

FORSCHUNGSBERICHT 2021-10

2D-HN-MODELLIERUNG TEILABRIEGELUNG ALTELBARM

2D-HN-MODELLIERUNG TEILABRIEGELUNG ALT- ELBARM

Auftrag vom: 16.09.2021

Auftraggeber: Landeshauptstadt Dresden, Umweltamt
Postfach 12 00 20
01001 Dresden

Auftragnehmer: Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Technische Hochschule Nürnberg
Georg Simon Ohm
Keßlerplatz 12
90489 Nürnberg

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Carstensen

Bearbeiter: Dipl.-Ing. Jens Wilhelm
M. Eng. Felix Windolf

Datum: 23. Februar 2022

.....
Prof. Dr.-Ing. habil. Dirk Carstensen

.....
Dipl.-Ing. Jens Wilhelm

.....
M. Eng. Felix Windolf

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	3
Tabellenverzeichnis	3
Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	4
1 Veranlassung und Aufgabenrahmen	5
2 Datengrundlage	6
3 Beschreibung des Ist-Zustandes	7
4 Beschreibung der Maßnahmen.....	7
5 Modellierung	8
6 Simulation und Auswertung	9
7 Ergebnisse.....	13
7.1 Ist-Zustand, HQ100 ($Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$)	13
7.2 Ist-Zustand, HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$)	14
7.3 Plan-Zustand, HQ100 ($Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$)	15
7.4 Plan-Zustand, HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$)	17
7.5 Abflussverteilung	20
8 Fazit.....	22
9 Literaturverzeichnis.....	24
10 Anlagen	25

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1	Zu untersuchender Trassenverlauf für einen technischen HWS zur Teilabriegelung des Altelbarms in Laubegast	7
Abbildung 6-1	Simulationsergebnisse PZ, HQ100, Lageplan mit Überflutungsfläche, Wassertiefen, Richtungspfeile der tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit (Detail)	11
Abbildung 6-2	Simulationsergebnisse PZ, HQ100, Lageplan mit Überflutungsfläche, Wasserspiegellage, Richtungspfeile der tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit (Detail)	11
Abbildung 6-3	Simulationsergebnisse IZ – PZ, HQ100, Differenzendarstellung der Änderung der Überflutungsflächen und der Wasserspiegellage	12
Abbildung 7-1	Simulationsergebnisse IZ, HQ100 ($Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$), Wasserspiegellage (Detail), Fließwege (türkis)	13
Abbildung 7-2	Simulationsergebnisse IZ, HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$), Wasserspiegellage (Detail), Fließwege (türkis)	14
Abbildung 7-3	Simulationsergebnisse PZ, HQ100 ($Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$), Wasserspiegellage (Detail), Fließwege (türkis)	15
Abbildung 7-4	Vergleich der Simulationsergebnisse IZ - PZ HQ100 ($Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$), Überflutungsfläche und Wasserspiegellage (Detail)	16
Abbildung 7-5	Simulationsergebnisse PZ, HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$), Wasserspiegellage (Detail), Fließwege (türkis)	17
Abbildung 7-6	Vergleich der Simulationsergebnisse IZ - PZ HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$), Überflutungsfläche und Wasserspiegellage (Detail)	18
Abbildung 7-7	Vergleich der Simulationsergebnisse IZ – PZ+ (modifizierte Kronenhöhe + 20 cm), HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$), Überflutungsfläche und Wasserspiegellage (Detail)	19

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1	Attribute der übergebenen Modellknoten-Shapefiles und deren Bedeutung	10
Tabelle 7-1	Abflussverteilung der wesentlichen Fließwege im UG	21

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

2d-HN-Modell	Zweidimensionales hydrodynamisch-numerisches Modell
El-km	Elbe-Kilometer
FB	Forschungsbericht
GE	Gewässerentwicklung
HWS / HWSA	Hochwasserschutz / Hochwasserschutzanlage
HWSK	Hochwasserschutzkonzept
HQ, HQ(T)	Hochwasserabfluss (bestimmter Jährlichkeit)
IWWN	Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Hochschule Nürnberg Georg Simon Ohm
IZ	Ist-Zustand
LWB	Lockwitzbach
LTV	Landestalsperren Verwaltung Sachsen
MK	Maßnahme gemäß Aufgabenstellung Umweltamt Dresden
NSFG	Niedersedlitzer Flutgraben
PZ	Plan-Zustand
UG	Untersuchungsgebiet
ÜG	Festgesetztes Überschwemmungsgebiet
WSPL	Wasserspiegellage

1 Veranlassung und Aufgabenrahmen

Zur Erfüllung des Stadtratsbeschlusses zu Vorlage 0168/19, Punkt 4, vom 04.06.2020 soll eine 2D-HN-Modellierung des Altelbarms zur Untersuchung der Auswirkungen einer Teilabriegelung für den Teilabschnitt des Altelbarmes, zwischen *Bellingrathstraße/Spielplatz Berchtesgadener Straße* und Lockwitzbach in Höhe der Kleingartenanlagen Neu-Leuben - Elbtal II durchgeführt werden. Als genereller Schutzgrad für diese Untersuchungen ist ein HQ100 vorgesehen. Das Ergebnis dieser Untersuchung soll in Planungen zum Hochwasserschutz (HWS) und in die Gewässerentwicklung (GE) in diesem Bereich sowie in die Überprüfung des Konzeptes zur hochwasserangepassten Gestaltung des Abflussbereiches der Elbe im Altelbarm zwischen Zschieren und Tolkewitz einfließen.

Mit dem Vertrag GZ: 86.36-63-0261/00162 vom 16.09.2021 wurde das Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Hochschule Nürnberg (IWWN) durch das Umweltamt der Landeshauptstadt Dresden mit folgender Forschungsleistung beauftragt:

„2D-HN-Modellierung Teilabriegelung Altelbarm“

Gemäß Angebotsanfrage wurden folgende Bearbeitungsschritte vereinbart:

- Aufbereitung der vorhandenen und übergebenen Daten auf der Grundlage der Modellierung des Plan-Zustands zur Untersuchung der HWSK-Maßnahme M30 gemäß Forschungsbericht FB 2017/08-1.
- Durchführung der Strömungssimulation (HQ200) für den Ist-Zustand (Modell des Plan-Zustandes gemäß Forschungsbericht FB 2017/08-1) als Vergleichszustand für die zu untersuchenden Abriegelungen, inkl. Aufbereitung und Bewertung der Ergebnisse
- Aufbereitung der Datengrundlagen und Modellierung der entsprechenden Maßnahmenbereiche, Implementierung der Abriegelungsvarianten MK1, MK2, MK3, MK3a sowie MK3b
- Durchführung der Strömungssimulation für den Planzustand HQ100, HQ200, inkl. Aufbereitung und Bewertung der Ergebnisse
- Aufbereitung der Berechnungsergebnisse (Übernahme GIS, TIN- und Rastererstellung, Verschnitte usw.), Erstellung eines GIS-Projektes, Darstellung in einer Karte
- Vergleich der Wasserspiegellagen zwischen dem Ist-Zustand (Plan-Zustandes gemäß Forschungsbericht FB 2017/08-1) und dem Plan-Zustand (Abriegelungen) für HQ100 und HQ200
- Endfassung der Unterlagen zur Modellierung in Form eines Erläuterungsberichtes

2 Datengrundlage

Gemäß Aufgabenstellung entspricht die Datengrundlage mit Ausnahme der Vorgaben zum zu untersuchenden Plan-Zustand denen des Forschungsberichtes FB2017-08 Teil 1, darunter:

- ALK (2014),
- ALKIS (Gebäude), ATKIS-DLM (Gebäude),
- BTLNK (2005),
- DTK10 (2015),
- DOP (2013-2015),
- DGM2 (ETRS/UTM33 Stand 2008-2009),
- DGM-W Elbe der BfG (2005), DGM Elbe der LTV (2005),
- Peildaten der Elbe-Flusssohle El-km 20 bis 90 - (Stand: 2013),
- Planungsunterlagen HWSK-Maßnahme M30, Genehmigungsplanung.

Die zu untersuchende HWS-Trassenführung ist hinsichtlich Lage und Umfang detailliert in der Aufgabenstellung beschrieben.

Verwendetes Lagebezugssystem:

ETRS/UTM33, EPSG-Code 25833

Höhenbezugssystem:

Deutsches Haupthöhennetz 1992; DHHN92

Hydrologischer Ansatz für die (quasi-) stationären Simulationen:

HQ100: $Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$

HQ200: $Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$.

3 Beschreibung des Ist-Zustandes

Um die Auswirkungen der zu untersuchenden Maßnahmen der Teilabriegelung des Altelbarmes auf die Hochwassersituation ermitteln und darstellen zu können, bedarf es der Festlegung und Simulation einer Referenz-Variante (Vergleichsbasis). Gemäß Aufgabenstellung wurde hierfür eine Modellvariante festgelegt, die 2018 zur Untersuchung der Planung für die Umsetzung der HWSK-Maßnahme M30 als Modell für den Plan-Zustand verwendet wurde (siehe FB2017/08-1). Im Rahmen dieser Untersuchung wird diese Variante als Ist-Zustand bezeichnet und somit bereits die Realisierung und Schutzwirkung der HWSK-Maßnahme M30 unterstellt.

