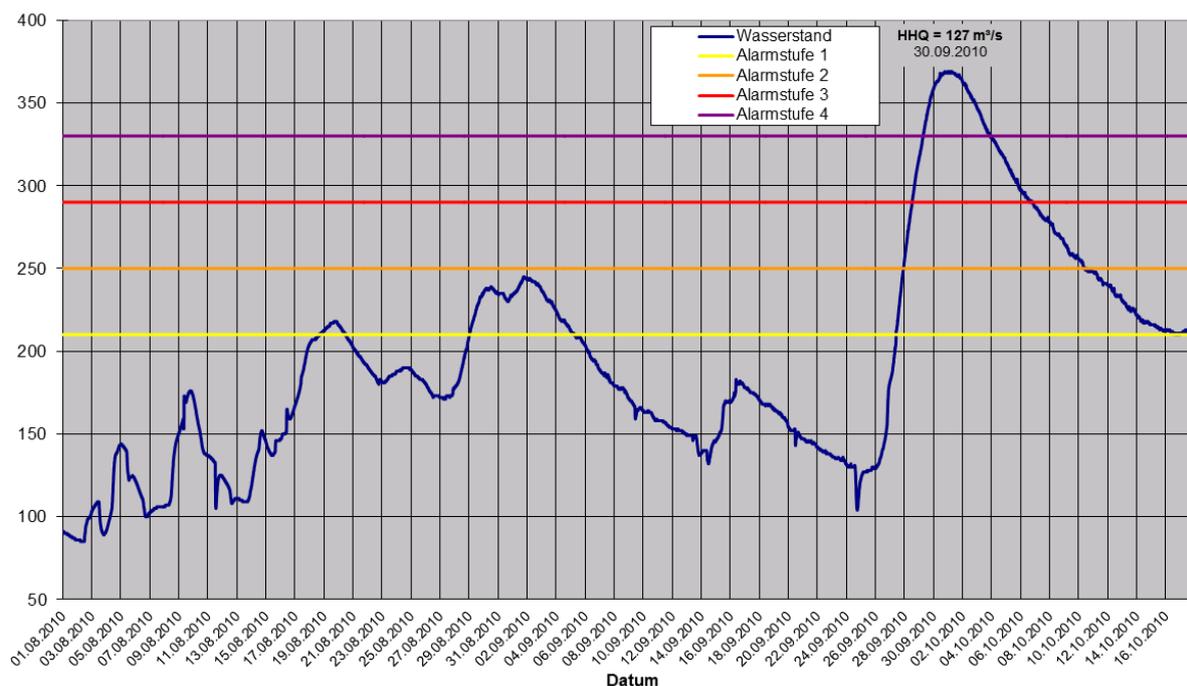
Zur Bestimmung des hydrologischen Längsschnittes der Schwarzen Elster im Planungsgebiet wurde gemäß /5/ das Verfahren HQ-EX 3.0 (WASY 2005) angewendet. Aufgrund der kurzen Beobachtungsreihe des Pegels Herzberg wurden seine HQ<sub>T</sub>-Werte unter Berücksichtigung des Einzugsgebietszuwachses vom oberhalb gelegenen, langjährig beobachteten Pegel Bad Liebenwerda (Jahresreihe 1961 bis 2015) abgeleitet. Sie sind daher als unsicher zu betrachten (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: HQ<sub>T</sub>-Werte für die Pegel Bad Liebenwerda und Herzberg gemäß /5/

Pegel	HQ <sub>2</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>5</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>10</sub> [m <sup>3</sup> /s] <sup>2</sup>	HQ <sub>25</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>50</sub> [m <sup>3</sup> /s]	HQ <sub>100</sub> [m <sup>3</sup> /s]
<b>Herzberg</b>	<b>65,7</b>	<b>94,8</b>	<b>111</b>	<b>131</b>	<b>143</b>	<b>154</b>
Bad Liebenwerda	52,8	76,2	89,6	105	115	124

