

Station Würschnitz Km 0+500 bis 8+800,

Hydrodynamische 2D-Simulation

- Erläuterungsbericht -



Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Gegenstand	10
2	Erstellung hydraulisches Modell	11
2.1	Verwendete Software	11
2.2	Simulationsmodell	12
2.2.1	Berechnungsnetz	12
2.2.2	Netzqualität	16
2.2.3	Landnutzung / Rauheitsbeiwerte	17
2.3	Bauwerke	21
2.3.1	Gebäude	21
2.3.2	Brückenbauwerke	21
2.3.3	Wehranlagen.....	23
2.3.4	Sonstig erfasste Bauwerke.....	24
2.4	Randbedingungen.....	25
2.5	Simulationsparameter	27
2.6	Modelloptimierung.....	29
3	Übernahme hydrologische Parameter aus dem N-A-Modell, Stand 2015	38
3.1	Sensitivitätsbetrachtung	38
3.1.1	Auslaufrandbedingung	38
3.1.2	Abbildung der Brückenbauwerke.....	39
3.1.3	Untersuchung Modellsensitivität im Einflussbereich der Planungsabschnitte M1 - M5	41
4	Auswertung der Simulationsergebnisse.....	42
4.1	Ist-Zustand	42
4.2	Plan-Zustände Vorplanung.....	43
4.3	Plan-Zustände Entwurfs- und Genehmigungsplanung (M1 bis M5)	45
4.4	M1 Harthauer Schule	46
4.5	M2.....	48
4.6	M3.....	49
4.7	M4.....	52
4.8	M5 Wasserschloss Klaffenbach	53
5	Zusammenfassung.....	53

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1 Lageplan Modellgebiet (Rotes Polygon = Abschnitt 2D-Modell).....	11
Abbildung 2-1 Modellausschnitt Bereich Wasserschloss Klaffenbach.....	13
Abbildung 2-2 Auszug Tiergartenbach, Übergangsbereich infolge Sohlverbreiterung.....	14
Abbildung 2-3 Berechnungsnetz.....	16
Abbildung 2-4 Vorlandstruktur	18
Abbildung 2-5 Situation gewässerangrenzendes Vorland.....	18
Abbildung 2-6 Modellausschnitt zur Landnutzungsverteilung.....	20
Abbildung 2-7 Diagramm zur Darstellung der Flächenanteile	21
Abbildung 2-8 Lage der im Modell berücksichtigten Bauwerke	23
Abbildung 2-9 Lage Absperrbauwerke in den Zuflüssen.....	24
Abbildung 2-10 Schnittstelle Modellauslauf, Stat. 0+500 – 0+400	26
Abbildung 2-11 Darstellung Zu- und Auslaufrand	26
Abbildung 2-12 HWM HW 2002 / HW 2010 / HW 2011 und Pegel	31
Abbildung 2-13 Varianzbetrachtung Flussrauheit am HW 2011.....	33
Abbildung 2-14 Varianzbetrachtung Flussrauheit am HW 2010.....	34
Abbildung 2-15 Varianzbetrachtung Flussrauheit am HW 2002.....	34
Abbildung 2-16 HW 2002, Varianz Vorlandrauheit für k_{St} -Wert 10 und 13	35
Abbildung 2-17 Varianzbetrachtung Durchflussmengenänderung für HW 2002	36
Abbildung 2-18 Diagramm Vergleich Wasserspiegel zu HWM.....	37
Abbildung 3-1 W-Q-Beziehung, Stand 01.03.2011	38
Abbildung 3-2 W-Q-Beziehung, Stand 01.08.2011	39
Abbildung 3-3 W-Q-Beziehung, Stand 18.06.2015	39
Abbildung 4-1 Vergleich Ist-Modell mit Plan-Modell im Bereich BW 4.....	46
Abbildung 4-2 Übersicht Planmaßnahmen M1 (EBB), Orthophoto	47
Abbildung 4-3 M1 eingearbeitete Planmaßnahmen 2D Modell (finaler Planrechenlauf).....	47
Abbildung 4-4 Übersicht Planmaßnahmen M2 (URAG), Orthophoto	48



Abbildung 4-5 M2 eingearbeitete Planmaßnahmen 2D Modell (P1-43)	49
Abbildung 4-6 Übersicht der Maßnahmen M3, Orthophoto	50
Abbildung 4-7 Auszug aus Planmaßnahmen M3 (BTP), Lageplan M3.70	51
Abbildung 4-8 M3 eingearbeitete Planmaßnahmen 2D Modell (finaler Planrechenlauf).....	51
Abbildung 4-9 Übersicht Planmaßnahmen M4 (ARCADIS), Orthophoto	52
Abbildung 4-10 Übersicht Planmaßnahmen M5 (IMB), Orthophoto	53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1 Landnutzungsarten	19
Tabelle 2-2 Bauwerke	22
Tabelle 2-3 Eckdaten der im Modell erfassten Durchlässe	25
Tabelle 2-4 Hydrologieparameter ohne HRB Jahnsdorf.....	28
Tabelle 2-5 Hydrologische Daten aus /12/, /14/, /15/, /13/ für Zustand Kalibrierung.....	29
Tabelle 2-6 HWM innerhalb Projektgebiet	30
Tabelle 2-7 Auswertung HWM HW 2011 für Kalibrierung Fluss.....	32
Tabelle 4-1 Übersicht Maßnahmenbereich der Ingenieurbüros für Brückenplanungen/Sohlanpassungen	44

Anlagenverzeichnis

1 Übersicht des Maßnahmengebietes, Blatt 1

2.1 Überschwemmungsgebiet Ist-Zustand

2.1.1 Überschwemmungsgebiet Ist-Zustand HQ25, Blatt 1 bis 5

2.1.2 Überschwemmungsgebiet Ist-Zustand HQ50, Blatt 1 bis 5

2.1.3 Überschwemmungsgebiet Ist-Zustand HQ100, Blatt 1 bis 5

2.2 Überschwemmungsgebiet Plan-Zustand

2.2.1 Überschwemmungsgebiet Plan-Zustand HQ25, Blatt 1 bis 5

2.2.2 Überschwemmungsgebiet Plan-Zustand HQ50, Blatt 1 bis 5

2.2.3 Überschwemmungsgebiet Plan-Zustand HQ100, Blatt 1 bis 5

2.3 Wassertiefe

2.3.1 Wassertiefe Ist-Zustand HQ25, Blatt 1 bis 5

2.3.2 Wassertiefe Ist-Zustand HQ50, Blatt 1 bis 5

2.3.3 Wassertiefe Ist-Zustand HQ100, Blatt 1 bis 5

2.3.4 Wassertiefe Plan-Zustand HQ25, Blatt 1 bis 5

2.3.5 Wassertiefe Plan-Zustand HQ50, Blatt 1 bis 5

2.3.6 Wassertiefe Plan-Zustand HQ100, Blatt 1 bis 5

2.4 Fließgeschwindigkeit

2.4.1 Fließgeschwindigkeit Ist-Zustand HQ25, Blatt 1 bis 5

2.4.2 Fließgeschwindigkeit Ist-Zustand HQ50, Blatt 1 bis 5

2.4.3 Fließgeschwindigkeit Ist-Zustand HQ100, Blatt 1 bis 5

2.4.4 Fließgeschwindigkeit Plan-Zustand HQ25, Blatt 1 bis 5

2.4.5 Fließgeschwindigkeit Plan-Zustand HQ50, Blatt 1 bis 5

2.4.6 Fließgeschwindigkeit Plan-Zustand HQ100, Blatt 1 bis 5

2.5 Schubspannung

2.5.1 Schubspannung Ist-Zustand HQ25, Blatt 1 bis 5

2.5.2 Schubspannung Ist-Zustand HQ50, Blatt 1 bis 5



2.5.3 Schubspannung Ist-Zustand HQ100, Blatt 1 bis 5

2.5.4 Schubspannung Plan-Zustand HQ25, Blatt 1 bis 5

2.5.5 Schubspannung Plan-Zustand HQ50, Blatt 1 bis 5

2.5.6 Schubspannung Plan-Zustand HQ100, Blatt 1 bis 5

2.6 Längsschnitt

2.6.1 Längsschnitt Plan-Zustand HQ25,HQ50,HQ100,HQ300, Blatt 1 bis 5

2.7 Anlagen zum Bericht

2.7.1 Hydrologischer_LS_IST_HRB_NW_HQ2_HQ100_erw_2_be_korr1.pdf

2.7.2 Hydraulische Berechnungen Ist-Zustand HQ25

2.7.3 Hydraulische Berechnungen Plan-Zustand HQ25

Abkürzungen und Formelzeichen

Zeichen	Beschreibung
a	Jahr
Abb.	Abbildung
AG	Auftraggeber
BW	Bauwerk
DGM2	digitales Geländemodell, Rasterabstand 2m
DHM	digitales Höhenmodell
DHHN92	amtliches Höhensystem, Deutsches Haupthöhennetz 92
DOP	digitales Orthofoto
FKM	Flusskilometrierung entspricht Station Gewässer
HN76	Höhensystem HN 76
HQ	Hochwasserabfluss
HWM	Hochwassermarken
HWSM	Hochwasserschutzmaßnahmen
IB	Ingenieurbüro
Kalib	Kalibrierung
k_{St}	Rauheitsbeiwert Manning-Strickler in $[m^{1/3}/s]$
KOK	Konstruktionsoberkante
KUK	Konstruktionsunterkante
LDC	Landesdirektion Chemnitz
LTV	Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen
LVA	Landesvermessungsamt
MQ	Mittelwasserabfluss
NAM	Niederschlags-Abfluss-Modell
OK	Oberkante
OT	Ortsteil
OW	Oberwasser
PA	Projektabschnitt
Q	Abfluss
Stat.	Gewässerstation
T	Wiederkehrzeit
Tab.	Tabelle
TIN	triangulated irregular network
unth.	unterhalb
UW	Unterwasser
WKA	Wasserkraftanlage
WRG	wasserrechtliche Genehmigung
W-Q-Beziehung	Wasserstand-Abfluss-Beziehung
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie
WSPLmax	maximale Wasserspiegellage

Unterlagenverzeichnis

- /1/** Querprofilvermessung Würschnitz als Grundlage für die 1D-Berechnung von Stat. 5+250 bis 3+800 und 2+950 bis 1+500, IB Meier, 2008
- /2/** Vermessung von vorgefundenen Hochwassermarken für Ereignisse 2002, 2012 und 2011, Bauer Tiefbauplanung GmbH, 2011
- /3/** Entwurfsvermessung Projektbereich lokale Maßnahmen Jahnsdorf, amtliches Höhensystem DHHN 92, Bauer Tiefbauplanung GmbH, 2011
- /4/** DOP, DLM, ATKIS-DGM2 (Stand 04/2008), LTV, 2010
- /5/** Umwandlung der Bestandsdaten zur Verwendung zum Modellaufbau 2D, IB Meier, 2011
- /6/** QP+Bruchkante, Querprofilvermessung Würschnitz, Bruchkantenvermessung Vorland, Bauer Tiefbauplanung GmbH, 2011
- /7/** Planungsdaten für Modernisierung und Beckenverkleinerung Freibad Jahnsdorf, IB Heike Schulze (Chemnitz), 2012
- /8/** Benutzerhandbuch Hydro_AS-2D, Dr.- Ing. Marinko Nujic, 2006
- /9/** Querprofilvermessung Würschnitz, Bruchkantenvermessung Vorland, Bauer Tiefbauplanung GmbH, 2011
- /10/** Tutorial zum HYDRO_AS-2D - Grundkurs, 3. Auflage, Bayrisches Landesamt für Umwelt, 2006
- /11/** Beispiele für Rauheitsklassen, Programm Service Wasserwirtschaft, 2010
- /12/** Grundlagendaten Pegel Jahnsdorf 1 und Harthau auf Grundlage der extremwertstatistischen Auswertung des LfULG von 2003, LDC, 2010
- /13/** Dokumentation "Hydraulische Berechnung an Fließgewässern 1. Ordnung, Zwönitz und Chemnitz, Maßnahmen 1.1, 1.2, 1.5, 1.8, Würschnitz, ÖkoProjekt ElbeRaum GmbH, 2008
- /14/** Ganglinien der Pegel Jahnsdorf 1 und Harthau für den Zeitraum 14.01. bis 16.01.2011, LDC, 2011
- /15/** W/Q Beziehung an Stat. 0+413 für Auslaufrandbedingung, IWS, 2011
- /16/** Ergänzungsvermessung Vermessungsbüro Irmscher, 11/2013
- /17/** Niederschlags-Abfluss-Modell Würschnitz, IWS, 2013
- /18/** Ergänzungsvermessung Sohle im Bereich BW5, Bauer Tiefbauplanung GmbH, 10/2013
- /19/** Planungsdaten PA4 - Arcadis, Dimensionierung Planzustand Hutholzbach, Stand 12.01.2016
- /20/** Planungsdaten M4 – Arcadis, Stand 29.11.2017

1 Veranlassung und Gegenstand

Die Bauer Tiefbauplanung GmbH wurde von der Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, Betrieb Freiburger Mulde / Zschopau mit der Erstellung eines hydrodynamischen 2D-Modells der Würschnitz im Bereich der Ortslagen Jahnsdorf, Neukirchen, Klaffenbach und Hartau beauftragt. Weiterhin galt es, die gemäß HWSK anstehenden und durch verschiedene Ingenieurbüros in den Leistungsphasen 1 bis 4 geplanten Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit zu überprüfen und ggf. notwendige Veränderungen an der Maßnahmeplanung vorzunehmen. Die Ergebnisse der 1D-Berechnungen mit Stand 12/2008 sollten mit den aktuellen Ergebnissen verglichen werden. Als Bemessungsgrundlage dieser Berechnungen und Planungen dient das hydrodynamische 2D-Berechnungsmodell für die Würschnitz von km 8+800 bis km 0+500. Im unterwasserseitigen Modellanschlußbereich wurde die Verbindung zum bereits erstellten 2D-Berechnungsmodell ab Stat. 0+413 (erstellt von IWS, In-Institut an der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur Leipzig) über eine W-Q-Beziehung hergestellt /15/. Der Einfluss der seitlichen Zuflüsse:

- Jahnsdorfer Bach
- Adorfer Bach
- Neukirchener Bach
- Tiergartenbach
- Hutholzbach
- Waldbach
- Alte Harthbach

sollte ebenfalls im Modell abgebildet werden, da eine Hinterströmung der HWSM aufgrund von Rückstau- und Überflutungsszenarien ausgeschlossen werden soll.