4 Beschreibung der Maßnahmen

Grundsätzlich wurde ein vom AG vorgeschlagener und in Bild 1 der Aufgabenstellung gezeigter Verlauf eines mobilen HWS-Systems entlang des Straßenzuges *Laubegaster Ufer* aufgegriffen und für die betreffende Untersuchung als HWS-Trasse entlang des Elbestroms im Plan-Zustand gewählt. Der untersuchte Trassenverlauf wurde dabei mit der Fläche des festgesetzten Überschwemmungsgebietes (ÜG) der Elbe (vom 01.10.2018, geändert am 21.01.2019) abgeglichen und in der Form so gestaltet, dass eine wirksame Teilabriegelung des Altelbarm für den Hochwasserfall HQ100 erzielt werden kann. Der Verlauf der zu untersuchenden HWS-Trassen, wie sie gemäß Aufgabenstellung in das 2D-Modell implementiert werden sollten, ist in Abbildung 4-1 dargestellt. Alle gezeigten Maßnahmen sollen dabei gleichzeitig wirken,

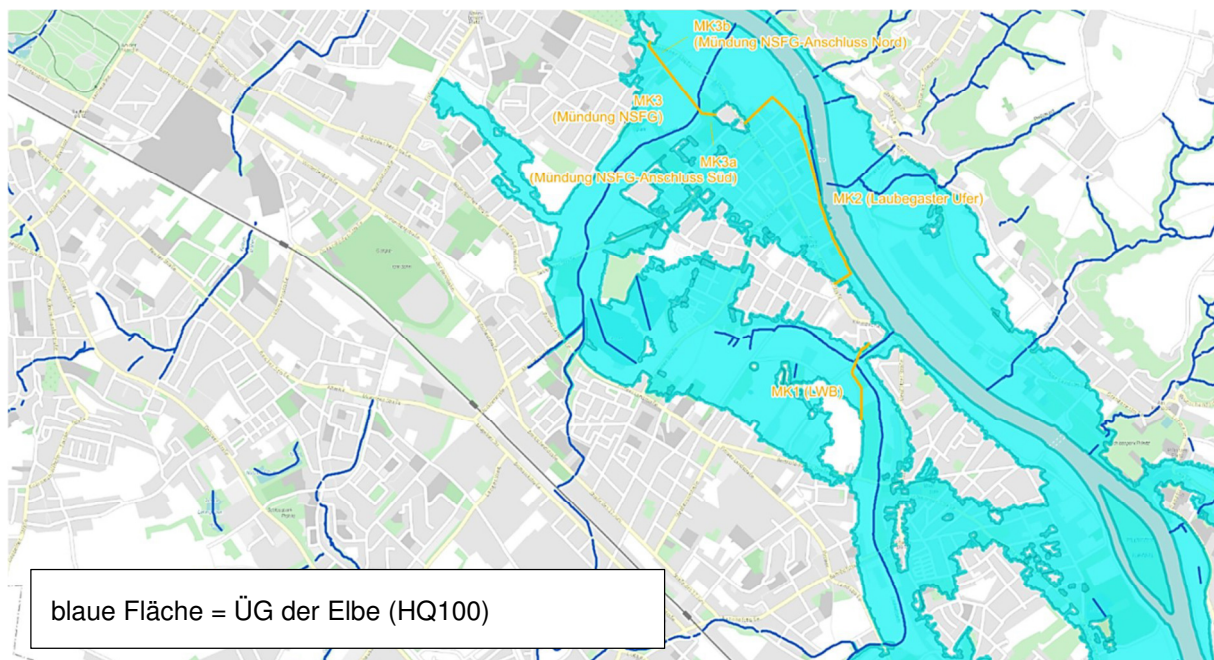


Abbildung 4-1 Zu untersuchender Trassenverlauf für einen technischen HWS zur Teilabriegelung des Altelbarms in Laubegast

Die gewählten und in Abbildung 4-1 gezeigten Maßnahmen werden wie folgt benannt und beschrieben; „MK“ wurde hier zur Abgrenzung gegenüber anderen HWS-Maßnahmen im Altelbarm-Gebiet gewählt:

- **MK1** – Deichbauwerk entlang des linken Ufers des Lockwitzbaches (LWB) zwischen dem Parkplatz der Kleingartenanlage am *Lockwitzbachweg* und dem hochwassersichergelegenen Gelände des Straßenzuges *An der Schiffswerft*; diese Maßnahme soll ein Einströmen des Hochwassers über den Wiesenabzugsgraben in den weiteren Verlauf des Altelbarms verhindern und folglich die Abriegelung bewirken;
- **MK2** – HWSA entlang des Straßenzuges *Laubegaster Ufer* unter Einbeziehung der *Coselgasse* als südlicher Anschluss und der *Niederpoyritzer Straße* als nördlicher Anschluss an Gelände außerhalb des ÜG (nahe des nordöstlichen Endes der *Berchtesgadener Straße*);
- **MK3** – Deichbauwerk entlang der derzeitigen Dammformation in Verlängerung der *Bellingrathstraße* bis zum Spielplatz *Berchtesgadener Straße*;
- **MK3a** – südliche(r) Verbindung/Anschluss der HWS-Maßnahme MK3 an Gelände außerhalb des ÜG;
- **MK3b** – nördliche(r) Verbindung/Anschluss (als straßenbegleitende HWSA) der HWS-Maßnahme MK3 an Gelände außerhalb des ÜG.

Alle neuen, zu untersuchenden HWS-Maßnahmen sollten dabei modelltechnisch in einfacher, zweckmäßiger Weise implementiert werden, die keiner realen Bauausführung (Höhe, Neigung etc.) entsprechen müssen, jedoch ein Überströmen der jeweiligen HWSA für den Bemessungshochwasserfall HQ100 verhindern sollen, damit im Modell eine Teilabriegelung des Altelbarmes wirkungsvoll simuliert werden kann.

5 Modellierung

Hinsichtlich der grundsätzlichen Ansätze bei der Modellierung und der konkreten Modellierung der Vergleichsvariante wird auf FB2017-08, Teil 1 verwiesen.

Für die modelltechnische Umsetzung der Planungsvariante (Plan-Zustand, kurz: PZ) sollten vereinfachte Ansätze gefunden werden, welche geeignet sind, die hydraulische Wirksamkeit und die Auswirkungen auf den Hochwasserabfluss optimal im Modell abzubilden.

Für die Untersuchung der grundsätzlichen Wirksamkeit von linienförmigen HWS-Maßnahmen können vereinfachende Modellansätze zur Anwendung kommen:

1. Verhinderung von Fließwegen durch Definition fester Modellränder im bestehenden Berechnungsnetz des Ist-Zustands (entspricht der Wirkung unendlich hoher Wände unter der Annahme ausreichender Exaktheit hinsichtlich der Linienführung)
2. Behinderung von Fließwegen durch Festlegung der Geländehöhe ausgewählter Modellknoten im bestehenden Berechnungsnetz des Ist-Zustands (entspricht der Wirkung endlich hoher Dämme unter der Annahme ausreichender Exaktheit hinsichtlich der Linienführung)
3. Neumodellierung des Berechnungsnetzes im Bereich der geplanten Maßnahmen unter vereinfachender Annahme der wesentlichen geometrischen Parameter und Integration in das bestehende Berechnungsnetz des Ist-Zustands

(entspricht der Wirkung endlich hoher Dämme mit optimaler Exaktheit hinsichtlich der Linienführung, erfordert in der Regel auch eine Modellanpassung und Neuberechnung des Ist-Zustands)

Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Modellvarianten für den Ist- und den Plan-Zustand zu gewährleisten, müssen beide Modellvarianten in all jenen Bereichen exakt übereinstimmen, welche dieselben Verhältnisse der Realität abbilden. Die beste Übereinstimmung der Modellvarianten wird also dann erzielt, wenn die zweidimensionalen Berechnungsnetze beider Varianten hinsichtlich der Lage der Modellknoten völlig übereinstimmen und Unterschiede ausschließlich an den die Planung betreffenden Knoten als Modellrand, Geländehöhe, oder Rauheitsanpassung erzeugt werden.

Ohne eine Anpassung des Modells für den Ist-Zustand wäre dies in den oben genannten Modellansätzen 1 und 2 der Fall. Ansatz 1 kann hier jedoch nicht als zielführend angesehen werden, da im Fall von HQ200 auch eine Überströmung im Modell möglich sein muss. Ansatz 3 war im Sinne der Aufgabenstellung nicht vorgesehen. Somit war für die Modellierung der geplanten Maßnahmen im Rahmen dieser Untersuchung zunächst nur der Ansatz 2 vorgesehen. Im Laufe der Bearbeitung zeigte sich jedoch, dass dieser Ansatz in einigen Bereichen der geplanten Maßnahmen zu Problemen führt, insbesondere dort, wo die bestehende Struktur des Berechnungsnetzes verhältnismäßig große Knotenabstände aufweist. Während die Netzstruktur dieser Bereiche für die Modellierung der Hochwassersituation im Ist-Zustand die Qualitätsanforderungen erfüllt, erwies es sich zum Teil als nicht zielführend, die geplanten Trassen im bestehenden Modellknotennetz hinsichtlich der Lage und der hydraulischen Wirkung adäquat abzubilden. Um solche Defizite zu vermeiden, wurde die Netzstruktur in einigen Bereichen dadurch verdichtet, dass zusätzliche Modellknoten eingefügt wurden. Diese wurden auch in das Modell des Ist-Zustands übernommen.

Die in der Aufgabenstellung beschriebenen Trassen wurden im Rahmen der Modellierung anhand des bestehenden Geländes und der Simulationsergebnisse des Ist-Zustands HQ100 plausibilisiert und im notwendigen Maße angepasst. Beispielsweise wurde eine Abriegelung der *Tolkewitzer Straße* vorgenommen. Diese Anpassung wurde wie die Maßnahmen MK3a und MK3b als Erweiterung der Maßnahme MK3 behandelt. Der so entstandene Maßnahmenkomplex wird im Folgenden mit MK3+ bezeichnet. Die Kronenhöhe der HWS-Trassen wurde zunächst auf der Grundlage der vorliegenden Simulationsergebnisse HQ100 vorgegeben. Hierbei wurden die Werte der Wasserspiegellage mit einem Zuschlag von 50 cm angesetzt.

6 Simulation und Auswertung

Als Abflussszenarien sollten gemäß Aufgabenstellung (quasi-) stationäre Simulationen des HQ100- und des HQ200-Abflusses der Elbe mit folgenden Durchflussraten durchgeführt werden:

- HQ100: $Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$
- HQ200: $Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$.

Die Simulationen wurden quasi-stationär mit dem jeweils zu untersuchenden Abfluss durchgeführt. Dabei wurde die Simulation so lange mit konstantem Zufluss fortgesetzt, bis am unteren Modellrand ein stationärer Zustand mit annähernd gleichem

Abfluss wie am Zuflussrand festgestellt werden konnte. Die Simulationsergebnisse des letzten Zeitschrittes wurden in ein GIS importiert und für die Auswertungen aufbereitet.

Die Strömungsgrößen an den betroffenen Modellknoten wurden auf Shape-Dateien übertragen. Punkt-Datensätze beinhalten dabei die repräsentative Lage der Modellknoten, Polygon-Datensätze die jeweilige Grundfläche der Finite-Volumenelemente im Modell. Einen Überblick über die Attribute der übergebenen Modellknoten-Shapefiles und deren Bedeutung gibt Tabelle 6-1.