In den Jahren 2010 und 2013 traten an der Schwarzen Elster größere Hochwasserereignisse auf. Der zum Scheiteldurchgang am 30.09.2010 aufgetretene Wasserstand von 365 cm stellt den bisher höchsten Messwert seit Betrieb des Pegels Herzberg dar. Gemäß Durchflusstabelle wurde diesem Ereignis ein Scheitelabfluss von 127 m<sup>3</sup>/s zugewiesen, der gemäß Tabelle 4.2 ca. einem HQ<sub>25</sub> entspricht. Der zugehörige Wellenverlauf am Pegel Herzberg ist in Abbildung 4.1 dargestellt. Am 05.06.2013 wurde mit einem Wasserstand von 345 cm und einem Durchfluss von 108 m<sup>3</sup>/s das bisher zweitgrößte Ereignis am Pegel Herzberg registriert. Es entsprach ca. einem HQ<sub>10</sub>.

Abbildung 4.1: Wasserstandsganglinie Hochwasser September 2010 (höchstes bisher gemessenes Hochwasser)



## 5 Modellerstellung und Kalibrierung

### 5.1 Verwendetes Berechnungsmodell und Erstellung der Berechnungsnetze

Der Richtlinie 2007/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2007 folgend, wurden auf nationaler Ebene Hochwasserrisikomanagementpläne erarbeitet. Die für die Schwarze Elster im Planungsgebiet erstellten Hochwassergefahren- und -risikokarten basieren auf einer kombinierten ein- und zweidimensionalen hydronumerischen Simulation mit dem Programm SOBEK1D2D /3/, /4/. Sie wurde im Auftrag der Länder Brandenburg und Sachsen-Anhalt im Jahr 2012 durchgeführt.

Im Rahmen der vorliegenden Planung wurde ein zweidimensionales hydronumerisches Modell (2D-HN-Modell) unter Nutzung der Software HYDRO-AS-2D 3 / SMS 12 aufgebaut. Ihm liegt ein aus Dreiecks- bzw. Vierecks-Elementen bestehendes digitales Geländemodell zugrunde. Während die Bearbeitung des Geländemodells und die Zuweisung spezifischer Kennwerte (Materialeigenschaften, etc.) im Programm SMS vorgenommen wird, dient der direkt angekoppelte Berechnungskern HYDRO\_AS-2D der Lösung von Finite-Volumen-Gleichungen anhand der zweidimensionalen tiefengemittelten Strömungsgleichungen. Dies geschieht durch Integration der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung und der Reynolds-