Auf Grundlage der zusammengeführten Vermessungsdaten musste dafür ein digitales Berechnungsnetz erarbeitet werden, welches als Basis für die zu erbringenden 2D-Simulationen diene. Die Berechnungen umfassten die Optimierung des hydraulischen Modells anhand von Hochwassermarken (HWM) aus dem Jahre 2002, 2010 und 2011 sowie die Darstellung des Ist-Zustandes für das Bemessungsereignis HQ_{100} sowie weitere 6 $HQ_{(T)}$. Für den Plan-Zustand sollten Berechnungen für die Wiederkehrzeiten von $T = 2$ a, 5 a, 10 a, 25 a, 50 a und 100 a durchgeführt werden. Weiterführend kann für ausgewählte Rechenläufe das Extremereignis HQ_{300} berechnet werden.

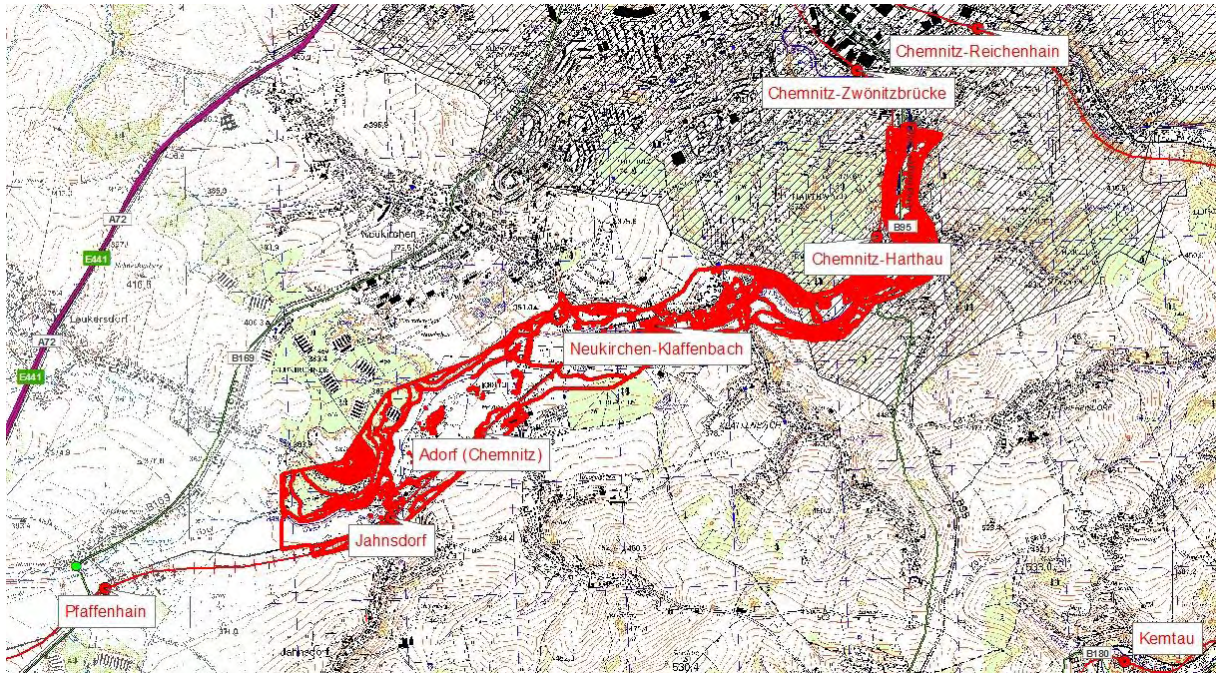


Abbildung 1-1 Lageplan Modellgebiet (Rotes Polygon = Abschnitt 2D-Modell)

2 Erstellung hydraulisches Modell

2.1 Verwendete Software

Zweidimensionale Simulationsmodelle sind heute ein sinnvolles Hilfsmittel für verschiedene wasserwirtschaftliche Untersuchungen geworden. Ihr Einsatz erstreckt sich dabei von der Simulation der Abfluss- und Strömungsvorgängen im Hoch- und Niedrigwasserfall bis hin zur Berechnung der Ausbreitung von Flut- und Dammbruchwellen. Für die vorliegende Untersuchung wurde das Modell HYDRO_AS-2D von Dr. Nuić verwendet. Dieses Strömungsmodell wurde ursprünglich für die Simulation von Damm- und Deichbruchwellen konzipiert, jedoch kann es auch für andere wasserwirtschaftliche Problemstellungen eingesetzt werden.

Grundsätzlich basiert die zweidimensionale Abflussmodellierung in HYDRO_AS-2D auf einem flächendeckenden linearen Berechnungsnetz, für dessen Netzknoten jeweils die Wassertiefe sowie eine über die Tiefe gemittelte Fließgeschwindigkeit in Form zweier Richtungsvektoren berechnet werden. Die mathematische Grundlage für die Modellierung der Strömungsvorgänge sowie für die Berechnung der Wasserspiegellagen und Wellenausbreitung bildet dabei die Flachwassergleichung von ABBOTT. Diese entsteht durch die Integration der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung und der Reynolds bzw. Navier-Stokes-Gleichungen für inkompressible Fluide über die Wassertiefe und unter Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung. Die numerische Lösung dieser Gleichung und damit die eigentliche Simulation erfolgt nach der Finite-Volumen-

Methode, für die das Gesamtgebiet in eine bestimmte Anzahl von diskreten Elementen unterteilt wird. Um dies zu gewährleisten muss im Vorfeld der eigentlichen Simulation ein Berechnungsnetz bestehend aus Vierecks- und Dreiecksmaschen erzeugt werden, womit eine möglichst gute Anpassung an die topographischen und hydrodynamischen Gegebenheiten erzielt werden soll.

Die Generierung bzw. Modifizierung des Berechnungsnetzes erfolgt mit Hilfe des Programms SMS der Firma Aquaveo (Utah, USA). Grundlage dafür ist die direkte Kopplung des Strömungsmodells HYDRO_AS-2D an die Oberfläche von SMS. Dadurch ist es möglich das Berechnungsmodell für die 2D-Simulation im SMS aufzubereiten sowie die späteren Berechnungsergebnisse wieder einzulesen, auswerten bzw. darstellen zu lassen.

Die Zusammenführung der bereitgestellten Grundlagendaten der Vermessungen /1/ - /3/, /5/ - /7/, /9/, /16/ und /18/ erfolgte mit dem Programm CARD1. Nach Auswertung und Zusammenführung der digitalen Vermessungsdaten wurde das DGM im CARD1 bearbeitet und ausgegeben.

Die Bearbeitung und Konvertierung der Rasterdaten für die Abbildung der gewässerfernen Vorländer erfolgte auf Basis der digitalen Daten /4/ unter Verwendung des Programms ARCGIS ArcMap 9.3.1 und 10.0 von ESRI, Redlands, USA.

2.2 Simulationsmodell

2.2.1 Berechnungsnetz

Die hydraulische Modellierung der Würschnitz im Bereich der Ortslagen Jahnsdorf, Neukirchen, Klaffenbach und Harthau von km 8+800 bis km 0+500 baut auf einem linearen Berechnungsnetz bestehend aus Dreiecks- und Vierecksmaschen auf. Das Berechnungsnetz wurde mit der Zielstellung entwickelt, die hydraulischen Verhältnisse unter Berücksichtigung der wesentlichen topografischen Gegebenheiten abzubilden.

Voraussetzung für die flächenhafte Erfassung der Topografie waren dabei zum einen Informationen zu markanten Bruchkanten, Querprofilvermessungen, Entwurfsvermessungen sowie ein digitales Höhenmodell (DHM).

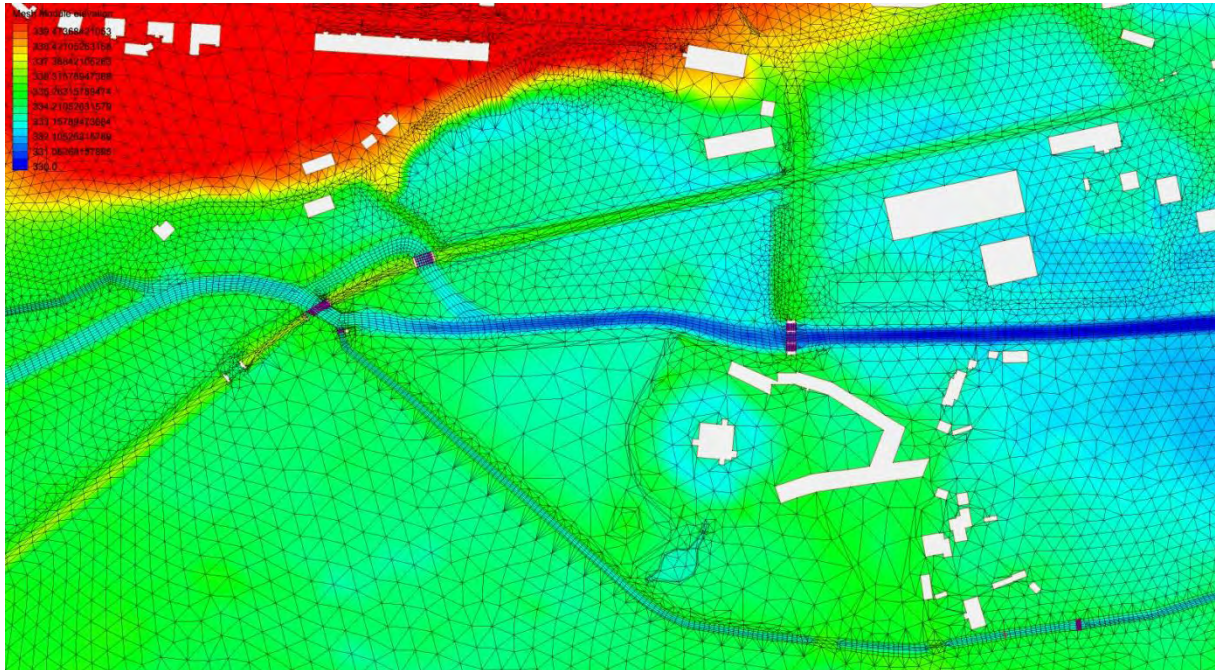


Abbildung 2-1 Modellausschnitt Bereich Wasserschloss Klaffenbach

Das TIN wurde als Ergebnis der Datenauswertung der zur Verfügung gestellten Unterlagen /3/, /4/, /5/, /6/, /7/, /9/, /16/ und /18/ erstellt. Prioritär sind die Geländebruchkanten bei der Erstellung des TIN eingegangen. Der Flussschlauch wurde aus den gemessenen Querprofilen /1/, /6/ und /9/ herausgearbeitet. In /6/ und /9/ wurden die hydraulisch wirksamen Bruchkanten mit mobilen Gis-Rovern, welche zumeist parallel zum Gewässer verlaufen, aufgenommen. Überwiegend handelt es sich im Projektabschnitt dabei um Straßen, Bahndämme und Geländebruchkanten. Aus diesen Grundlagen wurde ein DHM (TIN) des Untersuchungsgebietes erstellt. In Abbildung 2-1 ist ein Ausschnitt des in der vorliegenden Untersuchung erzeugten DHM dargestellt. Es besteht aus 107.068 Höhenpunkten, welche über insgesamt 174.229 Dreiecksmaschen für die Vorlandgeometrie und 15.629 Rechtecksmaschen für die Abbildung des Flussschlauches miteinander verbunden sind, wobei in den Polygonen der eingearbeiteten Gebäude keine Vermaschung erfolgte (siehe Abbildung 2-1). Das DHM wurde im Wesentlichen fast eins zu eins als Triangulated Irregular Network (TIN) ins SMS als Höheninformationsbezug bei der Erstellung des Berechnungsnetzes eingelesen. Es wurden keine relevanten Bauwerke nach dem Hochwasserereignis 2002 neu errichtet, lediglich zerstörte Bauwerke wieder errichtet, sodass es keiner nachträglichen Korrektur des DHM bedurfte.