Tabelle 6-1 Attribute der übergebenen Modellknoten-Shapefiles und deren Bedeutung

Feldname	Einheit	Bedeutung
ND	-	Knotennummer
X	m	Rechtswert
Y	m	Hochwert
Z	m+DHHN2016	Knotenhöhe
KST	$m^{1/3}/s$	Manning-Strickler-Beiwert
DEPTH	m	Wassertiefe
WSPL	+DHHN2016	Wasserspiegellage
VX	m/s	X-Komponente tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit
VY	m/s	Y-Komponente tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit
VMAG	m/s	Betrag tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit
VDIR	Radiant	Richtung tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit gegen OST
VROT	Grad	Richtung tiefengemittelte Fließgeschwindigkeit gegen NORD
FROUDE	-	Froude-Zahl
HV	m	Geschwindigkeitshöhe
HNE	m	Energiehöhe
QSPEC	$m^3/m/s$	spezifischer Abfluss (DEPTH * VMAG)
IR_PERMIL	‰	Reibungsgefälle in Promille
TAU	N/m ²	mittlere Schubspannung

Für die detaillierte Ermittlung der Überflutungsflächen und Wassertiefen wurde ein Verschnitt der Wasserspiegellage mit dem hydraulischen DGM (Bathymetrie) vorgenommen. Es wurden digitale Lagepläne im PDF-Format erstellt, in denen die wichtigsten Strömungsgrößen für das Untersuchungsgebiet in hoher Auflösung dargestellt sind. Beispielhaft für das Abflussszenario PZ, HQ100 mit $Q=4.374 \text{ m}^3/s$ sind in Abbildung 6-1 die Wassertiefen und Richtungspfeile der tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit sowie in Abbildung 6-2 die Wasserspiegellage zur Visualisierung des hydraulischen Gefälles dargestellt.

Darüber hinaus wurden Differenzendarstellungen erstellt. Abbildung 6-3 zeigt beispielhaft die Auswirkungen des PZ gegenüber IZ bei $Q=4.374 \text{ m}^3/s$.

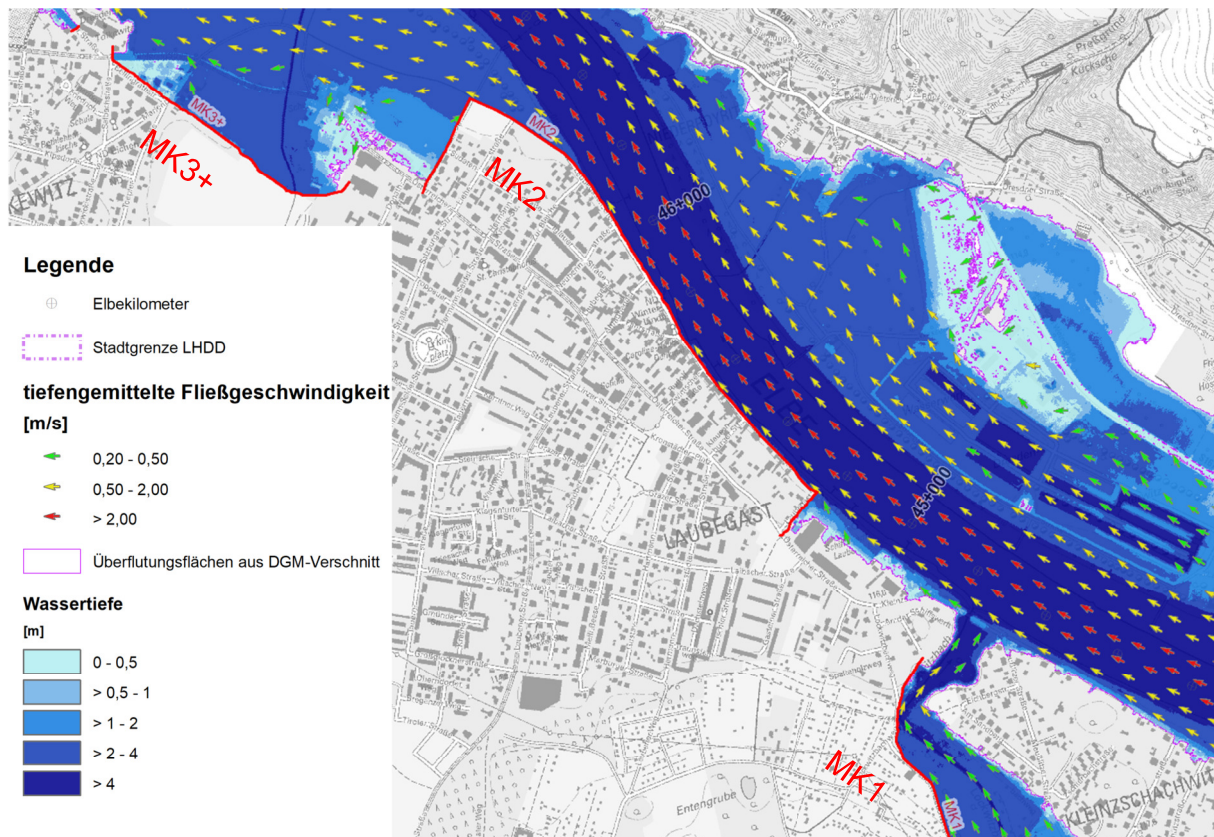


Abbildung 6-1 Simulationsergebnisse PZ, HQ100, Lageplan mit Überflutungsfläche, Wassertiefen, Richtungspfeile der tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit (Detail)

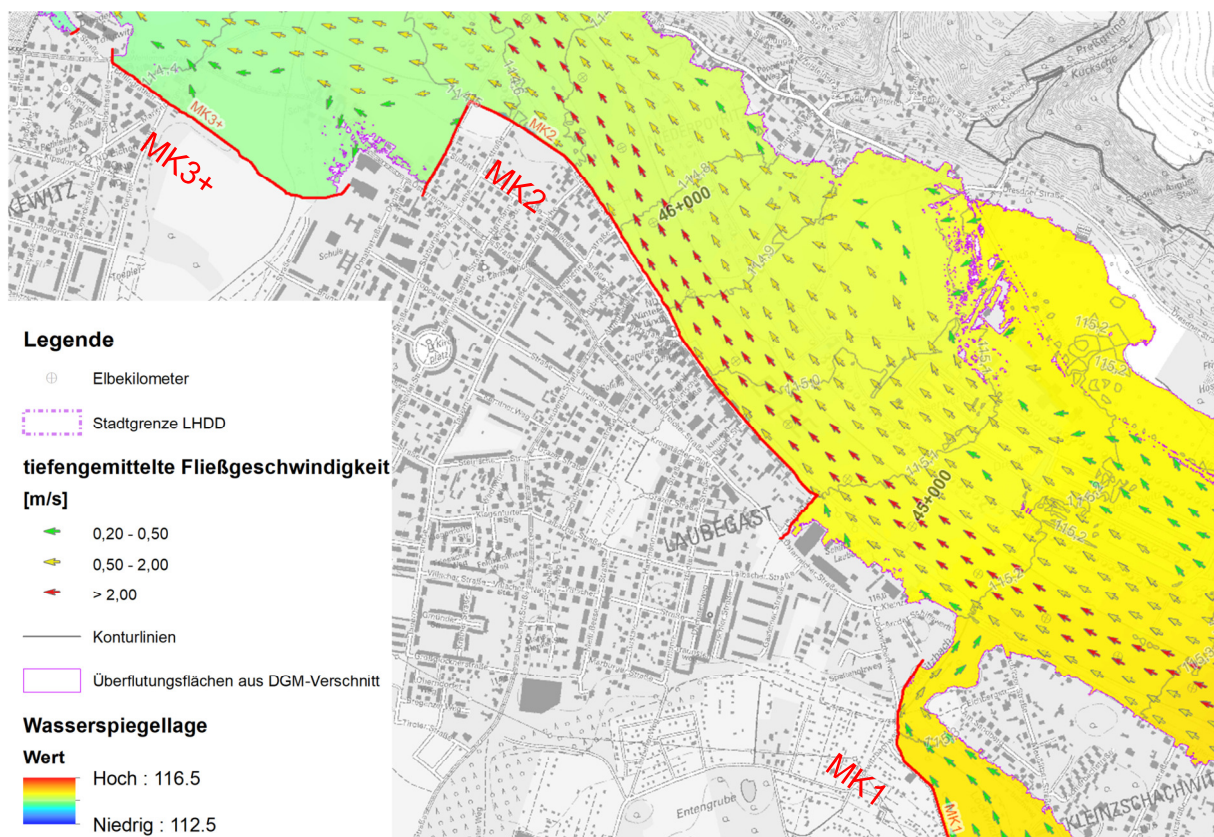


Abbildung 6-2 Simulationsergebnisse PZ, HQ100, Lageplan mit Überflutungsfläche, Wasserspiegellage, Richtungspfeile der tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit (Detail)