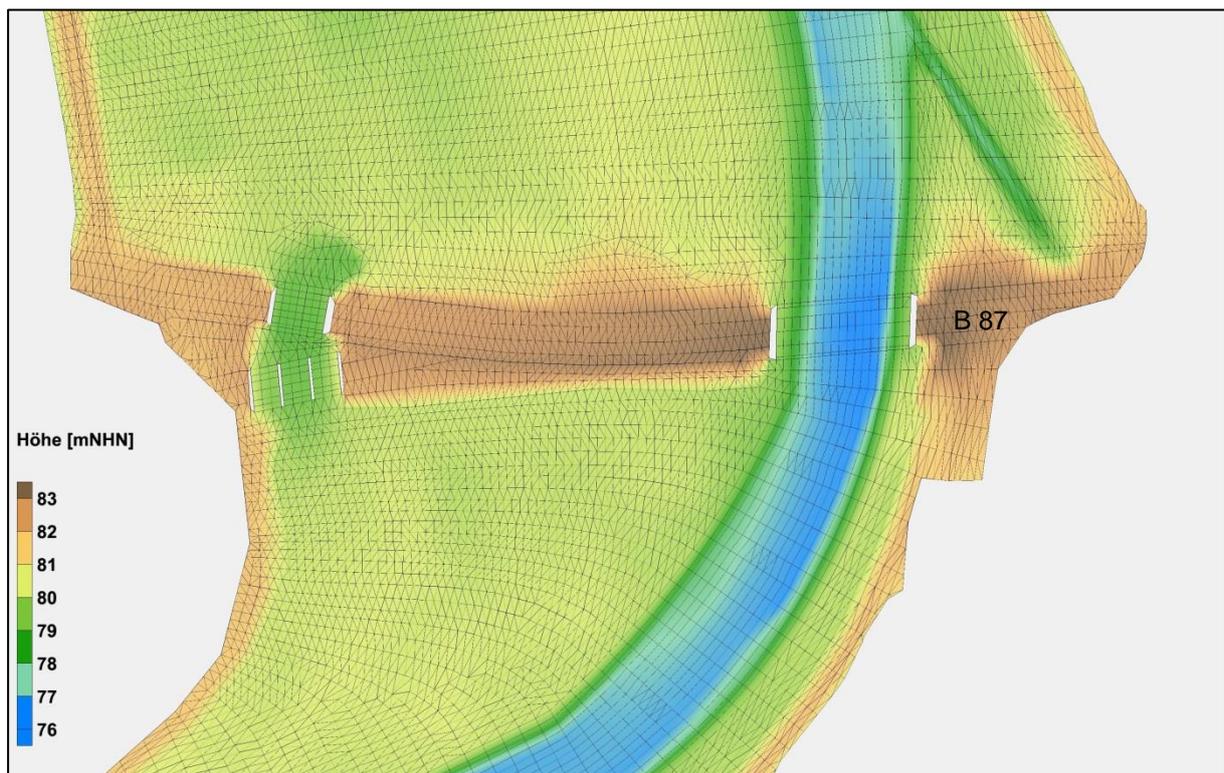
bzw. Navier-Stokes-Gleichungen für inkompressible Flüssigkeiten über die Wassertiefe unter Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung. Damit ist die Berechnung komplizierter stationärer sowie instationärer Strömungs- und Abflusssituationen bei Hoch-, Mittel- und Niedrigwasserverhältnissen möglich.

Die zweidimensionale Simulation liefert skalare und vektorielle Ergebnisse (Wasserstandshöhen, Größe und Richtung von Fließgeschwindigkeiten, Schubspannungen etc.) für die benetzten Modellknoten und gibt Aufschluss über Überschwemmungsgrenzen, Abflussaufteilungen im Flussschlauch und den Vorländern sowie bei instationären Berechnungen zu Retentionswirkung und Überflutungsdauer.

Das Programm HYDRO\_AS-2D kann aufgrund der angewandten Gleichungen sowohl strömende als auch schießende Abflusszustände berechnen und ist in der Lage, komplizierte Strömungsprozesse an Bauwerken (eingestaute und überströmte Brücken, unter- und überströmte Wehre, etc.) korrekt abzubilden. Wehre können sowohl durch eine entsprechende Einarbeitung in die Geländeoberfläche als auch, bei Vorliegen eines hauptsächlich als Überfall charakterisierbaren Abflusses, durch spezielle Bauwerksdatensätze erfasst werden.

Das 2D-HN-Modell der Schwarzen Elster basiert im Istzustand auf der für die Vorplanung erstellten terrestrischen Vermessung /3/, die durch eine lokale Nachvermessung /4/ ergänzt wurde. Das Höhensystem ist DHHN92 [mNHN].