Das eigentliche Netz wurde, wie bereits erwähnt, aus Dreiecks- und Vierecksmaschen modelliert. Dabei wurde im Hinblick auf eine bestmögliche Anpassung an die topographischen und hydrodynamischen Gegebenheiten, im Sinne der Aufgabenstellung, das Netz in ausgewählten Bereichen an die jeweilige Strömungssituation angepasst. Für den Flussschlauch der Würschnitz sowie die

seitlichen Zuflüsse bedeutete dies, dass diese soweit es die vorliegende Vermessung (Böschungsoberkanten) zuließ, im SMS über Vierecksmaschen modelliert wurden. Die Erzeugung der Maschen erfolgte abschnittsweise, wobei darauf geachtet wurde, dass die Maschenkanten parallel bzw. orthogonal zur Hauptströmung verlaufen und für das Hauptgewässer mindestens vier Maschen in Fließrichtung nebeneinander liegen. Für die Nebengewässer (seitl. Zuflüsse) wurden für Bereiche mit Gewässersohlenbreiten unter 1,5 m aufgrund der untergeordneten Bedeutung dieser Fließstreckenabschnitte für das Gesamtmodell, lediglich 2 Rechteckmaschen für die Modellierung der Gewässersohle erstellt. Sobald sich das Gewässer im weiteren Verlauf vergrößert, wurden 3 Maschen verwendet (siehe Abbildung 2-2).

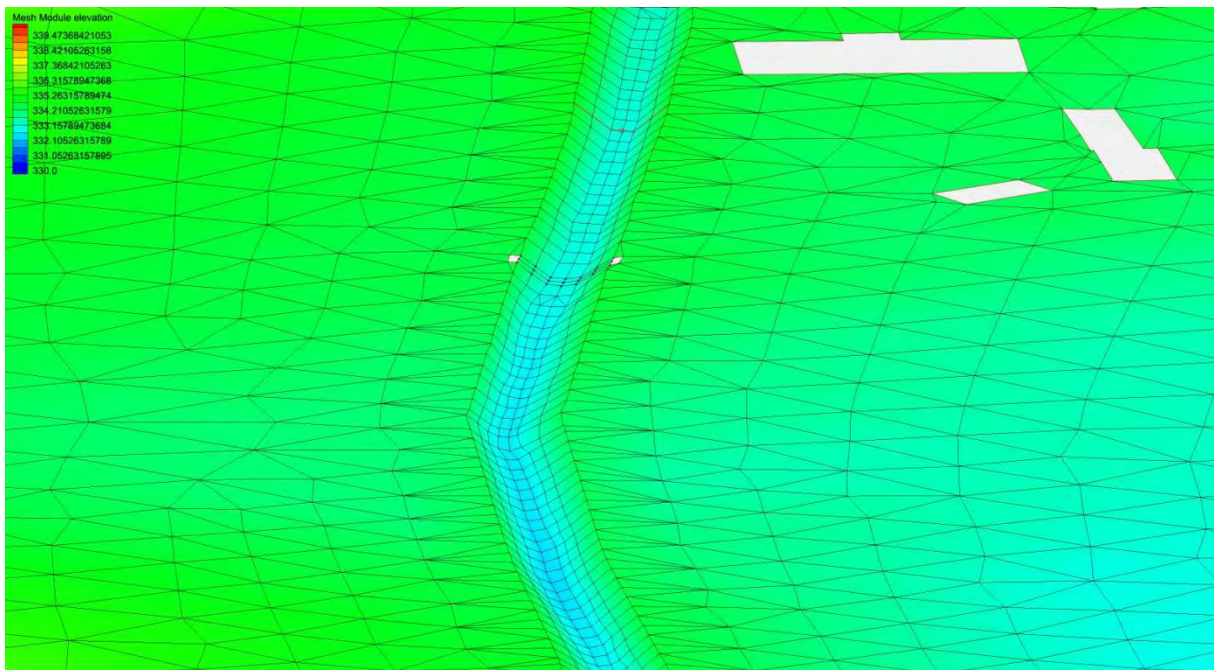


Abbildung 2-2 Auszug Tiergartenbach, Übergangsbereich infolge Sohlverbreiterung

Das Verhältnis von Länge zur Breite der Maschen sollte dabei nach /8/ in Bereichen mit normalen Strömungsverhältnissen ohne Störungen bei 1 zu 3 liegen. In Bereichen in denen dies aufgrund der örtlichen Gegebenheiten nicht möglich war, wurde das Seitenverhältnis bis auf etwa 1 zu 1 reduziert. Ferner wurden im Sinne einer optimalen Anordnung der Maschenkanten zum Strömungsvektor in einzelnen Abschnitten, in denen die zu erwartende Richtung der Hauptströmung nicht eindeutig zu erkennen war (im Bereich von Bauwerken, Abzweigen usw.), die erzeugten Vierecksmaschen in Dreiecke geteilt. Bei den Straßen, Wegen, Deichen und Mauern im Untersuchungsgebiet wurde, hinsichtlich einer möglichst exakten Erfassung der Geometrie sowie der Strömungsvorgänge auf ähnliche Weise verfahren. Hier wurden aus der vorliegenden Vermessung /1/, /3/, /5/, /6/, /9/, /16/ und /18/ die wesentlichen Bruchkanten übernommen und mittels Dreiecken vermascht. Dabei wurde in der Vermaschung bei der Abbildung von senkrechten Kanten (z.B. bei Mauern) darauf geachtet, dass zumindest auf der Gewässerseite die Unter- und

Oberkante so exakt wie möglich erfasst wurden. Dies geschah zum einen, da im SMS aus programmtechnischen Gründen keine senkrechten Kanten abgebildet werden können und zum anderen, im Hinblick auf die Netzqualität keine zu schmalen Maschen gebildet werden dürfen. Der Flussschlauch wurde mit mindestens 6 Rechteckmaschen und max. mit ca. 11 Rechteckmaschen abgebildet. Die Breite der Gewässersohle variiert im PA sehr stark und kann aus der Vermessung mit ca. 5 m im Minimum und bis zu 14,50 m im Maximum festgestellt werden, sodass die minimale Maschenanzahl nach Empfehlung des Programmherstellers /8/ mit 5 bis 11 Maschen eingehalten wurde. Der übrige Bereich zwischen Vorfluter und den bereits aus hydraulischer Sicht erfassten topografischen Besonderheiten wurde ebenfalls mittels eines regelmäßigen Rasters bestehend aus Dreiecksmaschen modelltechnisch erfasst. Zum einen war in diesen Bereichen des Untersuchungsgebietes die Richtung der Strömungsvektoren nur bedingt vorhersehbar und zum anderen ist davon auszugehen, dass die Fließgeschwindigkeit (Richtungsvektoren) in diesen Gebieten für die vorliegende Untersuchung nur eine untergeordnete Rolle spielen würde. Eine Besonderheit in diesem Projektbereich stellen die Gebäude samt stark strukturierter Umgebung dar, da diese mit ihrem Grundriss aus der Vermessung /1/, /3/, /5/, /9/ in der Netzgenerierung zwar berücksichtigt wurden, jedoch im Nachhinein durch Ausstanzen als undurchströmbar für die Simulationsberechnung deklariert wurden. Im PA ist aufgrund der Gebietstopographie in einigen Abschnitten

mit flächigem Vorlandabfluss zu rechnen. In diesen Bereichen wurden zahlreiche Strukturelemente wie z. B. Zäune, Verbauungen, Grundstücksabgrenzungen, Hecken, etc. angetroffen. Eine vermessungstechnische Aufnahme dieser Details erfolgte nicht.

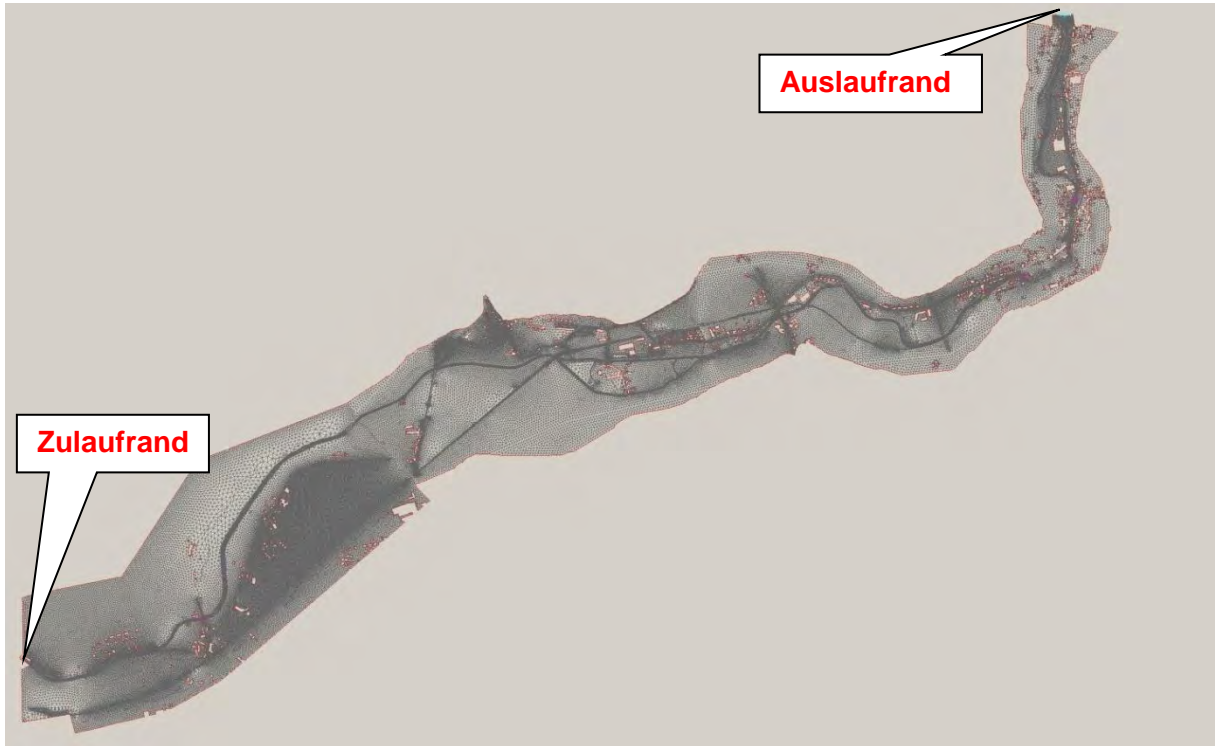


Abbildung 2-3 Berechnungsnetz

2.2.2 Netzqualität

Hinsichtlich der Qualität wurde im Rahmen der Netzerstellung darauf geachtet, dass die programmtechnisch geforderten Grenzkriterien /8/, /10/ im Rahmen der zu erfassenden Topografie eingehalten werden. Hierbei ist auf die Größe der Winkel zu achten. Der kleinste zulässige Innenwinkel beträgt 5° , der größte maximal zulässige Außenwinkel 160° . Das maximale Verhältnis der Flächenunterschiede sollte 1:10 betragen, wobei in den Mittelgebirgslagen zumeist mit verhältnismäßig steil ansteigenden Talflanken gerechnet werden muss. Aufgrund dessen ist eine Überschreitung dieses Kriteriums im Vorlandbereich durchaus tolerierbar und hat keinen Einfluss auf die Berechnungsergebnisse. Weiterhin dürfen je Maschenpunkt nicht mehr als 10 Maschen anschließen, um ein homogenes Berechnungsnetz zu gewährleisten. Es wurde vor allem das Kriterium „Elementwachstum“ unter Beachtung der Geländetopografie hinsichtlich des Übergangs zwischen Flussschlauch und Vorland variabel betrachtet. Das „Elementwachstum“ betrachtet das Flächenverhältnis benachbarter Elemente, welches wichtig für den Massen- und Impulsaustausch zwischen dem schneller fließenden Wasser im Flussschlauch und dem langsamer fließenden Wasser auf dem Vorland ist. Die Nichteinhaltung dieses Kriteriums ist aber laut /8/,

/10/ nicht zwingend erforderlich und führt meist nur zu lokalen Ungenauigkeiten, welche für das Gesamtergebnis i.d.R. von untergeordneter Bedeutung sind.

2.2.3 Landnutzung / Rauheitsbeiwerte

Die Landnutzung und die damit für die Simulationsberechnung verbundene Oberflächenbeschaffenheit wurden im Modell flächendeckend über den Rauheitsbeiwert nach Manning-Strickler berücksichtigt. Als Grundlage für die Zuordnung der Rauheitsbeiwerte zu den einzelnen Elementen des Berechnungsnetzes dienten die im Rahmen der Vermessung festgelegten Landnutzungsarten. In Abbildung 2-4 und Abbildung 2-5 sowie **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind die in das Modell eingepflegten Landnutzungsarten einschließlich des jeweiligen Rauheitsbeiwertes sowie des Flächenanteils bezogen auf das eigentliche Untersuchungsgebiet tabellarisch bzw. graphisch dargestellt. Die Rauheitsbeiwerte wurden dabei aufgrund von Literaturrecherchen /8/, /11/ sowie Erfahrungswerten festgelegt und im Rahmen einer Modellkalibrierung optimiert (siehe Punkt 2.6). Es zeigt sich, dass im betrachteten Gebiet hauptsächlich (anteilig ca. 90 %) die unter der Nutzung „Wiese“ zusammenfassbaren Landnutzungen vorkommen. Dabei bildet diese Landnutzungsklasse ein unregelmäßiges bis sehr unregelmäßiges Vorland mit Bebauungen ab. Im Projektabschnitt säumen in unregelmäßigen Abständen Bäume und Sträucher die Würschnitz, außerdem sind zahlreiche Einfriedungen in Gewässernähe vorhanden (siehe Abbildung 2-4). Aus diesem Grund wurden all diese Strömungshindernisse mit der Rauheit „Wiese“ zusammengefasst und abgebildet. Gemäß den Vorgaben aus einschlägiger Literatur kann als Rauheitsbeiwert für ein unregelmäßiges Vorland ein Wert von $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ und für Vorland mit Bebauungen $12 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ angesetzt werden. Da im untersuchten Gebiet beides zutrifft, wurde

der Rauheitsbeiwert der Landnutzungs-kategorie auf $13 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gesetzt (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).