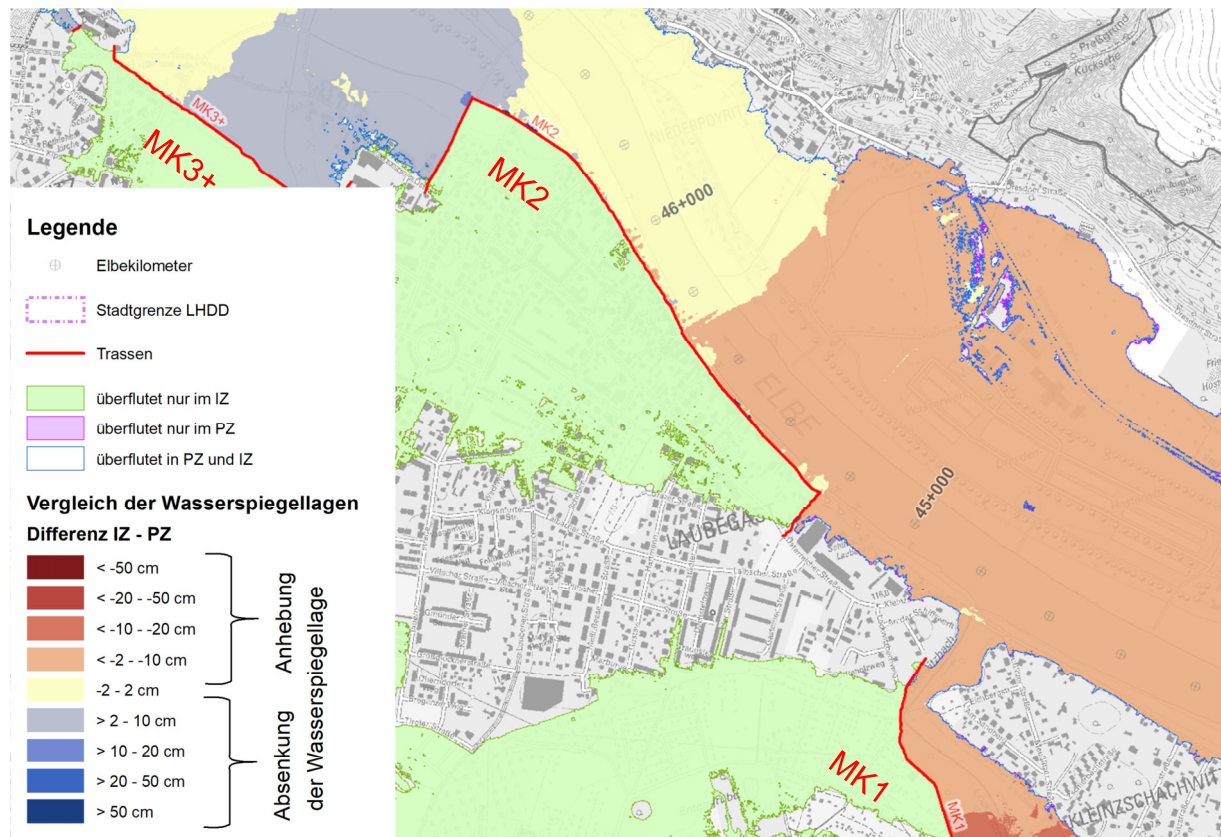


Abbildung 6-3 Simulationsergebnisse IZ – PZ, HQ100, Differenzendarstellung der Änderung der Überflutungsflächen und der Wasserspiegellage

7 Ergebnisse

7.1 Ist-Zustand, HQ100 ($Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$)

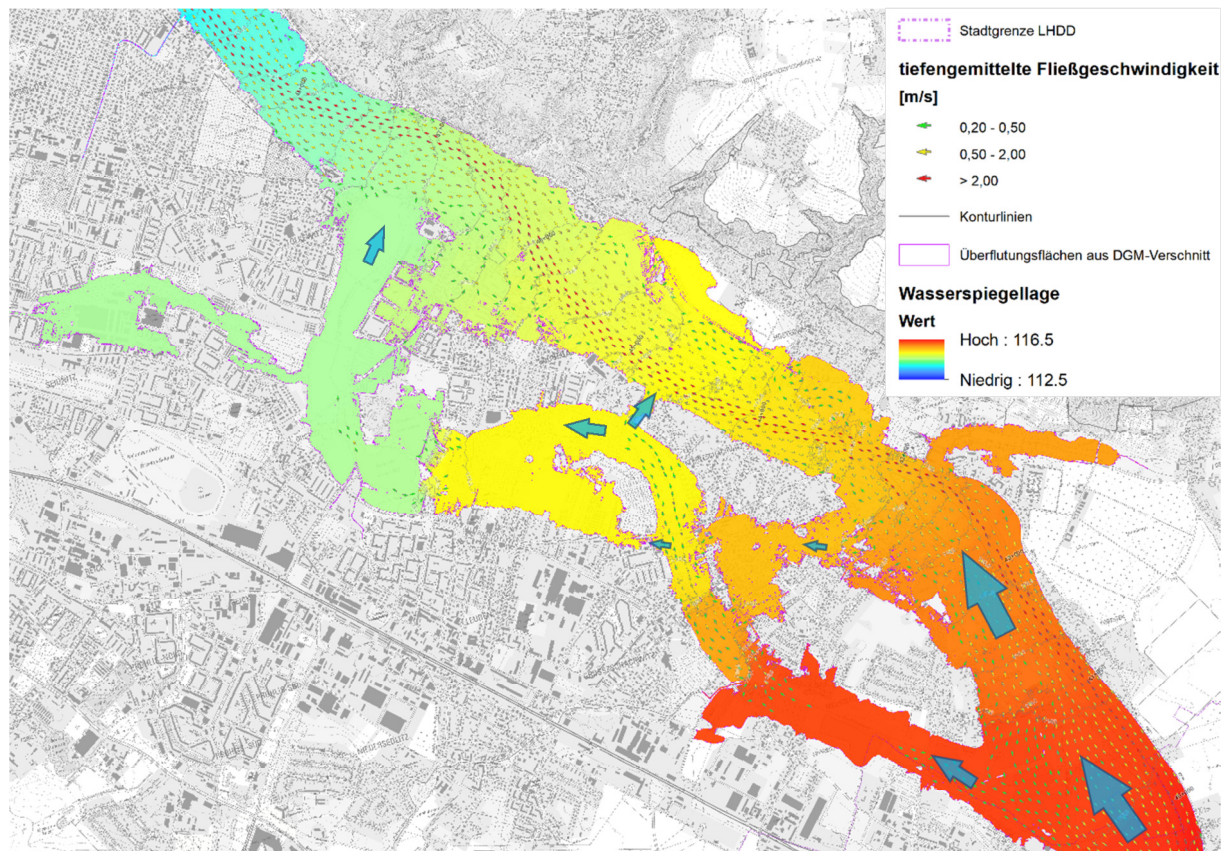


Abbildung 7-1 Simulationsergebnisse IZ, HQ100 ($Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$), Wasserspiegellage (Detail), Fließwege (türkis)

In Abbildung 7-1 ist ein Ausschnitt aus dem Plan A201 dargestellt. Er zeigt die Wasserspiegellage bei HQ100. Die Überflutungsfläche unterteilt sich in mehrere Stränge. Türkisfarbene Pfeile deuten die grundsätzlichen Fließwege an.

Der Zufluss in das Untersuchungsgebiet bei El-km 40+000 beträgt $4.374 \text{ m}^3/\text{s}$. Bei El-km 41+000 wird ein Teil des Abflusses in den Altelbarm abgeleitet. Der Zufluss in den Altelbarm beträgt ca. $126 \text{ m}^3/\text{s}$ und macht damit lediglich 3 Prozent des Gesamt-abflusses aus. Dieser wird in den Mündungsbereichen des Lockwitzbaches (ca. $59 \text{ m}^3/\text{s}$) und des Niedersedlitzer Flutgrabens (ca. $68 \text{ m}^3/\text{s}$) in die Stromelbe zurückgeleitet. Darüber hinaus gibt es weitere Verzweigungen der Überflutungsfläche. Insbesondere wird auf die Querverbindung zwischen der Stromelbe und dem Altelbarm im Bereich Zschieren (Zufluss in Altelbarm ca. $1 \text{ m}^3/\text{s}$) und auf die einsetzende linksseitige Überflutung des Lockwitzbaches stromauf der Brücke *Berthold-Haupt-Straße* und den sich hieraus ergebenden Fließweg in Richtung Leuben hingewiesen. Das letztere Phänomen, bei dem nur ein sehr geringer Abfluss von $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$ im Modell zu verzeichnen ist, könnte sich im Zusammenhang mit der Wirksamkeit der geplanten Trassenführung als problematisch erweisen.

Die Simulationsergebnisse zeigen eine auffällige Ausbildung der Überflutungsfläche im Bereich der Kleingartenanlage Elbgrund e.V. (Dobritz, *Toeplerstraße* bis Seidnitz, *Frauensteiner Platz*). Hier findet ein Einstau statt, d. h., im stationären Zustand liegt hier keine Fließbewegung vor.

7.2 Ist-Zustand, HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$)

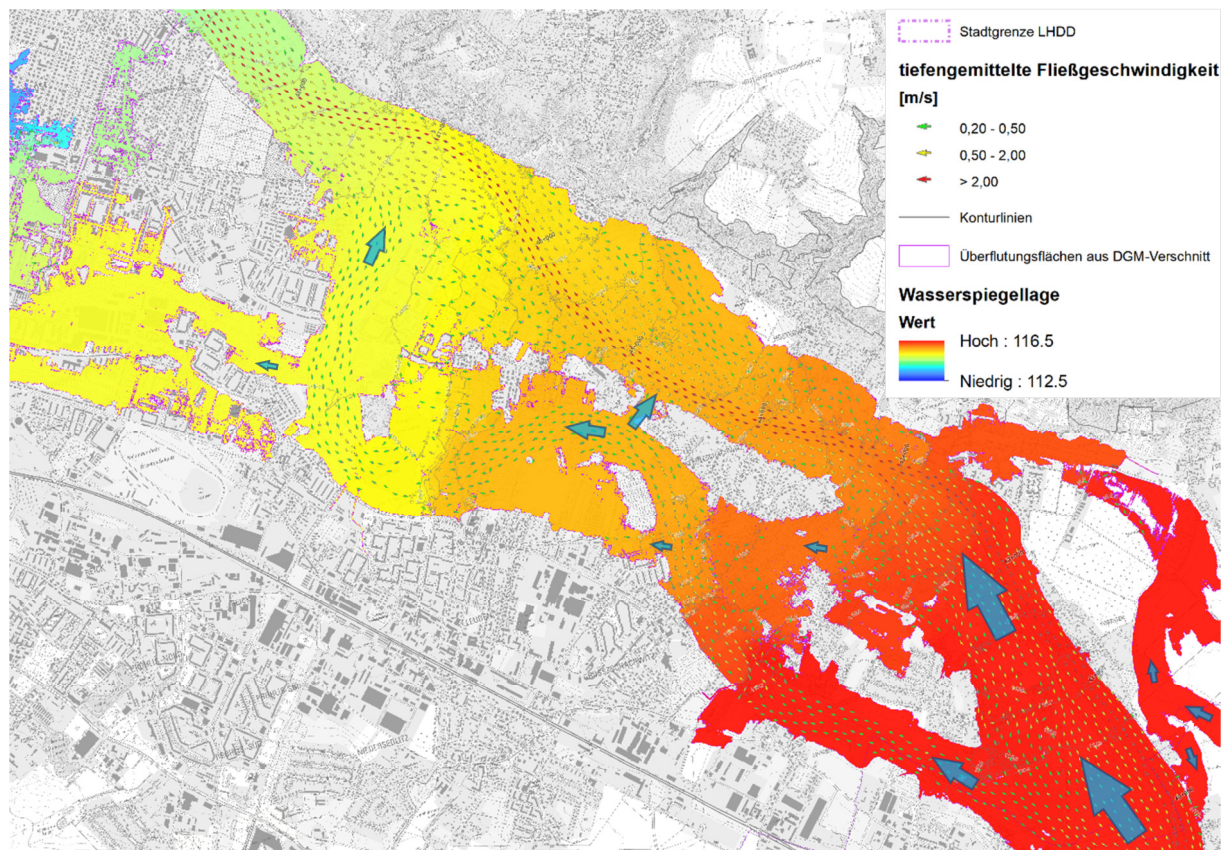


Abbildung 7-2 Simulationsergebnisse IZ, HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$), Wasserspiegellage (Detail) Fließwege (türkis)