Abbildung 5.1: Modellnetz und Höhenbelegung im Istzustand (Auszug)

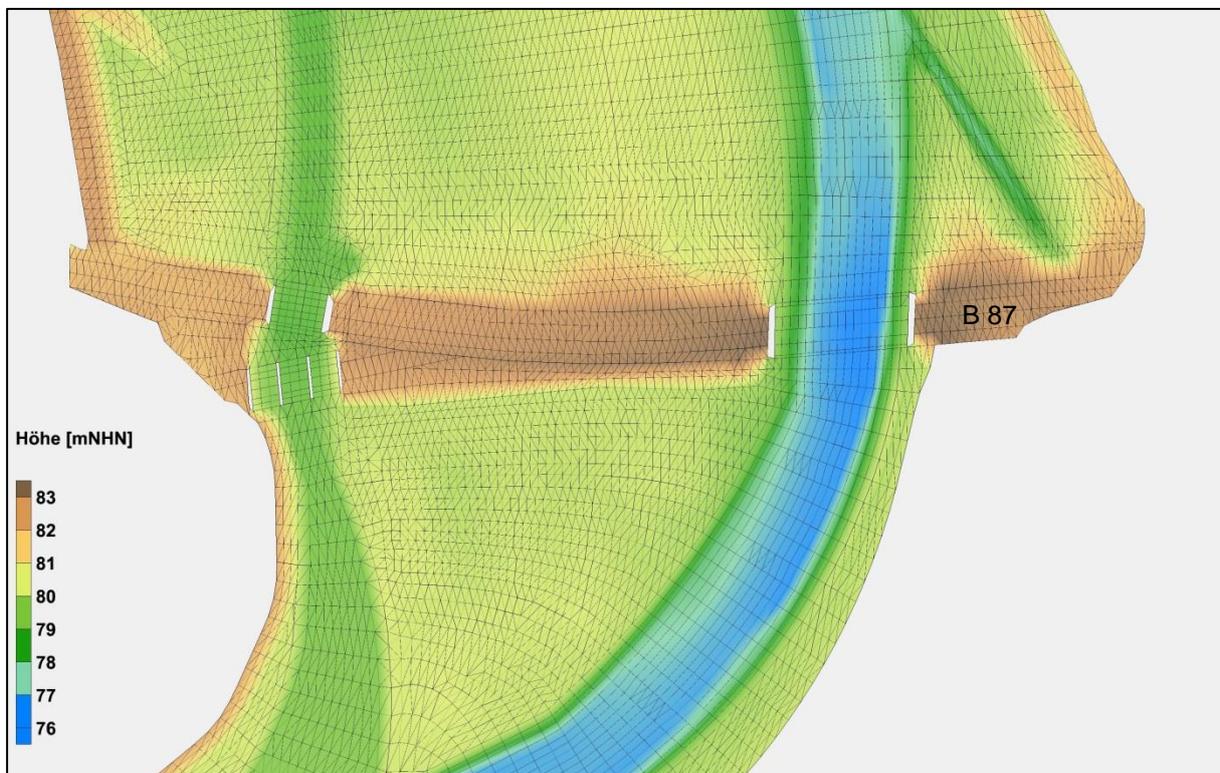


Im Planzustand wurde das Modell des Istzustandes weitgehend übernommen und nur im Bereich der geplanten Hochwasserschutzanlagen und der Flutmulde angepasst. Das Berechnungsnetz im Gewässerbett und auf den Vorländern, die angesetzten Randbedingungen sowie die globalen Modellparameter blieben unverändert.

Die Einarbeitung der Geometrie der geplanten Hochwasserschutzanlagen und der Flutmulde erfolgte anhand der vorliegenden Planungsunterlagen. Da die technischen Zeichnungen bereits in dreidimensionaler Form mithilfe des Programmes AutoCAD Civil 3D erstellt wurden, war die Übernahme der maßgeblichen Bruchkanten (Oberkante Deich, Deichfüße, Unterkannte Hochwasserschutzwand etc.) möglich.

Grundlage für die Bestimmung der Schnittkanten des Bauwerkes mit dem anstehenden Gelände war das digitale Geländemodell das auch für das 2D-HN-Modell verwendet wurde. Nachdem aus dem Istzustandsmodell die Elemente im Bereich der Aufstandsfläche der geplanten Maßnahmen gelöscht wurden, erfolgte eine Neumodellierung der beidseitigen Fuß- und Kronenlinien der Deiche sowie der Flutmulde. In Abschnitten mit Hochwasserschutzwänden wurden die wasserseitigen Böschungen bis zu den Wandfüßen modelliert. Die Hochwasserschutzwände bilden den Modellrand.