Abbildung 2-4 Vorlandstruktur



Abbildung 2-5 Situation gewässerangrenzendes Vorland

Tabelle 2-1 Landnutzungsarten

Rauheit	kSt-Wert [m ^{1/3} /s]	Flächenanteil	
		[ha]	[%]
Gleisbett	33	3,54	0,8
Bäume	15	5,25	1,2
Sträucher	15	4,82	1,1
Wiese	13	375,63	84,3
Steinbruch	33	7,92	1,8
Wald	33	25,88	5,8
Flussschlauch	28	9,79	2,2
Verkehrsflächen	36	8,44	1,9
disable	--	0,90	0,2
Schotter	33	0,80	0,2
Graben	30	1,16	0,3
Umfluter	30	0,18	0,0
Rasengitter	33	0,33	0,1
Schlamm	60	0,25	0,1
Gehweg	40	0,14	0,0
KP	15	0,59	0,1
Sand	55	0,04	0,0
Geröll	25	0,02	0,0

Die nachfolgende Abbildung 2-6 zeigt die Verteilung der Landnutzungsarten im Modell und Abbildung 2-7 gibt eine graphische Übersicht der prozentualen Anteile der Landnutzungsklassen wieder.

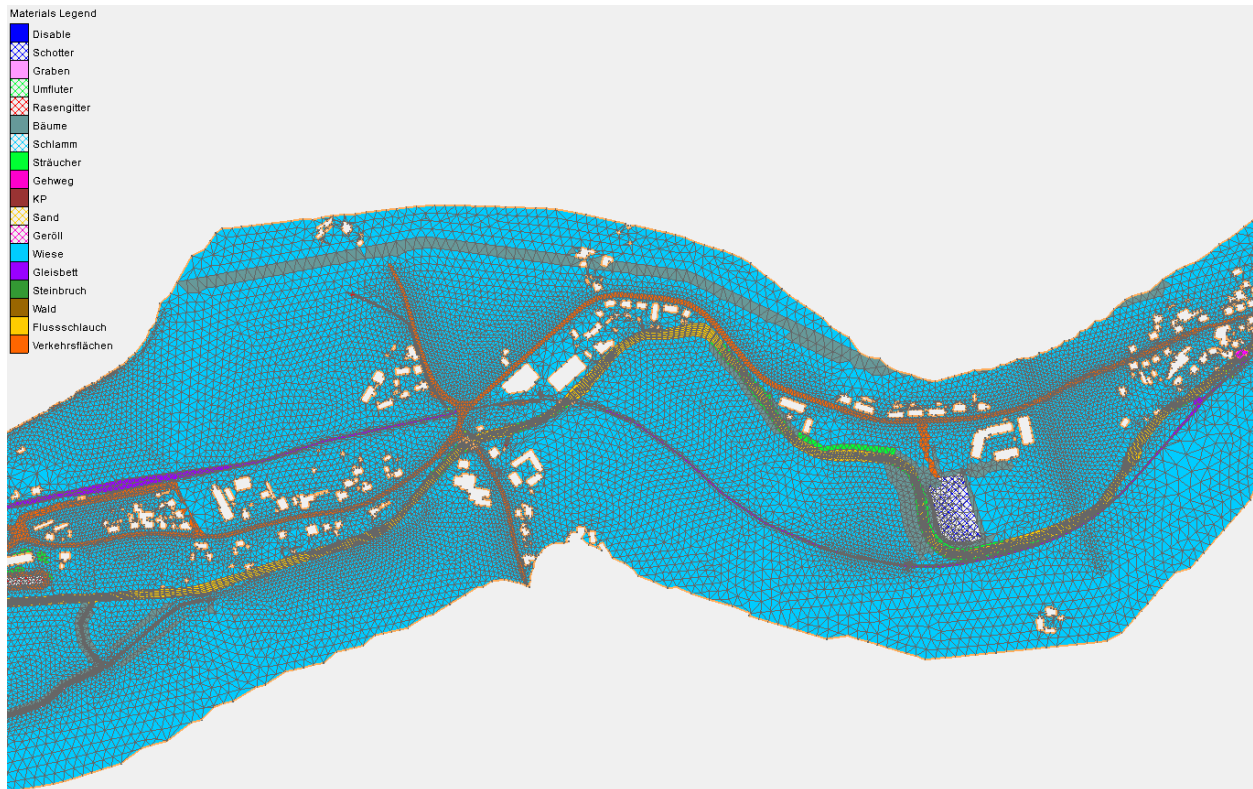


Abbildung 2-6 Modellausschnitt zur Landnutzungsverteilung

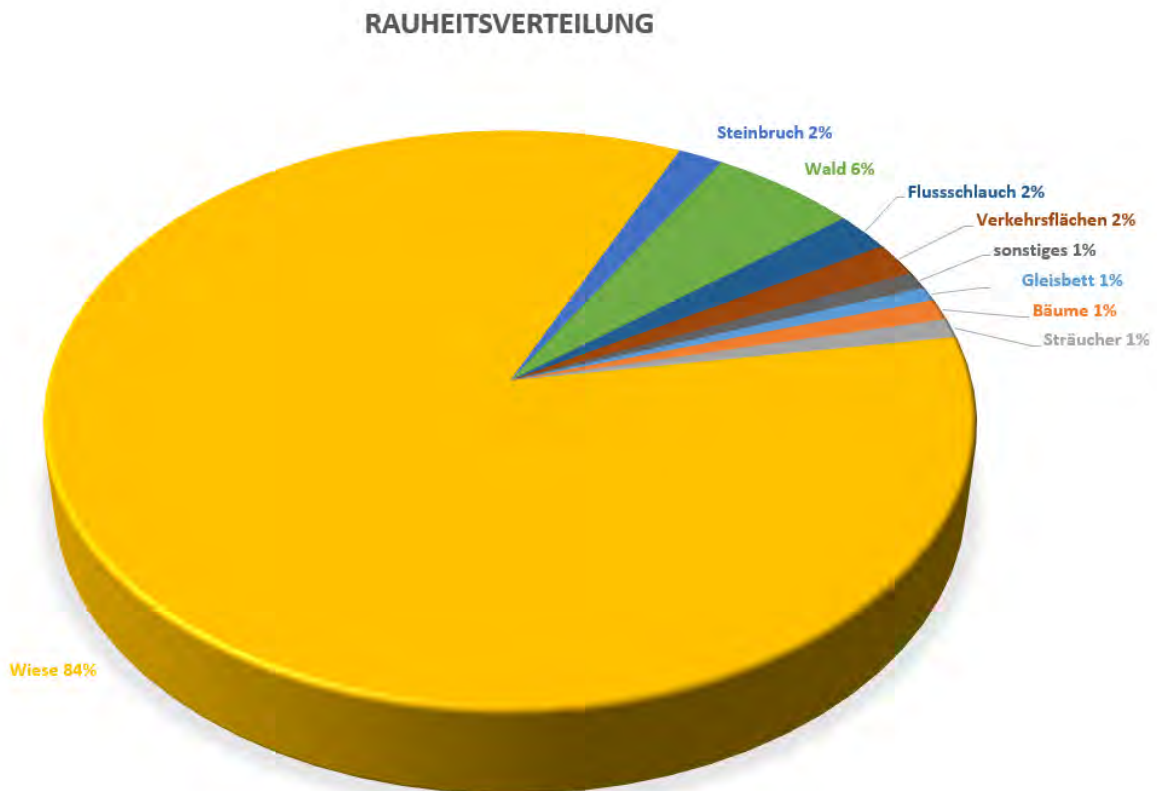


Abbildung 2-7 Diagramm zur Darstellung der Flächenanteile

2.3 Bauwerke

2.3.1 Gebäude

Die Gebäude im betrachteten Untersuchungsgebiet sind der vorliegenden Vermessung /1/, /3/, /5/, /6/, /7/, /9/ entnommen und in das Berechnungsnetz eingearbeitet. Durch das nachträgliche Ausstanzen der Gebäudegeometrie aus dem endgültigen Berechnungsnetz (siehe Abbildung 2-1) wurden diese Bereiche des Netzes in den späteren Berechnungen als nicht durchflossen modelliert.

2.3.2 Brückenbauwerke

Der Abfluss durch die Brückenbauwerke im Untersuchungsgebiet entlang der Würschnitz ist zweidimensional modelliert. Dafür wurden die Flusssohlen unter den Brückenbauwerken aus dem DHM /1/, /3/, /5/, /9/ und /18/ in das Berechnungsnetz übernommen und die Konstruktionsunterkanten (KUK) den entsprechenden Netzknoten als Attribute zugewiesen. Als Datenquelle für die

Höhen der jeweiligen KUK's dienten dabei die Angaben aus den Vermessungsdaten (siehe untenstehende Tabelle 2-2). Die Abbildung der Auflager und Pfeiler erfolgte ebenfalls durch Ausstanzung aus dem Modell, wobei die gewässerseitige Geometrie berücksichtigt wurde.

Tabelle 2-2 Bauwerke

Bauwerk / Station	Bezeichnung	hydraulisch berücksichtigt [DHHN92]
8+249	Brücke Zufahrt „Am Sonnenberg“	KUK: 346,58
BW10 7+942	Straßenbrücke Jahnsdorf K8803	KUK: 346,11
BW 0 5+236,3	Bahnbrücke	KUK: 335,53
BW 1 4+946,3	Zufahrt Wasserschloss, Straßenbrücke, 3-Feld-Bogenbrücke	mittl. Bogensch. KUK: 334,65
BW 2 3+944,9	Straßenbrücke	KUK: 330,53 (OW) / 330,88 (UW)
BW 3 3+757,9	Bahnbrücke	KUK: 330,33
BW 4 2+447	Fußgängerbrücke Friedrichstraße	KUK: 325,04 überströmbar KOK: 325,43
BW 5 2+279,9	Bahnbrücke „Blaues Wunder“	KUK: 323,90 bis 323,96
BW 6 2+234,7	Straßenbrücke, Hedwigstraße	KUK: 323,71 überströmbar KOK: 324,40
BW 7 1+881,3	Straßenbrücke	KUK: 323,51
BW 8 1+675,7	Straßenbrücke	KUK: 322,02
BW 9 1+612,0	Straßenbrücke	KUK: 321,83 überströmbar KOK: 322,20
1+320	Bahnbrücke	KUK: 321,12
1+104,7	Straßenbrücke	KUK: 320,22
0+554	Straßenbrücke	KUK: 318,03

Kommt es im Laufe der Simulation zum Einstau an Bauwerken, die nicht als überströmbar definiert wurden, so wird der Abfluss unter Druck in den weiteren Berechnungszeitschritten simuliert. Der überströmende Anteil wird hierbei nicht berücksichtigt, da im Falle des Überströmens der Hauptanteil des Abflusses aufgrund der örtlichen und bauwerkstechnischen Gegebenheiten über das Umland abfließen sollte. Erfolgte die Definition des Bauwerkes hingegen als überströmbar, so wird der überströmende Anteil berücksichtigt. Dazu mussten zusätzlich die Konstruktionsoberkanten (KOK) angegeben werden, die bei verklausten Brücken infolge flächiger Geländerausbildung (enges Füllstabgeländer) z. T. höher angesetzt wurden. Im Untersuchungsgebiet sind die

BW 4, 6 und 9 als überströmbar und verklaust dargestellt. Alle übrigen Brückenbauwerke im Modell werden unter Umständen eingestaut, aber eben aufgrund der Topographie im angrenzenden Vorlandbereich, welche geringere Geländehöhen aufweist als die KOK der Bauwerke, nicht überströmt. Dies ist im Zuge der Modellkalibrierung iterativ untersucht worden.