Abbildung 7-2 zeigt die Wasserspiegellage als Ausschnitt aus dem Plan A202 und die grundsätzlichen Fließwege für die Variante IZ bei HQ200. Der Gesamtabfluss beträgt $4.930 \text{ m}^3/\text{s}$. Im Unterschied zum HQ100 erfolgt der Zufluss in das Untersuchungsgebiet jedoch verteilt, da sich neben der Stromelbe ein zweiter Fließweg ausbildet. Dieser verläuft rechtselbisch, ausgehend vom aus der Wesenitz in Pirna abzweigenden Bruchgraben über Söbrigen bis Pillnitz. Im stationären Zustand beträgt der Abfluss im Modell ca. $8,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Vor Söbrigen, im Bereich des Bonnewitzer Weges teilt sich die Strömung auf. Der größere Anteil von $5,7 \text{ m}^3/\text{s}$ fließt von dort in südliche Richtung und zwischen Birkwitz und Söbrigen über die *Söbriger Straße* zurück in die Elbe. Der übrige Anteil des Abflusses von ca. $2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ wird in nördliche Richtung nach Pillnitz weitergeleitet und fließt im Bereich des Schlosses Pillnitz in die Elbe. Der Abfluss in der Stromelbe beträgt bei El-km 40+000 also ca. $4.927,5 \text{ m}^3/\text{s}$. Der Abschlag in den Altelbarm bei El-km 41+000 beträgt bei HQ200 etwa $259 \text{ m}^3/\text{s}$. Über die Querverbindung zwischen der Stromelbe und dem Altelbarm im Bereich Zschieren fließen ca. $5 \text{ m}^3/\text{s}$ in den Altelbarm. Der Rückfluss in die Elbe erfolgt wiederum vorwiegend über den Lockwitzbach (ca. $53 \text{ m}^3/\text{s}$) und den Niedersedlitzer Flutgraben (ca. $206,8 \text{ m}^3/\text{s}$, siehe auch Tabelle 7-1).

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass es bei HQ200 (anders als bei HQ100) ausgehend von der Überflutung der Kleingartenanlage Elbgrund e.V. an der *Toeplerstraße* zur Ausbildung einer Fließbewegung kommt. Der Abfluss von ca. $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ findet in einer sich vielfach verzweigenden Überflutungsfläche statt. Der Rückfluss in die Elbe geschieht auf mehreren Wegen, bis hin zur Pirnaer Vorstadt (vgl. Plan A102).

7.3 Plan-Zustand, HQ100 ($Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$)

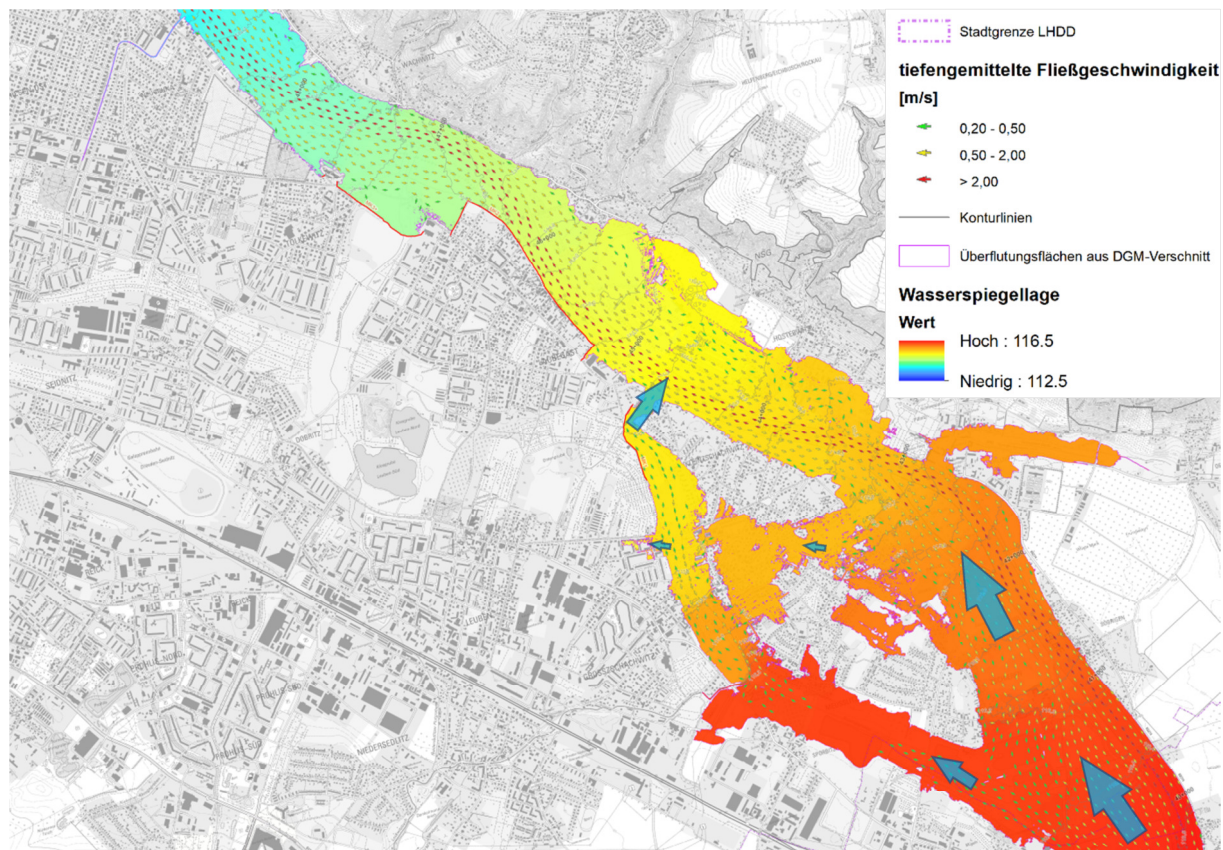


Abbildung 7-3 Simulationsergebnisse PZ, HQ100 ($Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$), Wasserspiegellage (Detail), Fließwege (türkis)

In Abbildung 7-3 ist ein Ausschnitt aus dem Plan A211 mit den Simulationsergebnissen der Wasserspiegellage für den Plan-Zustand bei HQ100 dargestellt. Der Fließweg über den Niedersedlitzer Flutgraben wird wie vorgesehen unterbunden. Weite Teile des im Ist-Zustand von Überflutung betroffenen Stadtgebietes würden dadurch bei einem HQ100 geschützt. Dies hat jedoch zur Folge, dass der gesamte Abfluss, welcher dem Altalbarm bei El-km 41+000 und über die Querverbindung in Zschieren zufließt, über den Lockwitzbach zurück in die Elbe fließen muss. Daraus ergeben sich Auswirkungen auf die Wasserspiegellage und die Abflussverteilung zwischen allen verbleibenden Fließwegen.

Einen Vergleich zwischen den Simulationsergebnissen für den Ist- und den Plan-Zustand bei HQ100 zeigt Abbildung 7-4. Darin wird deutlich, dass die Maßnahmen zur Teilabriegelung bei diesem Hochwasserereignis mit großflächigen Anhebungen der Wasserspiegellage gegenüber dem Ist-Zustand verbunden sind (rötliche Flächen). Zum Teil betragen die Wasserspiegeldifferenzen mehr als 10 Zentimeter. Anhebungen von mehr als 2 Zentimetern erstrecken sich stromauf über die Stadtgrenze hinaus und erreichen die Hochwasserschutzanlagen von Heidenau (nicht in den Plänen dargestellt). Die Anhebung der Wasserspiegellage hat auch zahlreiche zusätzlich überflutete Flächen zur Folge (violett). Besonders auffällig ist eine Fläche zwischen *Wilhelm-Weitling-Straße* und *Johannes-Brahms-Straße*. Bei stationärer Betrachtung wirkt sich hier eine relativ geringe Anhebung der Wasserspiegellage von ca. 3 Zentimeter in starkem Maße auf die Überflutungsfläche aus. Von den Auswirkungen des untersuchten Plan-Zustandes auf die Wasserspiegellage und die Überflutungsflächen bei HQ100 sind im erheblichen Maße Siedlungsflächen betroffen.