Abbildung 5.2: Modellnetz und Höhenbelegung im Planzustand (Auszug)



## 5.2 Modellansätze und Randbedingungen

Mit dem 2D-HN-Modell fanden stationäre Berechnungen Hochwasserabflüsse  $HQ_T$  mit Wiederkehrintervallen  $T$  von 2 bis 200 Jahren statt. Die entsprechenden Durchflüsse sind aus der Tabelle 4.2 ersichtlich.

Als Auslaufrandbedingung wurde eine Wasserstands-Abfluss-Beziehung angesetzt, die aus den Ergebnissen der im Rahmen von /3/, /4/ für die Schwarze Elster bereits durchgeführten Berechnungen abgeleitet wurde. Weitere maßgebliche Randbedingungen sind die Rauheitsbeiwerte  $k_{St}$ , die in charakteristischen Materialarten zusammengefasst wurden. Die angesetzten Werte sind in nachfolgender Tabelle dargestellt und wurden im Rahmen der Modellkalibrierung validiert (vgl. Kapitel 5.3).

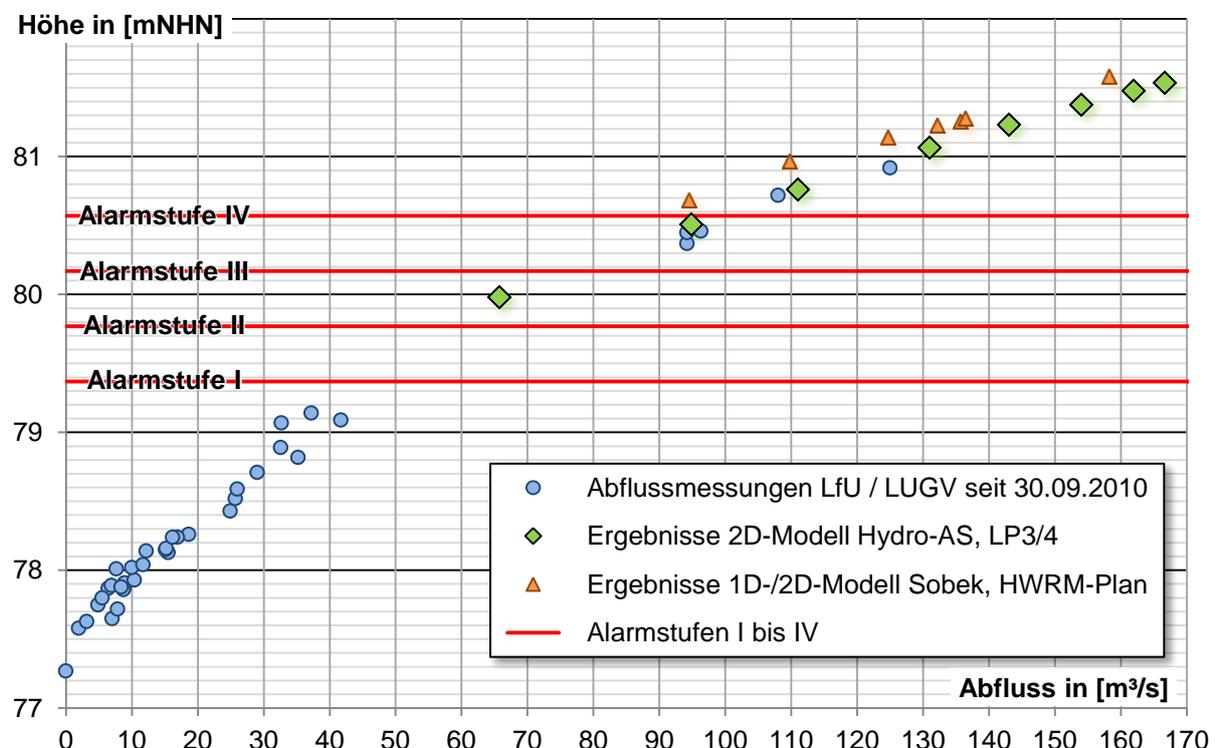
Tabelle 5.1: Angesetzte Rauheitsbeiwerte  $k_{St}$  in  $[m^{1/3}/s]$