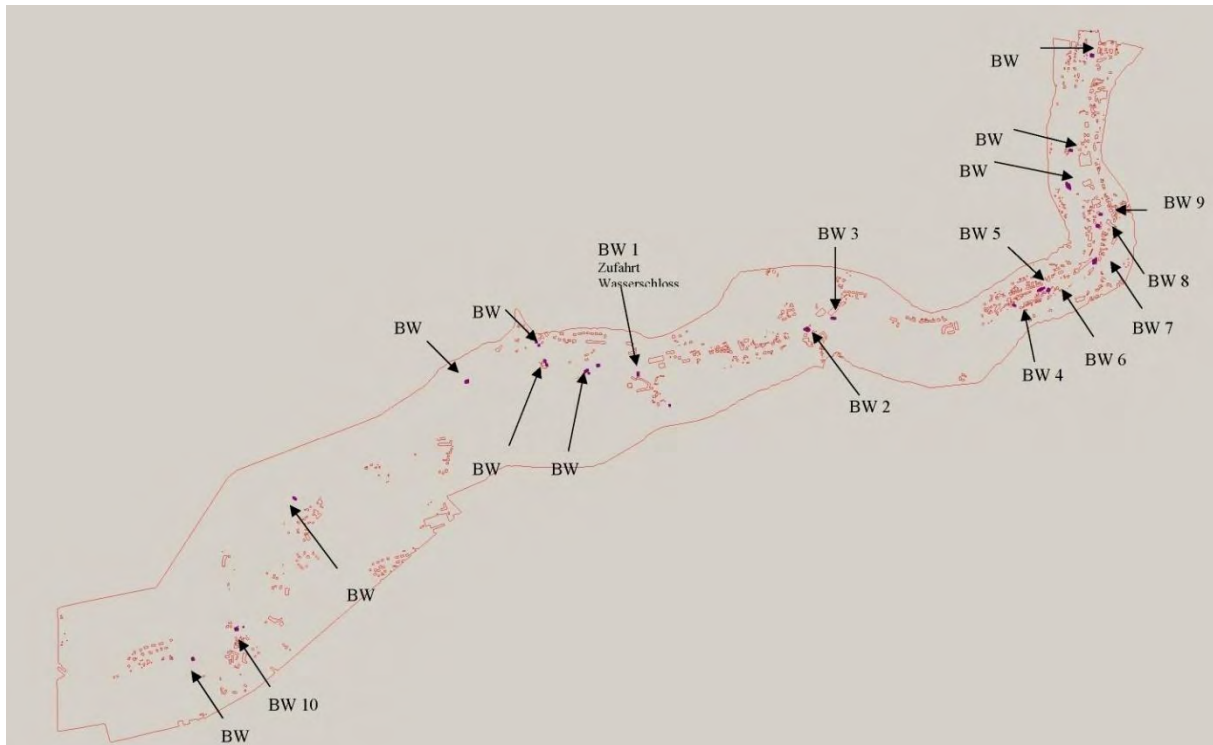


Abbildung 2-8 Lage der im Modell berücksichtigten Bauwerke

Brücken: 19

Durchlässe: 4

2.3.3 Wehranlagen

Im vorliegenden Untersuchungsgebiet befinden sich zwei Wehre, welche sich ausschließlich in den seitlichen Zuflüssen befinden. Diese ehemaligen Wehranlagen erfüllen nach derzeitigem Kenntnisstand die Funktion eines reinen Absperrorgans um ggf. die Wassermenge über einen Nebenschluss ableiten zu können. Die beiden Anlagen werden vermutlich nicht mehr bedient und fungieren ausschließlich als festes Verschlussorgan im Nebenschluss. Entsprechend wurden

diese Anlagen vermessungstechnisch erfasst und als festes Bauwerk ohne weitere Definierung von Randbedingungen in das Modell (siehe Abbildung 2-9) eingearbeitet.

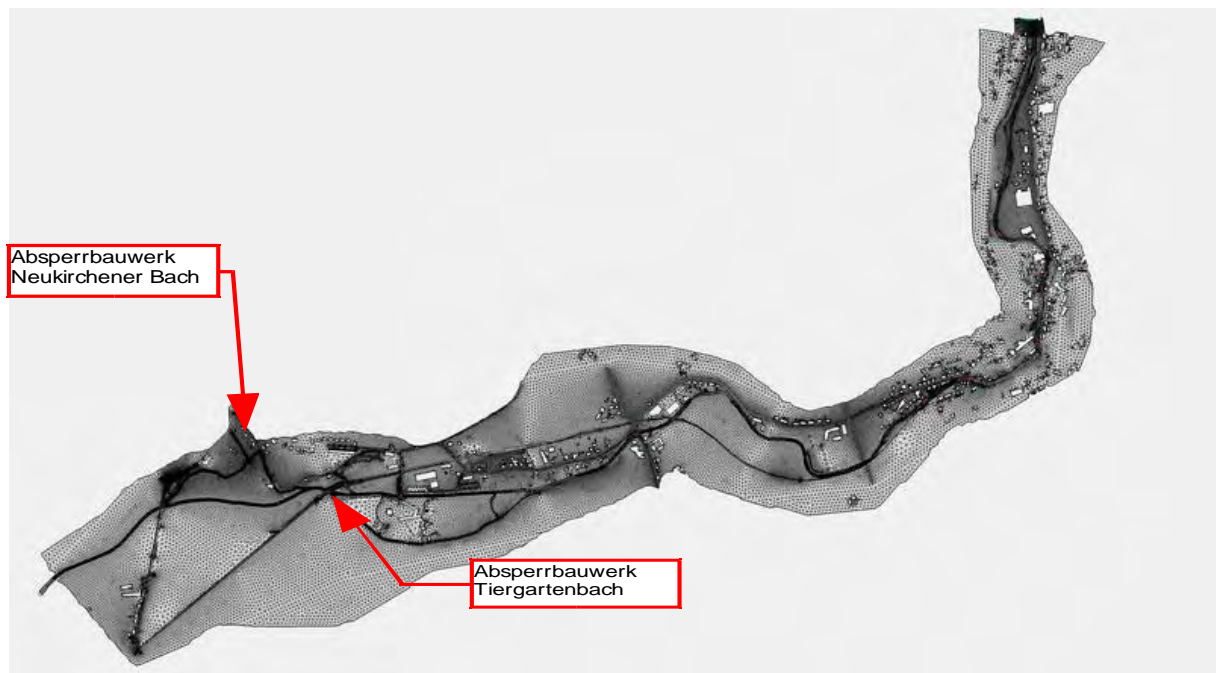


Abbildung 2-9 Lage Absperrbauwerke in den Zuflüssen

2.3.4 Sonstig erfasste Bauwerke

Neben den bereits beschriebenen Bauwerken fanden des Weiteren noch 4 Durchlässe im Modell Berücksichtigung, um so deren Einfluss auf die Ausbreitung der Überflutungsflächen abbilden zu können. Zwei der 3 Durchlässe befinden sich im seitlichen Zufluss Tiergartenbach und dienen als Überfahrten. Die Dimensionen wurden gemäß /1/, /5/, /9/ mit einer Länge von 15,40 m und 10,90 m und Durchmesser DN 2000 angesetzt. Ein weiterer Durchlass ist im Modell an Stationierung Würschnitz 2+481 rechtsseitig eingearbeitet. Hierbei handelt es sich um einen Durchlass, welcher den Bahndamm orthogonal quert. Dieser Durchlass soll der Entwässerung der hinterliegenden Flächen in den Vorfluter dienen. Im Hochwasserfall wird dieser Durchlass aufgrund des hydrostatischen Wasserdrucks der Würschnitz aber in entgegengesetzter Richtung durchströmt und überflutet somit die dahinterliegende Bebauung. Im Plan-Zustand wurde dieser Durchlass entsprechend verschlossen, um eine Hinterströmung der Plan-Maßnahmen zu verhindern. Die Abmaße des Bahndurchlasses stammen mit einer Länge von 11,50 m und einem Durchmesser von DN 800 aus /1/, /5/, /9/. An Station 3+930 ist ein weiterer Durchlass vorhanden, welcher den linksseitigen Zulauf des Hutholzbaches darstellt. In der folgenden Tabelle 2-3 sind die wesentlichen Eckdaten zur modelltechnischen Umsetzung der Durchlässe aufgelistet.

Tabelle 2-3 Eckdaten der im Modell erfassten Durchlässe

Station	Profil	Höhe		Länge
		Einlauf	Auslauf	
2+481 Tiergarten- bach	DN 800	324,095 mü.NHN	323,292 mü.NHN	11,50 m
	DN 2000	333,30 mü.NHN	333,25 mü.NHN	15,40 m
Tiergarten- bach	DN 2000	333,26 mü.NHN	333,09 mü.NHN	10,90 m
3+930	DN 1000	329,10 mü.NHN	328,22 mü.NHN	-

2.4 Randbedingungen

Als Randbedingung für das Ober- und Unterwasser besitzt das Berechnungsnetz an der Würschnitz einen Zu- und einen Auslaufrand (siehe Abbildung 2-11). Der Zulauftrand wurde etwa bei km 8+800 unter einem Winkel von 338,7° vom linken zum rechten Ufer definiert. Der Auslaufrand wurde an der Grenze des Berechnungsnetzes kurz unterhalb km 0+415 gelegt und wird über eine W-Q-Beziehung beschrieben. Die Bereitstellung der W-Q-Beziehung erfolgte durch das Büro, welches das unterwasserseitig anschließende hydraulische Modell erarbeitet (IWS). Die W-Q-Beziehung basiert auf den Parametern des durch die IWS erstellten 2D-Modells für den Zusammenfluss Würschnitz-Zwönitz. Eine Beeinflussung durch die Zwönitz ist in dem Abschnitt der W-Q-Beziehung auszuschließen (lt. Angabe IWS). Weiterhin wurde das „eingedeichte“ Modell der Würschnitz, welches der Simulation des gesamten Abflusses aus der Würschnitz diente, durch die IWS nachträglich bearbeitet um den IST-Zustand an der Schnittstelle (Stat. 0+500 bis 0+400) zu gewährleisten (siehe Abbildung 2-10).

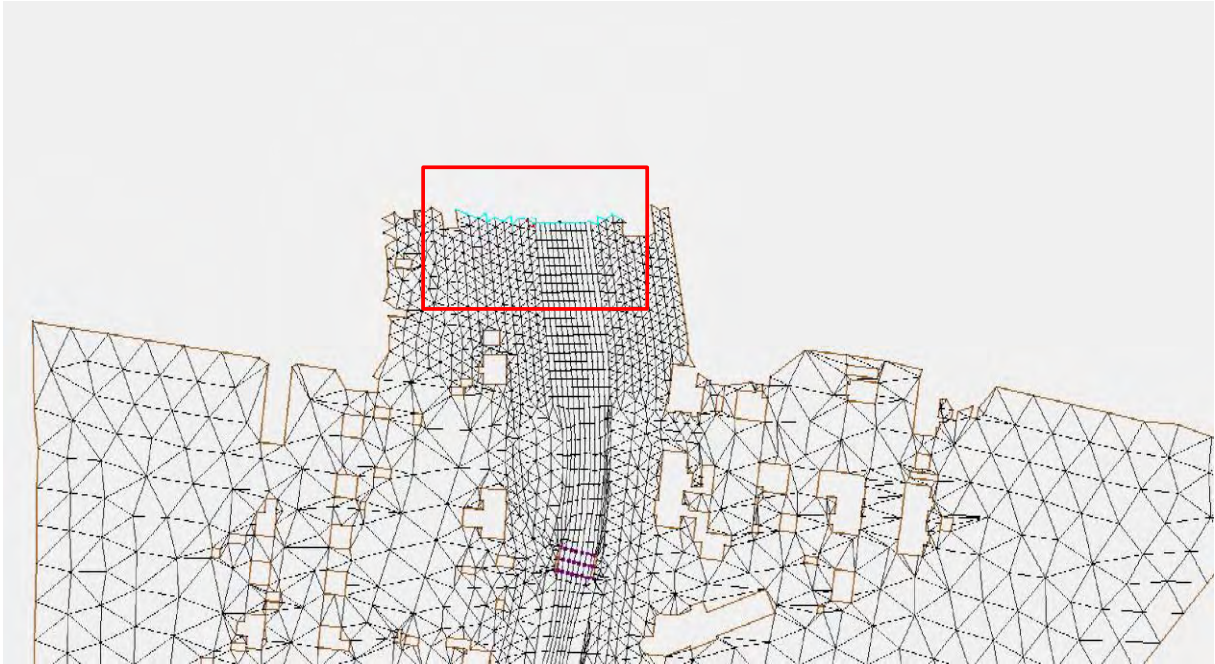


Abbildung 2-10 Schnittstelle Modellauslauf, Stat. 0+500 – 0+400

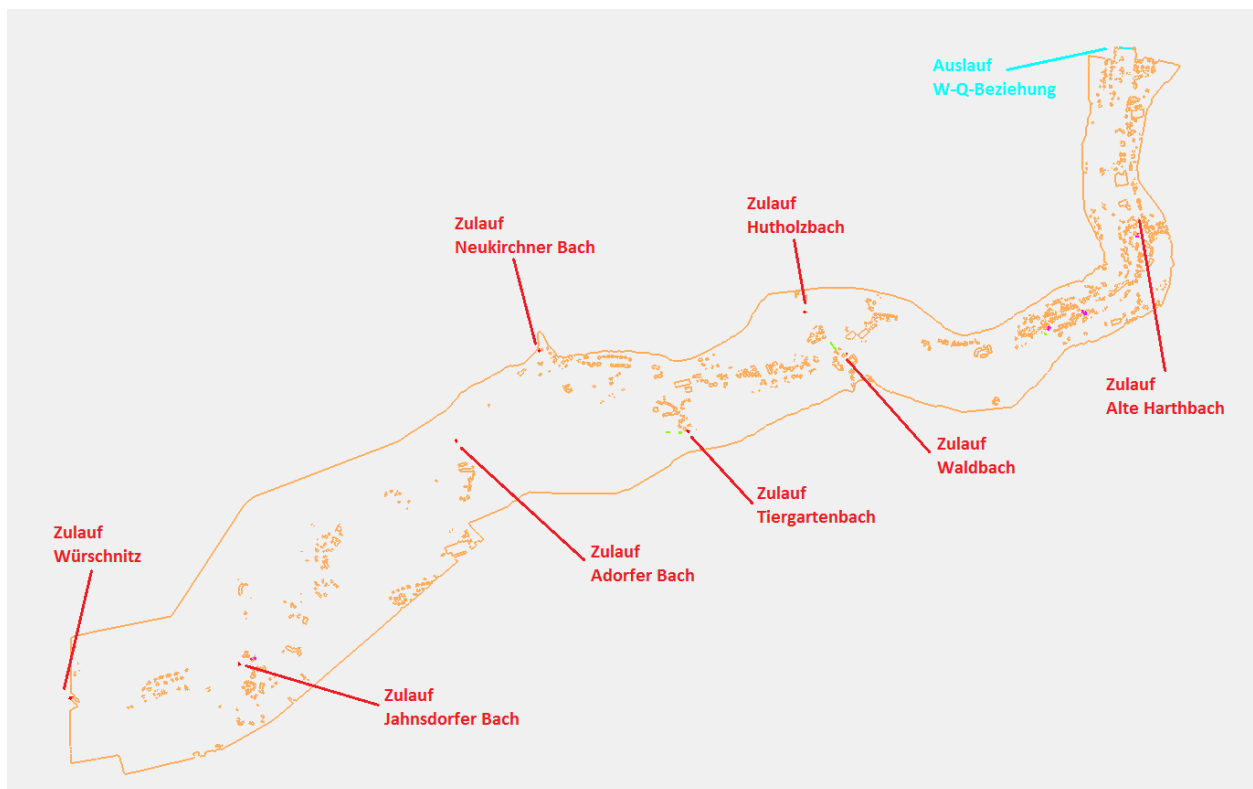


Abbildung 2-11 Darstellung Zu- und Auslauftrand

Somit ist in weiteren Planungsphasen eine Zusammenführung der Modelle uneingeschränkt möglich, denn aus dem IWS-Modell wurde ein Teil-TIN ausgeschnitten und an den Modellauslauf schlüssig angebunden und geometrisch vermascht.