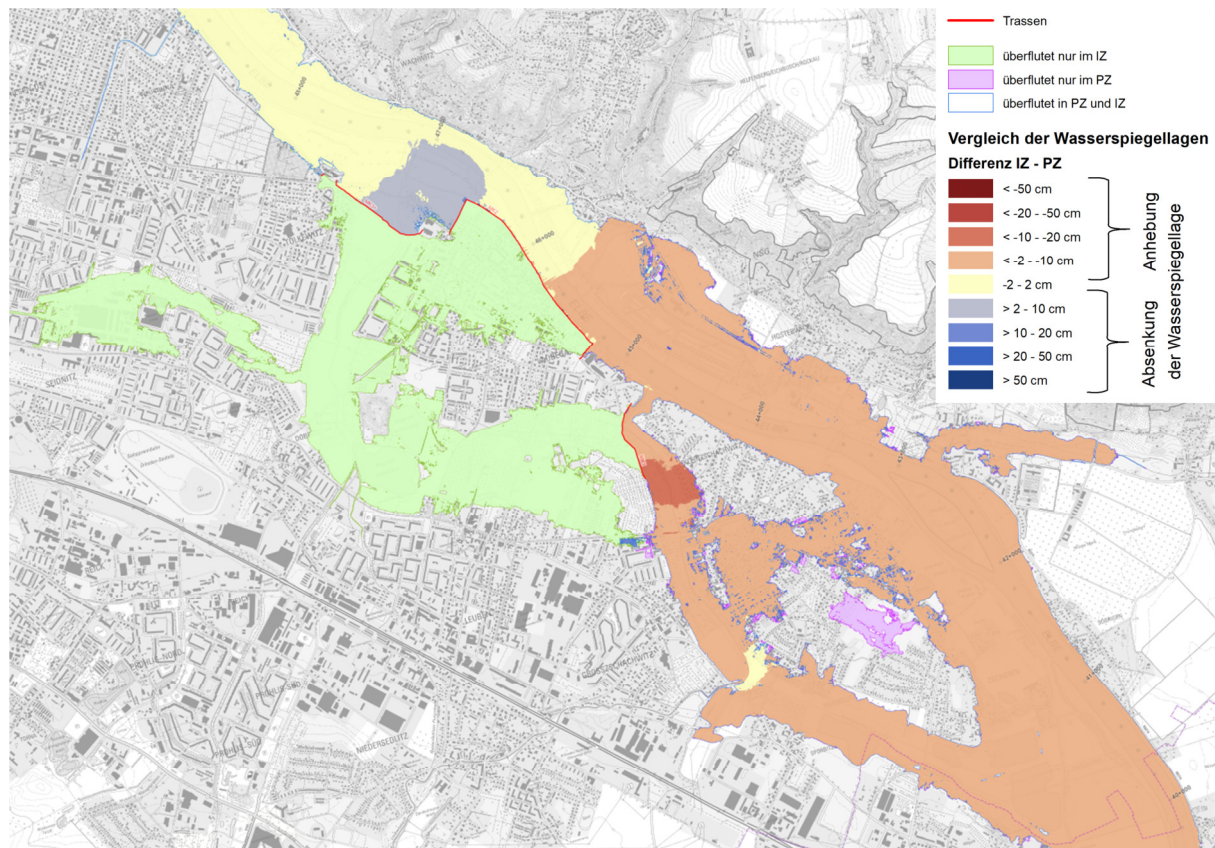


Abbildung 7-4 Vergleich der Simulationsergebnisse IZ - PZ HQ100 ($Q = 4.374 \text{ m}^3/\text{s}$), Überflutungsfläche und Wasserspiegellage (Detail)

Das bereits für den Ist-Zustand beschriebene Phänomen der linksseitigen Überflutung an der *Berthold-Haupt-Straße* (Brücke Lockwitzbach) mit sehr geringem Abfluss tritt auch im Plan-Zustand auf, wegen der ca. 10 Zentimeter gegenüber dem Ist-Zustand erhöhten Wasserspiegellage fließen im Plan-Zustand an dieser Stelle etwa $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$ in Richtung Leuben (vgl. IZ: $0,15 \text{ m}^3/\text{s}$). Streng genommen ist die Simulation im dargestellten Zustand nicht stationär, da sich das Gebiet unterhalb der Ausuferung bei fortlaufender Simulation weiter füllen würde. Da die Wasserspiegellage im Bereich der Ausuferung mit ca. $115,40 \text{ m} + \text{DHHN92}$ auch deutlich höher als die angesetzte Oberkante der der Trasse MK3+ liegt, würde diese Füllung (rein theoretisch) zu einem Aufstau an der Luftseite der HWSA und letztlich zur Überflutung derselben führen. Die Simulationsergebnisse zeigen jedoch auch, dass die Füllung dieser theoretischen Überflutungsfläche so langsam vonstattengeht, dass sich hieraus keine signifikanten Unterschiede für die Hochwassersituation bei HQ100 ergeben. Dennoch ist festzuhalten, dass die deutliche Anhebung der Wasserspiegellage im Bereich der Schwachstelle *Berthold-Haupt-Straße* einen negativen Einfluss auf die Hochwassersituation HQ100 darstellt.

Stromab der geplanten Trassen ergeben sich keine signifikanten Auswirkungen auf die Wasserspiegellage. Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass sich im Bereich El-km 47+000 eine Absenkung der Wasserspiegellage um wenige Zentimeter ergibt.

7.4 Plan-Zustand, HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$)

Abbildung 7-5 zeigt die Wasserspiegellage als Ausschnitt aus dem Plan A212 und die grundsätzlichen Fließwege für die Variante PZ bei HQ200 ($4.930 \text{ m}^3/\text{s}$). Bei diesem Hochwasserabfluss werden die im Modell eingefügten HWS-Trassen überflutet und es bilden sich grundsätzlich die gleichen Fließwege aus wie im Ist-Zustand. Allerdings behindern sie die Strömung und es kommt zu verschiedenen Auswirkungen auf die Wasserspiegellage und die Abflussverteilung.

Die Differenzen der Wasserspiegellagen und Auswirkungen auf die Überflutungsfläche sind in Abbildung 7-6 dargestellt (Detail aus Plan A312). Der Zufluss in das Untersuchungsgebiet erfolgt im Wesentlichen so, wie im Ist-Zustand. Der überwiegende Anteil des Gesamtabflusses wird über die Stromelbe zugeführt, während sich über den Bruchgraben und verteilt über Altarmstrukturen ein zweiter Fließweg mit relativ geringem Abfluss ausbildet. Der Abflussanteil, der bei El-km 41+000 in den Altelbarm abgeschlagen wird, hat eine ähnliche Größenordnung wie im Ist-Zustand. Das gilt mehr oder weniger für alle anderen Fließwege auch.

Die Unterschiede ergeben sich aus den überströmten HWS-Trassen. Im Unterschied zum Ist-Zustand stellt die überströmte HWSA MK1 ein starkes Fließhindernis dar. Dadurch wird ein höherer Abflussanteil in Richtung Mündung des Lockwitzbaches zur Stromelbe gelenkt und es kommt zum Aufstau stromauf der Anlage (WSPL 7 cm höher als im Ist-Zustand). Daraus ergeben sich weitere (Wechsel-) Wirkungen. Die ebenfalls überströmten Trassen der MK2, MK3+ stellen eine Querschnittseinengung und ein Fließhindernis für die Strömung der Stromelbe dar. In der Folge kommt es stromauf der MK2 zu einem signifikanten Aufstau, der sich bis weit stromauf auswirkt. Der zusätzlich über den Lockwitzbach in die Stromelbe zurückfließende Ab-

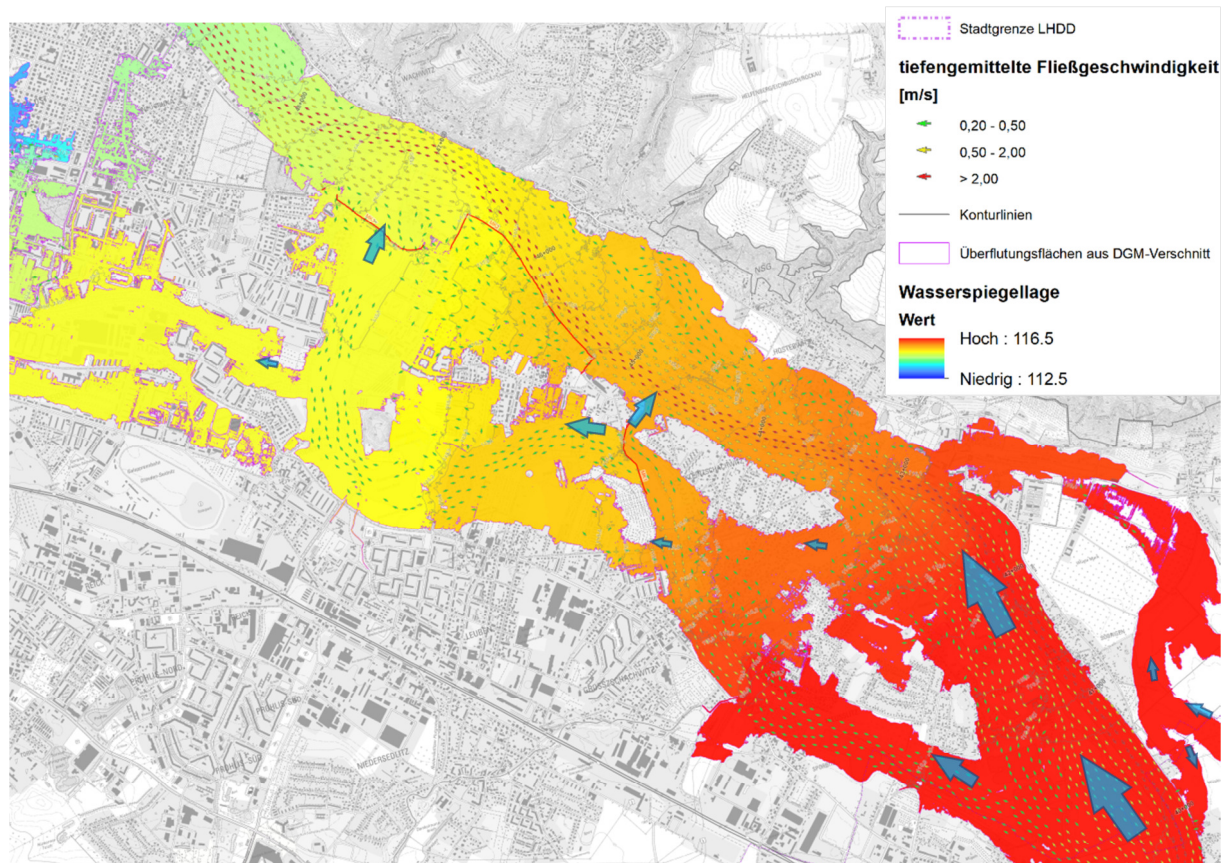


Abbildung 7-5 Simulationsergebnisse PZ, HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$), Wasserspiegellage (Detail) Fließwege (türkis)