Materialart	$k_{St}$	Materialart	$k_{St}$
Flussbett Schwarze Elster	20	Grün- und Freiflächen	16
Vorland	20	Wald / Forst	12
Deichböschung	20	Wirtschaftsgrünland	22
Straßen	50	Bahnanlagen	20
Wege	40	Betonflächen	60
Siedlung	14	Gräben	30

### 5.3 Modellkalibrierung

Der Vergleich der Ergebnisse der 1D-/ 2D-Simulation gemäß HWRM-Plan /3/, /4/ und der 2D-Simulation gemäß der aktuellen Planung treten im Bereich von Herzberg Abweichungen auf. Abbildung 5.3 zeigt die Ergebnisse der beiden Modellierungen sowie die seit 2010 durchgeführten Abflussmessungen am Pegel Herzberg. Es ist ersichtlich, dass die aktuellen Ergebnisse die Abflussmessungen deutlich besser abbilden, während die bisherige Modellierung bei Hochwasserabflüssen um 10 cm bis 20 cm zu hohe Werte ergaben. Außerhalb von Herzberg sind die Abweichungen zwischen beiden Modellansätzen geringer.

Abbildung 5.3: Vergleich der modellierten Wasserspiegellagen mit den Abflussmessungen am Pegel Herzberg



## 6 Untersuchungsumfang und Ergebnisse der Modellierungen

### 6.1 Untersuchte Zustände

Im Rahmen der planungsbegleitenden Modellierung wurden Berechnungen für den Istzustand und den Planzustand durchgeführt. Die untersuchten Modellzustände sind nachfolgend beschrieben.

#### Zustand

#### Ansätze

#### **Istzustand mit Überströmung**

- Die Deiche entsprechen in ihrer aktuellen Höhe und Kubatur dem derzeitigen Zustand und es kommt ohne Verteidigungsmaßnahmen linksseitig ab etwa HQ<sub>10</sub> und rechtsseitig ab etwa HQ<sub>50</sub> zu Überströmungen.
- Der im Flussbett abgeführte Abfluss verringert sich sukzessive infolge der Abströmung in das Hinterland.
- Die Berechnung erfolgte für einen Abfluss von 162 m<sup>3</sup>/s; der Wert entspricht dem Hochwasserdurchfluss HQ<sub>100</sub> zum Zeitpunkt der Erstellung des HWRM-Planes /3/, /4/.

#### **Istzustand ohne Überströmung**

- Es findet keine Überströmung der beidseitig vorhandenen Deiche statt (z.B. durch Verteidigung und Aufkadung der überflutungsgefährdeten Deichabschnitte).
- Der im Flussbett abgeführte Abfluss bleibt konstant.
- Berechnungen erfolgten für Hochwasserdurchflüsse von HQ<sub>2</sub> bis HQ<sub>200</sub> bezogen auf den Pegel Herzberg (Tabelle 4.2) sowie den Durchfluss von 162 m<sup>3</sup>/s.
- Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Anlage 1 und 2 dargestellt.

#### **Planzustand**

- Die in der vorliegenden Planung vorgesehenen Maßnahmen zur Ertüchtigung des Hochwasserschutzsystems und zur Errichtung der Flutmulde im Bereich der Querung der B 87 sind in das Planzustandsmodell eingearbeitet.
- Der im Flussbett abgeführte Abfluss bleibt konstant,
- Berechnungen erfolgten für Hochwasserdurchflüsse von HQ<sub>2</sub> bis HQ<sub>200</sub> bezogen auf den Pegel Herzberg (Tabelle 4.2),
- Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Anlage 1 und 2 dargestellt.