2.5 Simulationsparameter

Die Berechnungen für die zu betrachtenden Hochwasserereignisse wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber stationär für die in Tabelle 2-4 aufgelisteten Wiederkehrzeiten durchgeführt. In der Simulation wurde demnach der für die jeweilige Wiederkehrzeit vorliegende Abfluss als konstanter Zufluss am Zulauftrand berücksichtigt und die Simulation solange durchgeführt, bis sich dieser Abfluss am Auslauftrand eingestellt. Als Berechnungszeitschritt wurden in diesem Zusammenhang 900 Sekunden gewählt. Hinsichtlich der übrigen Simulationsparameter wurde auf die in /8/ angegebenen Standardparameter zurückgegriffen.

Im vorliegenden Fall sind die hydrologischen Grundlagendaten durch den AG zur Verfügung gestellt worden. Zum einen wurden die amtlichen hydrologischen Pegeldata für die Pegel Jahnsdorf 1 und Pegel Harthau bei der LDC beantragt und mit Bescheid vom 29.11.2010 /12/ übergeben. Zum anderen erfolgte die Übergabe des hydrologischen Längsschnittes (siehe Anlage 1) am 28.11.2013. Tabelle 2-4 zeigt die angesetzten hydrologischen Parameter ohne HRB Jahnsdorf und mit HRB Neuwürschnitz. Das HQ_{Extrem} entspricht hier einem HQ_{300} .

Tabelle 2-4 Hydrologieparameter ohne HRB Jahnsdorf

Zulauf	HQ₂₅ Q in m³/s	HQ₅₀ Q in m³/s	HQ₁₀₀ Q in m³/s	HQ_{Extrem} Q in m³/s
Pegel Harthau	71,98	93,21	123,94	195,75
Summe Zuläufe	71,98	93,21	123,94	195,75
Alte Harthbach	4,06	5,09	6,64	8,06
Waldbach	3,14	4,35	5,54	9,07
Hutholzbach	0,83	1,10	1,59	5,29
Tiergartenbach	0,82	1,80	2,58	4,65
Neukirchner Bach	4,55	6,06	8,25	11,36
Adorfer Bach	4,88	6,48	8,64	11,60
Jahnsdorfer Bach	3,33	4,26	5,58	6,26
Würschnitz	50,37	64,07	85,12	139,46

Für die Nachvollziehbarkeit der Hydrologie ist hier die Besonderheit des Tiergartenbaches zu erwähnen, bei dem es sich um einen sinkenden Abfluss vom HQ₂₀ gegenüber HQ₂₅ handelt. Dies ist das Ergebnis der Berechnungen des N-A-Modells. In diesem Modell existiert zwischen den Zuläufen Neukirchner Bach und Tiergartenbach ein weiteres Zwischeneinzugsgebiet, das abflussmäßig zugeordnet werden muss. Bildet man im Längsschnitt (Anlage 1) die Differenz aus den Stationen Neukirchner Bach unth. und Tiergartenbach unth. so ergeben sich die angesetzten Parameter. Dies kann mit dem Anteil der im Zwischeneinzugsgebiet vorhandenen Flächenanteile zusammenhängen.

Im Vorfeld der Berechnungen für Ist- und Planzustand erfolgte die Kalibrierung des 2D-Modells. Den Kalibrierungsberechnungen lagen folgende Ereignisse zu Grunde:

- HW 08/2002
- HW 08/2010
- HW 01/2011.

Für das Hochwasser 08/2002 wurden durch die LDC /12/ die notwendigen Daten und Ganglinien zur Verfügung gestellt. Eine Berücksichtigung aktueller Hochwasserereignisse ist in dieser statistischen Auswertung jedoch noch nicht enthalten. Die für den Modellansatz notwendigen Parameter wurden durch Extrapolation der Pegelhöchstwerte Jahnsdorf 1 und Harthau berechnet (siehe Tabelle 2-5).

Tabelle 2-5 Hydrologische Daten aus /12/, /14/, /15/, /13/ für Zustand Kalibrierung

Hydrologische Parameter		für Kalibrierung			
Würschnitz					
	HQ(T)	Zulauf Modell	Pegel Jahnsdorf 1	Pegel Harthau	Auslauf Modell
	in (m ³ /s)				
EZG in Km ²		98,64	103,30	136,10	136,43
Station		8+800	7+940	0+700	0+413
14.01.2011, 8.00	HQ 01/2011	-	14,80	26,50	26,50
13.08.2002, 3.00	HQ 08/2002	76,87	89,90	115,00	115,25
	HQ 08/2010	85,25	103,00	123,00	123,00

2.6 Modelloptimierung

Für die Optimierung des aufgestellten hydraulischen Modells standen als Kalibrierungsereignisse die Hochwasser vom August 2002, 2010 und Januar 2011 neben den Scheitelabflusswerten der Pegel Harthau und Jahnsdorf 1 zur Verfügung. In der folgenden Tabelle 2-6 sind die HWM vollständig aufgelistet. Dabei handelte es sich bei den HWM in der Tabelle vorrangig um private Daten. Lediglich die HWM79_Wü, die im Auftrag des Staatlichen Umweltfachamtes nach dem Hochwasser 2002 eingemessen wurde, konnte als amtliche HMW durch die LDC bereitgestellt werden. Alle weiteren Hochwassermarken wurden durch den Objektplaner oder im Rahmen der Vermessungsarbeiten erhoben und bereitgestellt.

Tabelle 2-6 HWM innerhalb Projektgebiet

Bezeichnung	Typ	Hochwert	Rechtswert	HWM (m ü. NN)	Beschreibung	Ereignis
	privat	5626347,573	4562886,282	334,805	Hof Wasserschloss	2002
	privat	5626463,085	4563133,344	333,031	Baracke Grünflächenamt	2002
	privat	5626818,069	4565061,979	325,106	Hedwigstraße 6	2002
	privat	5626743,983	4564828,614	326,226	Albert-Schenk-Straße 2	2002
HWM79_Wü	amtlich	5628349,000	4565332,000	317,620	Harthauer-Str. 58	2002
3571	privat	5626352,492	4562878,650	334,758	Hof Wasserschloss	2010
3573	privat	5626498,376	4563558,228	332,245	Modehaus Maiwald	2010
3574	privat	5626738,366	4563882,119	330,713		2010
3575	privat	5626732,418	4564818,183	326,543	Albert-Schenk-Straße 2	2010
3577	privat	5626729,016	4564824,623	326,554	Albert-Schenk-Straße	2010
3587	privat	5626781,226	4564904,203	326,070	Brücke Friedrichstraße	2010
3588	privat	5627114,555	4565360,449	323,574	Stöcklstraße	2010
	privat	5626361,638	4561919,374	335,196		2011
	privat	5626350,083	4561921,288	335,162		2011
	privat	5626080,586	4561494,174	337,439		2011
	privat	5626089,372	4561487,767	337,468		2011
	privat	5626201,569	4561725,183	336,686		2011
	privat	5626194,349	4561729,141	336,721		2011
	privat	5626089,368	4561487,760	337,411		2011
	privat	5626201,568	4561725,196	336,635		2011
	privat	5626403,975	4562563,527	333,955		2011
	privat	5626410,119	4562571,360	333,976		2011
	privat	5626389,180	4562858,810	331,743		2011
	privat	5626397,371	4562862,560	331,683		2011
	privat	5626646,634	4563784,689	329,051		2011
	privat	5626638,595	4563796,920	329,058		2011
	privat	5626693,705	4564836,544	323,469		2011
	privat	5626700,531	4564831,304	323,440		2011

Bemerkung: Die HWM, welche 2002 aufgenommen wurden, lagen als Höhen im HN76 vor und wurden entsprechend den Vorgaben ins DHHN92 umgerechnet.

In der folgenden Abbildung 2-12 ist die Verteilung der HWM 2002 über das Projektgebiet dargestellt. Die Lage der bereitgestellten und aufgenommenen HWM beschränkt sich auf den Projektabschnitt zwischen Station Würschnitz 6+500 bis 1+500. Im Zuge der Erweiterung des Modellbereichs und der zugehörigen Vermessungsarbeiten konnten keine HWM aufgefunden und vermes-

sen werden. In diesem Modellabschnitt kann der Pegel Jahnsdorf 1 zur Kalibrierung herangezogen werden. Es ist eine relativ homogene Verteilung der HWM zu erkennen. Die HWM79_Wü befindet sich außerhalb des Modellgebietes und konnte daher nicht mit ausgewertet werden.

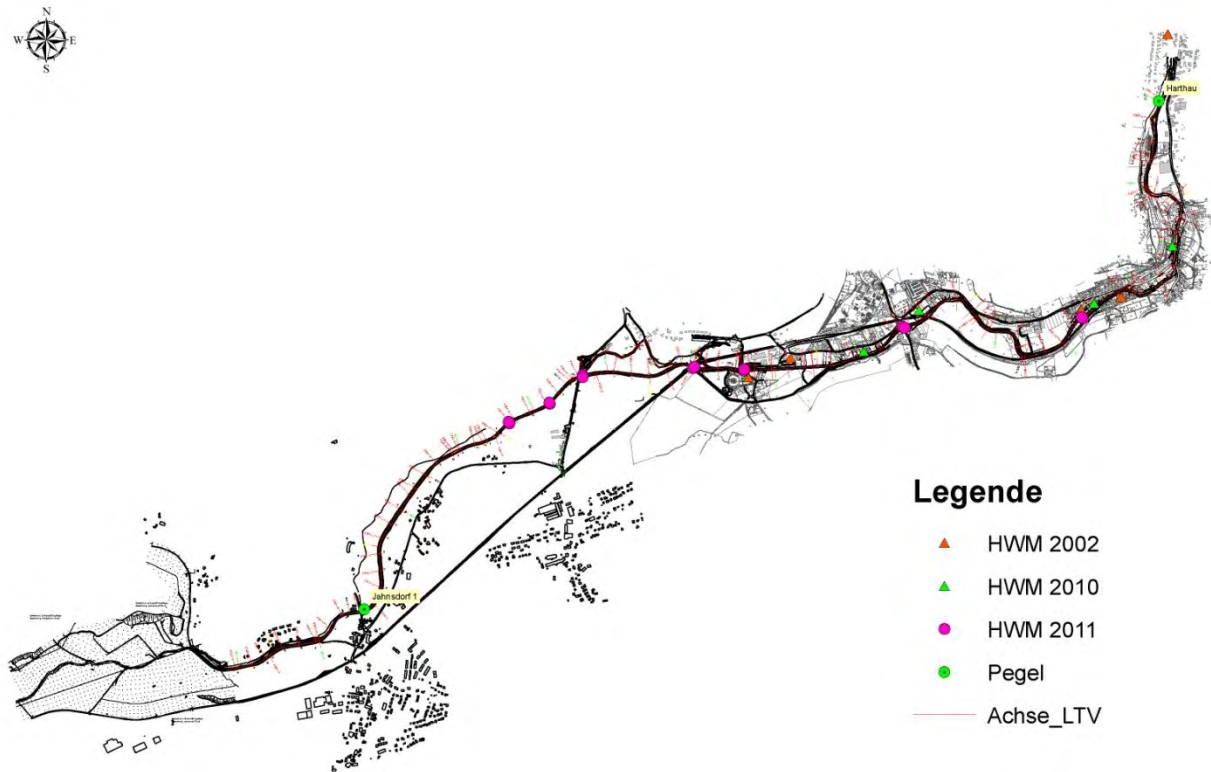


Abbildung 2-12 HWM HW 2002 / HW 2010 / HW 2011 und Pegel

Zur weiteren Verdichtung von Hochwassermarken wurden auch HWM der Ereignisse 2010 und 2011 erhoben. Das Hochwasser August 2010 ist vom Abflussgeschehen her über dem Hochwasser 2002 in diesem Projektabschnitt einzuordnen, also mit einer geringeren Wiederkehrwahrscheinlichkeit. Die Hochwassermarken geben diesen Sachverhalt klar wieder.