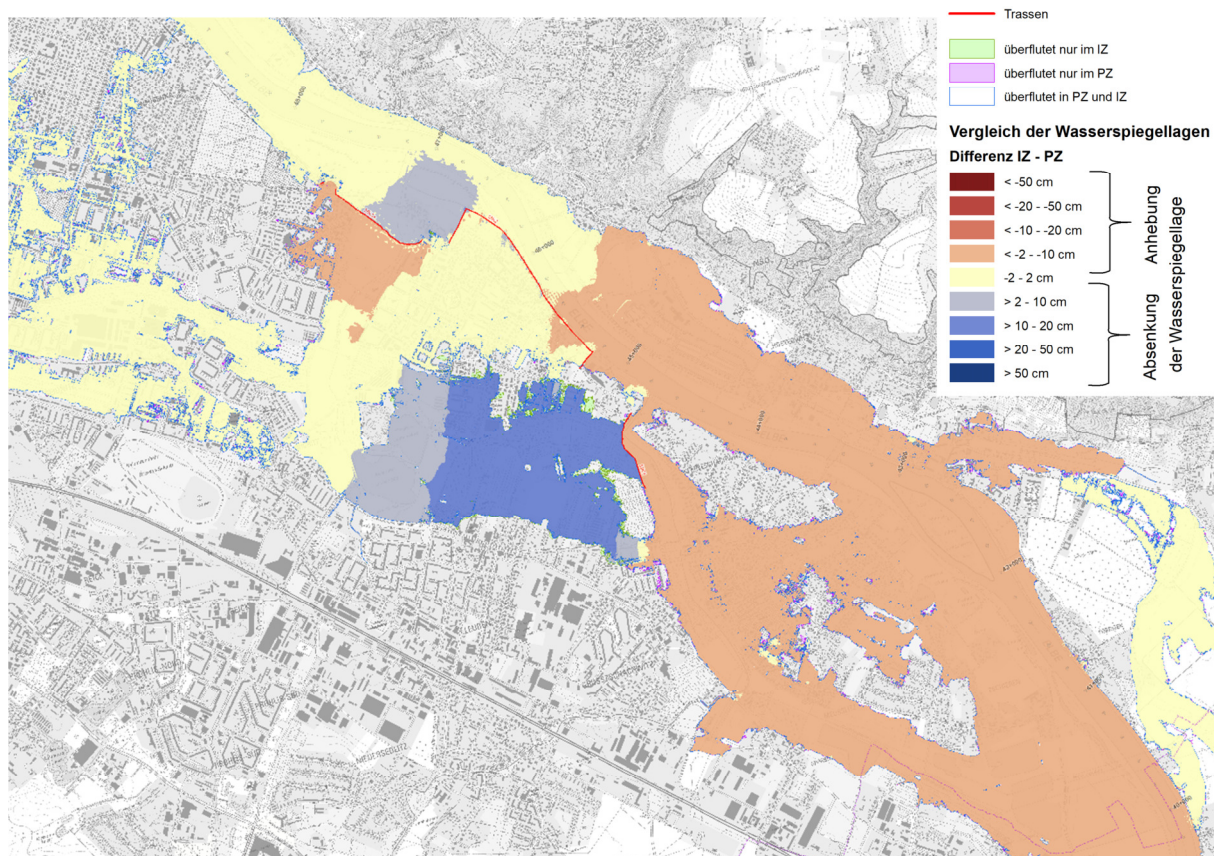


Abbildung 7-6 Vergleich der Simulationsergebnisse IZ - PZ HQ200 ($Q = 4.930 \text{ m}^3/\text{s}$), Überflutungsfläche und Wasserspiegellage (Detail)

flussanteil verstärkt diese Wirkung tendenziell. Im Bereich der Mündung des Lockwitzbaches ist die berechnete Wasserspiegellage der Stromelbe ca. 4 cm höher als im Ist-Zustand. Betroffen von der Anhebung der Wasserspiegellage von ca. 3 cm ist auch der Bereich der Rückströmung aus dem rechtselbischen Fließweg bei Pillnitz (EI-km 43+000) bis in den Graupaer Bach hinein. Weiter stromauf, am Abzweig des Altelbarms bei EI-km 41+000 beträgt die Anhebung der Wasserspiegellage gegenüber dem Ist-Zustand zwischen 2 cm im Altelbarm und 3 cm in der Stromelbe. Die signifikanten Differenzen der Wasserspiegellagen von mehr als 2 cm setzen sich bis weit stromauf fort. Sie erreichen Heidenau und betreffen auch den Rückstaubereich der Müglitz (nicht in den Plänen dargestellt). Beim Vergleich der Simulationsergebnisse sind Differenzen von mehr als 1 cm bis EI-km 34+000 in Pirna festzustellen. Hiervon sind auch die Rückstaubereiche der Wesenitz und der Gottleuba betroffen (nicht in den Plänen dargestellt).

Die im Plan-Zustand großflächig erhöhte Wasserspiegellage wirkt sich auch auf die Abflussverteilung aus. Tendenziell wird dabei ein höherer Anteil des Gesamtabflusses über Fließwege außerhalb der Stromelbe abgeführt. So ist eine leichte Anhebung der Abflüsse im Altelbarm und in der Nebenfließstrecke Bruchgraben-Pillnitz zu verzeichnen. Ebenso führt die Anhebung der Wasserspiegellage gegenüber dem Ist-Zustand zu einer Erhöhung des Abflusses im Bereich der linksseitigen Überflutung an der *Berthold-Haupt-Straße* in Richtung Leuben. Einen Überblick über die näherungsweise im Modell bestimmte Abflussverteilung ist in Tabelle 7-1 abgebildet.

Im Altelbarm stromab der Trasse MK1 ist wegen der geänderten Abflussverteilung eine Absenkung der Wasserspiegellage um bis 18 cm zu verzeichnen. Der Rückfluss in die Stromelbe wird an der Trasse der MK3+ jedoch behindert. Hier kommt es zur

Anhebung der Wasserspiegellage um bis zu 5 cm. Die Anlage wird um- und überströmt. Zwischen den Trassen MK1 und MK3+ ist ein Abschnitt im Altelbarm erkennbar, in dem sich die Einflussbereiche der Wasserspiegelabsenkung und -anhebung der beiden HWSA gegenseitig größtenteils kompensieren und die Differenzen der Wasserspiegellagen Beträge von weniger als 2 Zentimeter aufweisen. Dadurch ergibt sich auch kein signifikanter Einfluss auf die Wasserspiegellage und die Überflutungsfläche zwischen der Kleingartenanlage Elbgrund e.V. an der *Toeplerstraße* und Pirnaer Vorstadt. Der Abfluss ist hier mit 4,9 m³/s nur geringfügig höher als im Ist-Zustand.

Die Simulationsergebnisse PZ HQ200 basieren auf der Annahme einer Kronenhöhe von 50 cm über WSPL IZ bei HQ100. Im Rahmen der Planung können sich auch andere Kronenhöhen ergeben. Da diese Konstruktionsgröße wesentlichen Einfluss auf die sich ergebende Querschnittseinengung und den Fließwiderstand hat, welche sich wiederum auf die Wasserspiegellage und auf die Abflussverteilung auswirken können, sind die bisherigen Simulationsergebnisse nur als Untersuchung der grundsätzlich zu erwartenden Auswirkungen zu verstehen. Das Ausmaß von negativen Auswirkungen auf die Hochwassersituation könnte sich im Rahmen einer Konkretisierung der untersuchten Maßnahmen wesentlich verschärfen.

Um die Sensitivität des Aspektes der Kronenhöhe zu verdeutlichen, wurde eine zusätzliche Simulation mit einer pauschal um 20 cm erhöhten Kronenhöhe der HWS-Trassen durchgeführt (Variante PZ+) (Kronenhöhe = WSPL IZ bei HQ100 + 50 cm + 20 cm). Der Vergleich der Simulationsergebnisse in Abbildung 7-7 verdeutlicht, dass die Auswirkungen auf die Wasserspiegellage hierbei deutlich stärker ausgeprägt sind, sowohl im Betrag als auch in der Reichweite signifikanter Wasserspie-

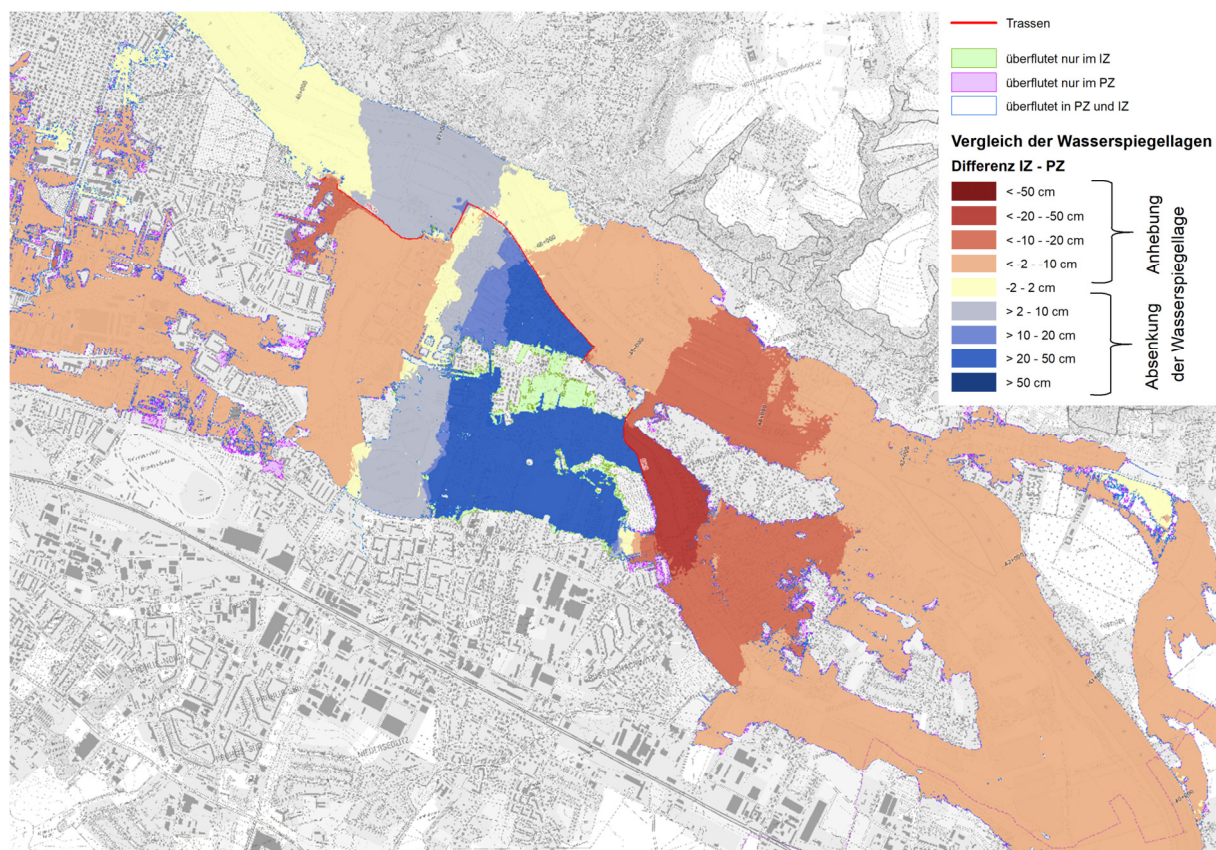


Abbildung 7-7 Vergleich der Simulationsergebnisse IZ – PZ+ (modifizierte Kronenhöhe + 20 cm) HQ200 (Q = 4.930 m³/s), Überflutungsfläche und Wasserspiegellage (Detail)

geldifferenzen. Im Altelbarm stromauf der MK1 beträgt die Anhebung der Wasserspiegellage bis zu 25 cm, in der Stromelbe im Mündungsbereich des Lockwitzbaches sind es bis zu 14 cm. Obwohl die höher angesetzte Kronenhöhe der MK1 den Abfluss stromab im Altelbarm gegenüber der Variante mit niedrigerer Kronenhöhe weiter reduziert, ergibt sich an der ebenfalls erhöhten Trasse MK3+ ein größerer Aufstau mit einem deutlich größeren Einflussbereich. An der Kleingartenanlage Elbgrund e.V. ist die Wasserspiegellage 6 cm höher als im Ist-Zustand. Dies wirkt sich auch durch einen (gegenüber IZ) erhöhten Abfluss zwischen der *Toeplerstraße* und der Pirnaer Vorstadt aus und führt dort zu einer Anhebung der Wasserspiegellage und der Ausweitung der Überflutungsfläche.