Im Istzustand mit Überströmung der Deiche kommt infolge der beidseitigen Abströmungen in das Deichhinterland und Überflutung der Ortslage zu einer Entlastung des Flussbettes. Daraus resultiert eine wesentliche Verringerung der Wasserspiegellagen und Fließgeschwindigkeiten in der Schwarzen Elster. Im Vergleich zum Istzustand ohne Überströmung ergibt sich bei einem Abfluss von 162 m<sup>3</sup>/s im Bereich des Pegels Herzberg ein ca. 60 cm niedrigerer Wasserstand.

Im Rahmen der vorliegenden Planung bildet der Istzustand ohne Überströmung, d.h. der Ansatz einer ausreichenden Funktionssicherheit des bestehenden Hochwasserschutzsystems den Referenzzustand für die weitere Betrachtung.

Es ist davon auszugehen, dass zumindest ein frühzeitiges Überströmen und Versagen der Deiche durch Verteidigungsmaßnahmen und Aufkadung der tief liegenden Bereiche verhindert wird. Bei einem seltenen Hochwasser muss damit gerechnet werden, dass die bestehenden Deiche nicht standhalten und deren Versagen ist wahrscheinlich.

## 6.2 Ergebnisse der Wasserspiegellagenberechnung

Die im Stadtgebiet von Herzberg vorhandenen Deiche werden im Rahmen der vorliegenden Planung für das Teilobjekt 1 weitgehend auf ihrer derzeitigen Trasse aufgehöhht und verstärkt oder durch das Einbringen von Spundwänden ertüchtigt. Die geplanten Anlagen werden auf ein  $HQ_{100}$  bemessen und müssen nicht mehr wie bisher ab Hochwasserereignissen  $HQ_{10}$  verteidigt werden. Die Deichanlagen oberhalb des Stadtgebietes verbleiben vorerst in ihrem bestehenden Zustand. Die Deichoberkante liegt in kritischen Abschnitten etwa in Höhe des Wasserspiegels bei Abfluss eines  $HQ_{25}$ . D.h. bei Hochwasserereignissen  $\geq HQ_{25}$  wird es weiterhin zu Überflutungen oberhalb von Herzberg kommen, die sich bis in das Stadtgebiet fortsetzen können. Der mit Umsetzung des Teilobjektes 1 erreichte Schutzgrad liegt somit in der Größenordnung des  $HQ_{25}$ .

Entsprechend der in der Vorplanung /6/ entwickelten Vorzugsvariante ist vorgesehen, im Rahmen der Planung des Teilobjektes 2 die Schutzlinien ober- und unterhalb von Herzberg auf ein  $HQ_{100}$  zu ertüchtigen und mittels Flügeldeichen an ausreichend hoch liegendes Gelände anzuschließen. Nach Umsetzung der Maßnahmen des Teilobjektes 2 wird ein Schutzgrad  $HQ_{100}$  für das Stadtgebiet von Herzberg gewährleistet sein.

Die geplanten Maßnahmen finden auf den Vorländern der Schwarzen Elster, außerhalb des Gewässerbettes, statt. Eine Beeinflussung der Niedrig- und Mittelwasserverhältnisse kann somit ausgeschlossen werden. Aufgrund der in der Regel geplanten Erhöhung und Ertüchtigung in Richtung Landseite bleibt auch das Hochwasserabflussprofil im Wesentlichen erhalten. Im Bereich der B 87 wird im linken Vorland eine Flutmulde profiliert, die etwa ab  $HQ_2$  beaufschlagt wird. Sie verbessert die Anströmung zu den hier befindlichen Durchlässen und entlastet bei häufigen Hochwasserereignissen die Straßenbrücke der B 87. Flutmulde und Deichrückverlegung im rechten Vorland kompensieren die im linksseitigen Vorland aus naturschutzfachlichen Gründen erforderliche Verschiebung der Hochwasserschutzlinie in Richtung der Schwarzen Elster zwischen der Bahnbrücke und der B 87. Die Ergebnisse der Wasserspiegellagenberechnungen zeigen, dass selbst bei einem  $HQ_{200}$  im Ist- und Planzustand unveränderte Wasserspiegellagen und Fließgeschwindigkeiten in der Schwarzen Elster vorliegen (vgl. Abbildung 6.1 und Abbildung 6.2 sowie Anlage 1 und 2).