Auf Grundlage von Anwohnerangaben sowie Fotos vom Hochwasser wurden die signifikanten Stellen markiert und im Nachgang durch ein Vermessungsbüro eingemessen. Die Abbildung 2-12 zeigt alle im PA befindlichen HWM gemäß Ihrer räumlichen Verteilung. Die Hochwässer 2002 und 2010 stellen Ereignisse dar, welche mit einer statistischen Wiederkehrzeit zwischen 50 und 100 Jahren anzusetzen waren. Das Ereignis 2011 kann mit einer Jährlichkeit von $T < 2$ Jahre angenommen werden. Dieses Ereignis führte in einigen Bereichen im PA zu einer Überschreitung des bordvollen Abflusses und somit zu Überflutungen der Vorländer, jedoch ausschließlich in

weniger bebauten Abschnitten. Aufgrund dieser Tatsache wurde das HW 2011 durch den Modellersteller lediglich als Kalibrierungsberechnung für den Ansatz der Flussrauheiten angesehen. Basierend auf den Erfahrungswerten und Vorgaben der Literatur gab es einen Variationsbereich für den k_{St} -Wert von $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ bis $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Nach Auswertung der Ergebnisse wurde die beste Kalibrierung für die Rauheit des Gewässers mit einem Wert von $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ erreicht und festgelegt. Die Aufnahme der HWM 2011 erfolgte nur für den zu diesem Zeitpunkt festgelegten Modellbereich von Station Würschnitz 6+500 bis 1+500. Da dieser Modellabschnitt die Struktur des Gesamtmodells sehr gut repräsentiert, wurde im Zuge der Modellerweiterung bis Station Würschnitz 8+800 auf die Kalibrierungsergebnisse für die Festlegung der Flussrauheit zurückgegriffen.

Tabelle 2-7 Auswertung HWM HW 2011 für Kalibrierung Fluss

Hochwassermarken Würschnitz, HW 2011							
Station ca.	Rechtswert	Hochwert	Höhe	Uhrzeit	$k_{St} = 25$	$k_{St} = 28$	$k_{St} = 30$
5+896	4561919,374	5626361,638	335,196	08:00	335,25	335,17	335,15
					0,06	-0,03	-0,04
5+896	4561921,288	5626350,083	335,162	08:00	335,24	335,17	335,14
					0,08	0,01	-0,02
6+413	4561494,174	5626080,586	337,439	08:15	337,46	337,38	337,34
					0,02	-0,06	-0,10
6+413	4561487,767	5626089,372	337,468	08:15	337,48	337,40	337,36
					0,01	-0,07	-0,11
6+150	4561725,183	5626201,569	336,686	08:25	336,65	336,59	336,54
					-0,03	-0,09	-0,15
6+150	4561729,141	5626194,349	336,721	08:25	336,68	336,61	336,57
					-0,05	-0,11	-0,15
6+413	4561487,760	5626089,368	337,411	08:17	337,48	337,40	337,36
					0,06	-0,01	-0,06
6+150	4561725,196	5626201,568	336,635	08:25	336,65	336,59	336,54
					0,02	-0,04	-0,10
5+226	4562563,527	5626403,975	333,955	08:51	334,05	334,04	334,04
					0,10	0,09	0,08
5+226	4562571,360	5626410,119	333,976	08:52	334,03	334,02	334,02
					0,06	0,04	0,04
4+931	4562858,810	5626389,180	331,743	09:01	331,99	331,91	331,93
					0,24	0,17	0,18
4+931	4562862,560	5626397,371	331,683	09:02	331,93	331,88	331,86
					0,25	0,20	0,17
3+930	4563784,689	5626646,634	329,051	09:11	329,34	329,28	329,24
					0,29	0,23	0,19
3+930	4563796,920	5626638,595	329,058	09:12	329,31	329,25	329,20
					0,25	0,19	0,14
2+564	4564836,544	5626693,705	323,469	09:21	323,80	323,75	323,74
					0,33	0,29	0,27
2+564	4564831,304	5626700,531	323,440	09:27	323,80	323,76	323,74
					0,36	0,31	0,30
				Mittel:	0,13	0,07	0,04

Wie bereits beschrieben erfolgten in einem ersten Schritt der Kalibrierung Berechnungen, bei denen zunächst nur der k_{St} -Wert im Flussschlauch variierte. Der k_{St} -Wert zählt neben der Gerinnegeometrie des Gewässers zu den maßgebenden Parametern der Abflusskonzentration und

wurde bezüglich seines Einflusses auf den Wasserspiegel im Bereich der HWM beurteilt. Es zeigte sich, dass selbst bei einem k_{St} -Wert von $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ noch sämtliche im Rahmen der Kalibrierung betrachteten HWM durchschnittlich um $0,13 \text{ m}$ (Varianz von $-0,05$ bis $+0,36$) überschätzt wurden, wobei die HWM bei Stat. 2+560 sehr wahrscheinlich im Rückstaubereich der Brückenbauwerke BW4 bis BW6 einschl. Bahnbrücke „Blaues Wunder“ liegen (siehe Tabelle 2-7). Laut /8/, /10/ entspricht ein k_{St} -Wert von $25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ einem Gewässer mit Geröll und Fels, weshalb in Absprache mit dem Auftraggeber in den weiteren Betrachtungen der hinsichtlich der Wasserstände günstigere und plausible k_{St} -Wert von $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für den Flussschlauch angesetzt wurde.

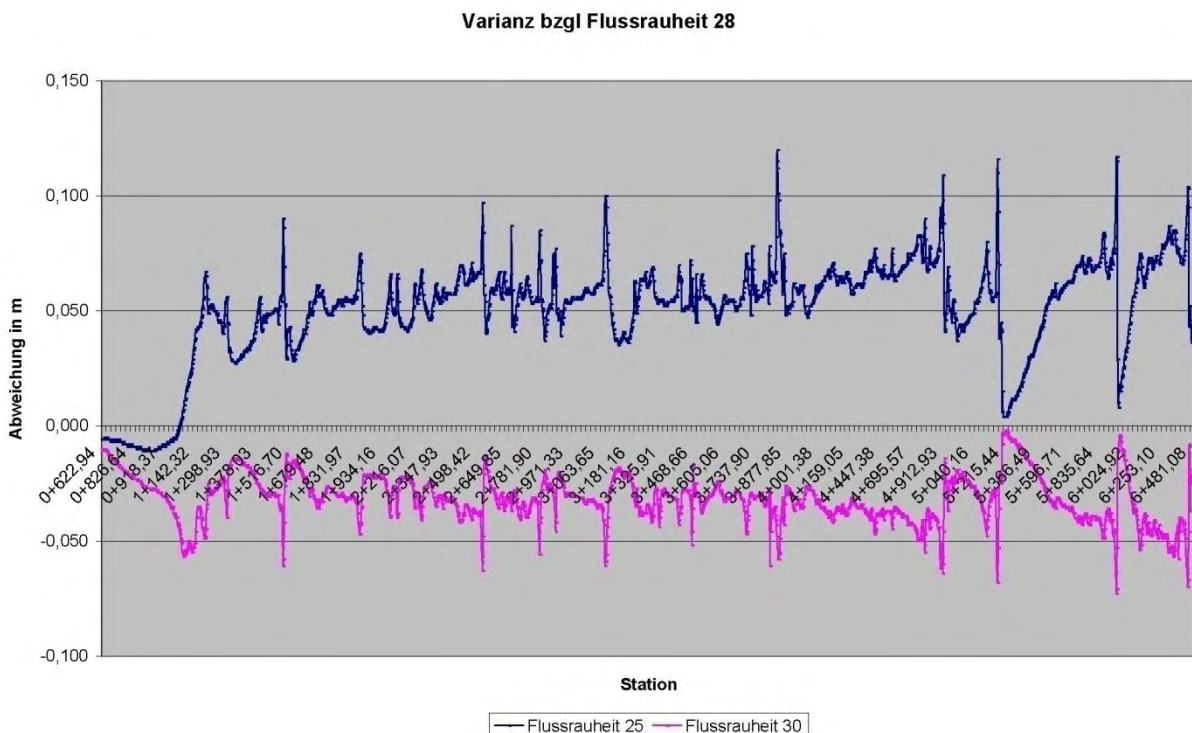


Abbildung 2-13 Varianzbetrachtung Flussrauheit am HW 2011

Anhand der Auswertungen (Abbildung 2-13 bis Abbildung 2-15) unter Einbeziehung der auftretenden Varianz zwischen den unterschiedlich vereinbarten Rauheiten für das Flussmodell (Hauptgewässer) konnte festgestellt werden, dass die gewählte Rauheit von $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ für den Flussschlauch als plausibel angesehen werden kann. Für die 3 verschiedenen Hochwasserereignisse ist über den gesamten Modellbereich eine stetige Varianz mit nachvollziehbaren Abweichungen zu erkennen und somit eine Bestätigung der Festlegungen zu verzeichnen.