Auch in der Stromelbe, stromauf der Mündung des Lockwitzbaches zeigen sich im Modell mit den zusätzlich 20 cm höheren Bauwerkskronen (PZ+) wesentlich größere Wasserspiegeldifferenzen als bei der Variante PZ. Die Anhebung der Wasserspiegellage gegenüber IZ beträgt hier bis zu 12 cm. Der Einflussbereich mit Differenzen von mehr als 2 cm lässt sich bis in die Rückstaubreiche der Nebengewässer Wesenitz, Müglitz und Gottleuba nachweisen.

7.5 Abflussverteilung

Anhand der Simulationsergebnisse lassen sich näherungsweise die Abflüsse anhand von Kontrollquerschnitten ermitteln. Modelltechnisch bedingt sind die Verfahren hierzu fehlerbehaftet und bedürfen einer fachlich begründeten Plausibilisierung. Für die Auswertung im Rahmen dieser Untersuchung wurden Abflüsse für die wesentlichen Fließwege und –abschnitte der verschiedenen Varianten und HQ(T) ermittelt und in Tabelle 7-1 zusammengestellt.

Tabelle 7-1 Abflussverteilung der wesentlichen Fließwege im UG

Abschnitt	Abfluss Q in m³/s			
	IZ		PZ	
	HQ100	HQ200	HQ100	HQ200
Gesamtabfluss	4374	4930	4374	4930
Brückgraben	0	8,2	0	8,8
El-km 39	4374	4921,8	4374	4921,2
Rückfluss Söbrigen	0	5,7	0	6
El-km 40	4374	4927,5	4374	4927,2
Abschlag Altelbarm	126	259	132	265
El-km 41	4248	4668,5	4242	4662,2
Rückfluss Pillnitz	0	2,5	0	2,8
Richtung Zschieren	1	5,3	0,5	6
El-km 43	4247	4665,7	4241,5	4659
Altelbarm	127	264,3	132,5	271
<i>Richtung Leuben</i>	<i>0,15</i>	<i>7,2</i>	<i>0,25</i>	<i>10</i>
Rückfluss LWB	59	53	132,5	65
Altarm	68	211,3	0	206
El-km 45	4306	4718,7	4374	4724
Richtung Seidnitz	0	4,5	0	4,9
Rückfluss NSFG	68	206,8	0	201,1
El-km 48	4374	4925,5	4374	4925,1
El-km 55	4374	4930	4374	4930

8 Fazit

Im Rahmen der Untersuchung sollte eine 2D-HN-Modellierung des Altelbarms zur Untersuchung der Auswirkungen einer Teilabriegelung für den Abschnitt des Altelbarmes zwischen *Bellingrathstraße/Spielplatz Berchtesgadener Straße* und Lockwitzbach in Höhe der Kleingartenanlagen Neu-Leuben - Elbtal II durchgeführt werden. Für den Plan-Zustand wurde ein Modell unter vereinfachten Annahmen erstellt, mit dem Simulationen des HQ100 und HQ200 durchgeführt wurden. Die Simulationsergebnisse wurden mit denen des festgelegten Vergleichszustandes (Ist-Zustand) verglichen, um eine mögliche Wirksamkeit der Maßnahmen und mögliche Auswirkungen auf die Hochwassersituation HQ100 und HQ200 von An-, Ober- und Unterliegern zu ermitteln. Die in der Aufgabenstellung beschriebenen Trassen wurden im Rahmen der Modellierung anhand des bestehenden Geländes und der Simulationsergebnisse des Ist-Zustands HQ100 plausibilisiert und im notwendigen Maße angepasst.

Bei einem HQ100 kann mit den untersuchten Trassen für den Hochwasserschutz eine Überflutung des Altelbarms nordwestlich des Lockwitzbaches verhindert werden. Hierbei müsste jedoch eine Schwachstelle am Lockwitzbach an der *Berthold-Haupt-Straße* gegen die einsetzende Überflutung gesichert werden. Die so erzielte Teilabriegelung des Altelbarms hat jedoch weitreichende Effekte für andere Bereiche, insbesondere für Oberlieger. Anhebungen der Wasserspiegellage gegenüber den Simulationsergebnissen für den Ist-Zustand von mehr als 2 cm lassen sich bis Heidenau nachweisen. Diese sind zum Teil mit deutlichen Ausweitungen der Überflutungsfläche verbunden, von denen auch Siedlungsgebiete betroffen sind. Ein HQ100-Schutz mit dem Konzept der Teilabriegelung des Altelbarms wäre mit einem erheblichen Verlust an Retentionsraum verbunden. Die sich hieraus tendenziell ergebenden Nachteile z.B. für Unterlieger waren nicht Gegenstand der Untersuchung, sind jedoch grundsätzlich relevant für die Beurteilung der untersuchten Maßnahmen.

Die angesetzte Kronenhöhe von ca. 50 Zentimeter über der Wasserspiegellage des HQ100 für den Ist-Zustand hat sich im Modell für die Wirksamkeit als ausreichend erwiesen. Im Rahmen einer Konkretisierung der Planung zur Umsetzung der erwogenen Hochwasserschutzanlagen und der Festlegung des erforderlichen Freibordes können abweichende Kronenhöhen erforderlich werden. Dies ist von besonderer Bedeutung für die Auswirkungen der untersuchten Hochwasserschutzanlagen bei höheren Abflussereignissen, wie dem HQ200, bei denen die Bauwerke überströmt werden.

Beim Vergleich der Simulationsergebnisse mit dem Ist-Zustand HQ200 zeigen sich für den Plan-Zustand signifikante Unterschiede der Wasserspiegellagen und Überflutungsflächen sowie hinsichtlich der Abflussverteilung auf die verschiedenen Fließwege. Die negativen Auswirkungen auf die Hochwassersituation wirken sich stromauf über das Stadtgebiet der Landeshauptstadt Dresden hinaus aus. Modifikationen der untersuchten Hochwasserschutzanlagen hinsichtlich Trassierung und Bauwerkshöhe können die negativen Auswirkungen bei HQ200 noch deutlich verstärken und mit Verschlechterungen der Hochwassersituation auch für Unterlieger bis zur Pirnaer Vorstadt verbunden sein.

Grundsätzlich zeigen die Ergebnisse der Untersuchung, dass das Konzept der Teilabriegelung des Altelbarms aus hydraulischer Sicht mit erheblichen Problemen für die Hochwassersituation Betroffener verbunden wäre.

9 Literaturverzeichnis

Aigner, D., & Bollrich, G. (2015). *Handbuch der Hydraulik*. Berlin: Beuth.

IWWN FB 2015/03. (2015). D.Carstensen, J.Wilhelm. *Zweidimensionale hydrodynamisch-numerische Simulation der Elbe im Bereich der Landeshauptstadt Dresden - Aktualisierung des bestehenden Stadtmodells und Ereignisanalyse zum Hochwasser 2013*. Nürnberg: TH Nürnberg, Labor für Wasserbau (LWN).

Nujic, M. (2008). *Hydro_AS-2D, Ein zweidimensionales Strömungsmodell für die Wasserwirtschaftliche Praxis. Benutzerhandbuch*. Rosenheim.

10 Anlagen

Pläne (digital)

- Plan A101 Lageplan mit Simulationsergebnissen der Wassertiefe und tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit (Vektoren), Ist-Zustand, HQ(100), $Q=4.374 \text{ m}^3/\text{s}$ (stationär)*
- Plan A102 Lageplan mit Simulationsergebnissen der Wassertiefe und tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit (Vektoren), Ist-Zustand, HQ(200), $Q=4.930 \text{ m}^3/\text{s}$ (stationär)*
- Plan A111 Lageplan mit Simulationsergebnissen der Wassertiefe und tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit (Vektoren), Plan-Zustand, HQ(100), $Q=4.374 \text{ m}^3/\text{s}$ (stationär)*
- Plan A112 Lageplan mit Simulationsergebnissen der Wassertiefe und tiefengemittelten Fließgeschwindigkeit (Vektoren), Plan-Zustand, HQ(200), $Q=4.930 \text{ m}^3/\text{s}$ (stationär)*
- Plan A201 Lageplan mit Simulationsergebnissen der Wasserspiegellagen, Ist-Zustand, HQ100, $Q=4.374 \text{ m}^3/\text{s}$ (stationär)*
- Plan A202 Lageplan mit Simulationsergebnissen der Wasserspiegellagen, Ist-Zustand, HQ200, $Q=4.930 \text{ m}^3/\text{s}$ (stationär)*
- Plan A211 Lageplan mit Simulationsergebnissen der Wasserspiegellagen, Plan-Zustand, HQ100, $Q=4.374 \text{ m}^3/\text{s}$ (stationär)*
- Plan A212 Lageplan mit Simulationsergebnissen der Wasserspiegellagen, Plan-Zustand, HQ200, $Q=4.930 \text{ m}^3/\text{s}$ (stationär)*
- Plan A311 Lageplan Differenzen Überflutungsfläche, Wasserspiegellage Ist-Zustand - Plan-Zustand, HQ100, $Q=4.374 \text{ m}^3/\text{s}$ (stationär)*
- Plan A312 Lageplan Differenzen Überflutungsfläche, Wasserspiegellage Ist-Zustand - Plan-Zustand, HQ200, $Q=4.930 \text{ m}^3/\text{s}$ (stationär)*