Wie vorab beschrieben, kommt es bei Umsetzung der Maßnahmen des Teilobjektes 1 bezogen auf das  $HQ_{100}$  zu keiner merklichen Veränderung des Überschwemmungsgebietes und damit zu keinem Eingriff in den bestehenden Retentionsraum der Schwarzen Elster. Erst durch die Umsetzung der Maßnahmen des Teilobjektes 2 wird die Flutung des Stadtgebietes von Herzberg bei seltenen Hochwasserereignissen unterbunden. Der hiermit verbundene Eingriff in den Retentionsraum ist in der weiteren Planung für das Teilobjekt 2 zu untersuchen und durch die entsprechend des HWRM-Plans /3/ vorgesehenen Aufweitungen des Überschwemmungs- und Retentionsraumes außerhalb des Stadtgebietes zu kompensieren.

Abbildung 6.1: Wassertiefen und Strömungsausbildung im bei  $HQ_{100}$  im Istzustand

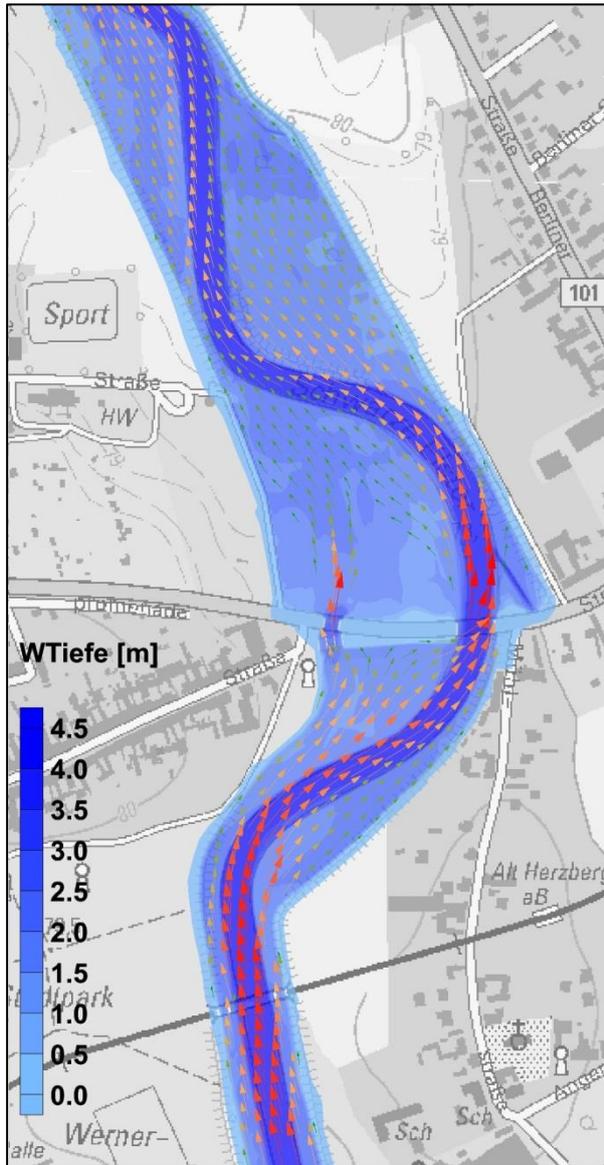


Abbildung 6.2: Wassertiefen und Strömungsausbildung im bei  $HQ_{100}$  im Planzustand