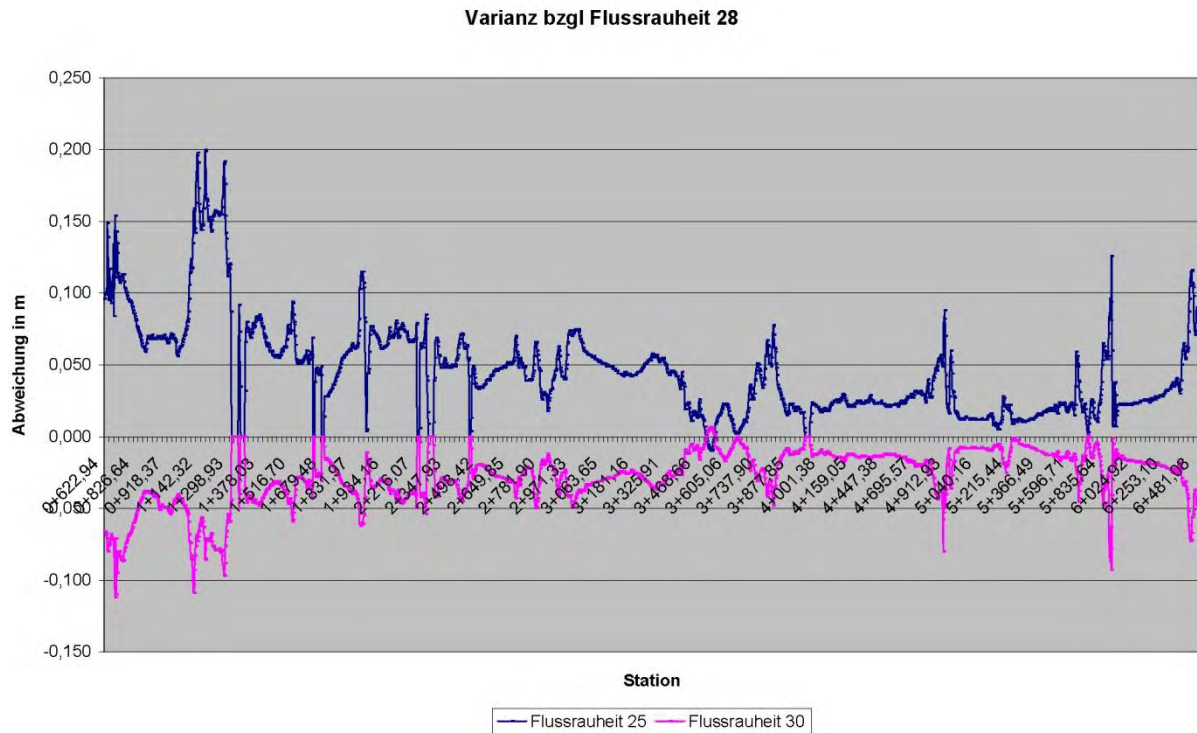


Abbildung 2-14 Varianzbetrachtung Flussrauheit am HW 2010

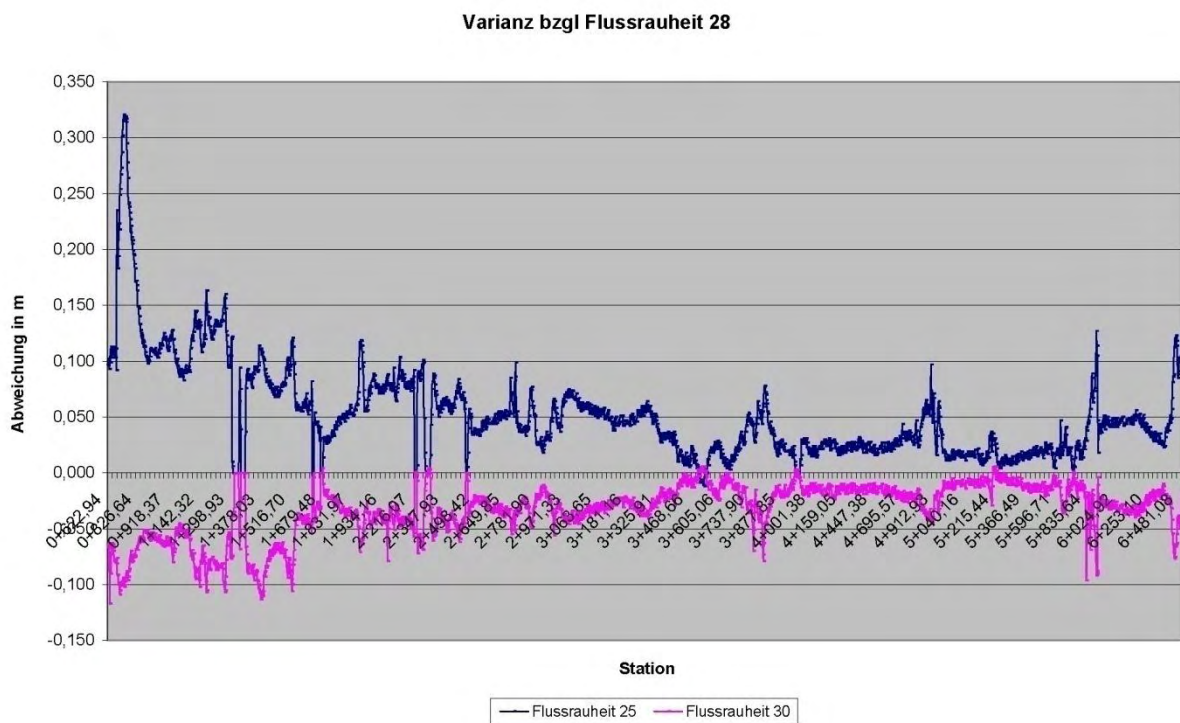


Abbildung 2-15 Varianzbetrachtung Flussrauheit am HW 2002

In einer weiteren Betrachtung wurde ferner noch einmal untersucht, inwieweit sich eine Änderung der k_{ST} -Werte entlang der im Vorland der Würschnitz überwiegenden Landnutzung („Wiese“) von $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ über $12 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ auf $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ auf die Wasserspiegellage auswirkt.

Aufgrund der Tatsache, dass die Flächennutzung „Wiese“ mit einem Anteil von ca. 84 % an der Gesamtfläche des Modellgebietes aufweist, besitzt diese Nutzungsart eine gravierende Bedeutung für die Bestimmung und Festlegung der Rauheitsbelegung der Vorländer. Die Morphologie der Würschnitz und der zugehörigen Auen- und Talbereiche im PA erzeugt bereits ab einem Abfluss von $Q > 39,2 \text{ m}^3/\text{s}$ einen großflächigen Vorlandabfluss aufgrund nicht ausreichender Gewässerleistungsfähigkeit. Die Struktur der beidseitigen Vorlandbereiche wird durch abschnittsweise dichte Bebauung und einen hohen Besiedlungsgrad gekennzeichnet. Sofern keine Bebauung vorhanden ist, werden unbebaute Bereiche durch Zäune, Absperrungen sowie wechselnde Nutzungsarten sowie Querbauwerke beeinflusst. Nach Analyse dieser Parameter konnte eindeutig herausgearbeitet werden, dass die Festlegung der Vorlandrauheit einen bedeutenden Einfluss auf das Abflussgeschehen in diesen Bereichen hat. Der vorhandene hohe Grad an Strukturierung im Vorland wurde mit der Wahl einer rauen Vorlandklassifikation Rechnung getragen. Wie in Abbildung 2-16 zu erkennen, weist die Varianzbetrachtung des HW 2002 der Zustände k_{ST} -Werte 10 und 13 eine stetige aber dennoch im Dezimeterbereich liegende Abweichung auf.

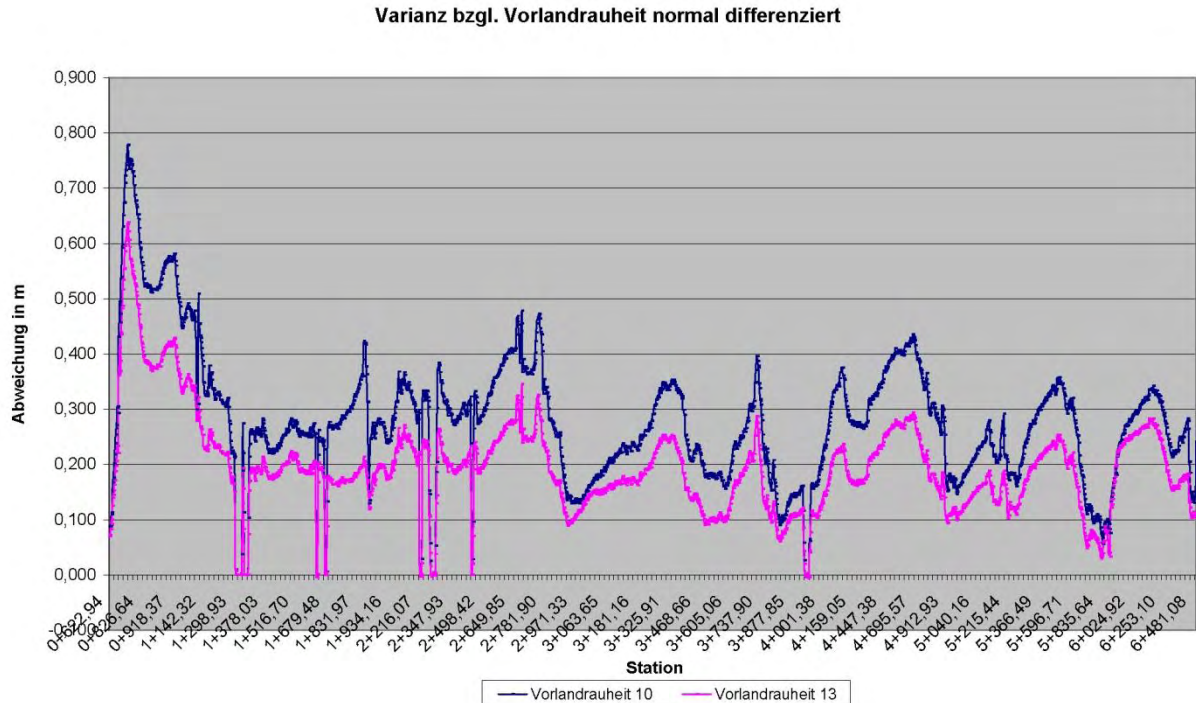


Abbildung 2-16 HW 2002, Varianz Vorlandrauheit für k_{ST} -Wert 10 und 13

Abgeleitet aus dem stetigen Verlauf der Wasserspiegellagen kann dem Modell eine Kontinuität hinsichtlich der berechneten Ergebnisse und weiterhin plausible Modellkenngrößen bescheinigt

werden. Die besten Übereinstimmungen zwischen gewähltem Rauheitsansatz und Hochwassermarken wird in vorliegenden Modell mit dem k_{St} -Wert = $13 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ erreicht.

Im Zuge der durchgeführten Sensitivitätsbetrachtungen wurde analysiert welche Parameter Einfluss auf die Modellgenauigkeit besitzen. Neben den Betrachtungen zur Rauheit wurde untersucht, welchen Einfluss eine Veränderung der Durchflüsse auf die Modellausgabewerte hat. Hierfür wurden die Eingangsgrößen des hydrologischen Längsschnittes für das Hochwasserereignis 08/2002 jeweils um 10 % erhöht und verringert. Nach erfolgter Analyse der Daten ist feststellbar, dass eine Verringerung der Abflüsse um 10 % eine relativ konstante Abweichung zum Normalabflussregime von max. 0,1 m aufweist. Die mittlere Abweichung beträgt ca. 0,04 m. Dies deutet auf eine gute Modellhomogenität hin. Eine Erhöhung der Abflüsse um 10 % bewirkt eine eklatante Erhöhung der berechneten Wasserspiegel im Maximum bis zu 0,5 m. Im Hinblick auf die Bewertung der Modellsensitivität ist aber ein anderer Sachverhalt zu begutachten, denn die Abweichungen der unterschiedlichen Durchflüsse treten genau an den gleichen Stationierungen des Gewässers auf und lassen somit auf eine gute Abbildung des Abflussgeschehens im PA schließen. Die abschnittsweise hohen Abweichungen bei der Abflusserhöhung lassen sich zudem damit erklären, dass die Gerinneleistungsfähigkeit einschl. der Bauwerke (Brücken) bereits bei Normalabfluss (HW 2002 ~ HQ_{100}) überschritten wird. Eine weitere Erhöhung des Abflusses resultiert in einer Verschlechterung des Modellabflusses bis hin zum kritischen Bereich.

Varianz bzgl. Abfluss HW2002 mit normalem Abfluss

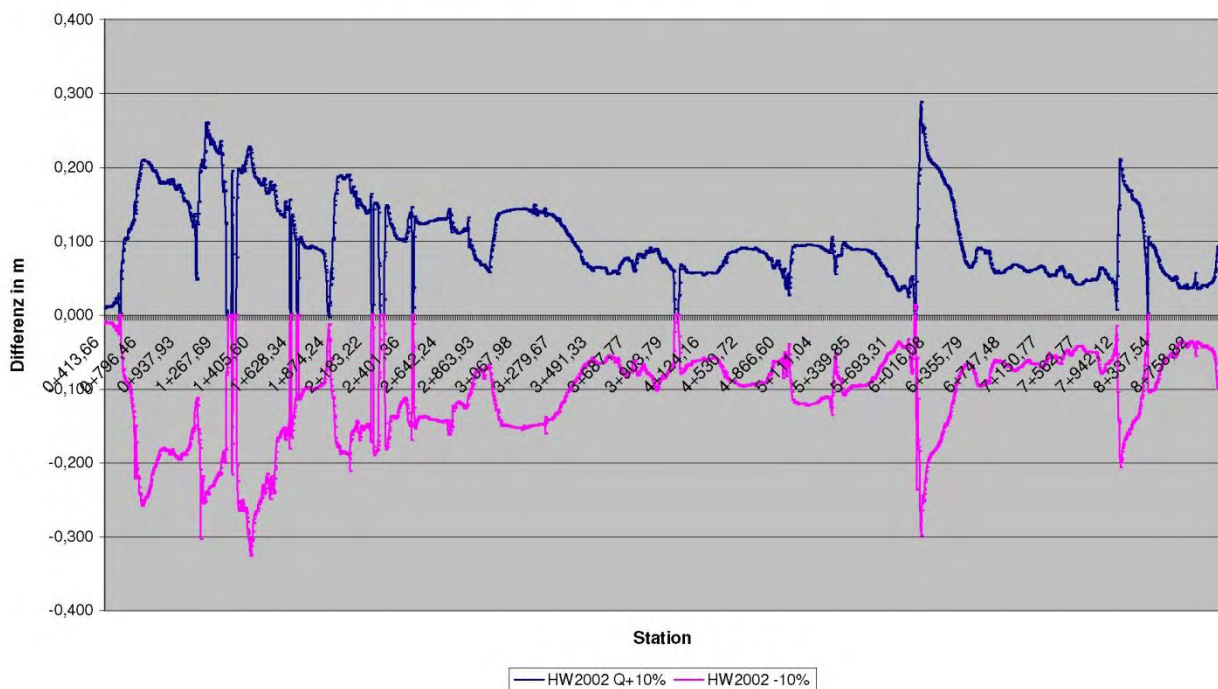


Abbildung 2-17 Varianzbetrachtung Durchflussmengenänderung für HW 2002

Nach erfolgter Analyse und Bewertung der Sensitivitätsbetrachtungen wurden die jeweiligen Hochwasserereignisse HW 2002, HW 2010 und HW 2011 mit den zugehörigen Hochwassermarken verglichen. Die Einordnung der vorhandenen privaten HWM sollte jedoch nicht vorbehaltlos erfolgen, da die Fixierung der Marken nicht belegbar und nachvollziehbar ist. Daher sind diese Marken lediglich als Anhaltspunkt anzusehen. Vorteilhaft ist die räumliche Verteilung der HWM über das gesamte Modellgebiet. Als weiteres ungünstiges Kriterium im Hinblick auf die Wertung und Belastbarkeit der HWM ist festzustellen, dass eine Vielzahl nicht direkt am Gewässer sondern im Vorlandbereich an der landwärtsgerichteten Seite von Gebäuden angebracht wurde. Diese ungünstige Fixierung verfälscht unter Umständen die Ergebnisbewertung. Die Abweichungen der Berechnungsergebnisse zu den HWM sind in der untenstehenden Abbildung dargestellt. Die Abweichungen für das HW 2011 stellen hierbei die Kalibrierung für den Flussschlauch dar und sind als plausibel und akzeptabel zu bewerten. Die Ereignisse HW 2002 und HW 2010 weisen an einigen HWM, vor allem im unterwasserseitigen Modellbereich Differenzen auf. Die Abweichungen sind alle im negativen Bereich und deuten somit auf niedrigere Wasserspiegellagen im Vergleich zu den Hochwassermarken hin. Berücksichtigt man hingegen, dass eine Vielzahl der HWM sich wie oben beschrieben an ungünstigen Stellen befinden und durch diese ungünstige Lage auch zum Teil erhöhte Werte infolge Verkläusung in Betracht gezogen werden sollten, sind die festgestellten Abweichungen erklärbar und tolerabel.

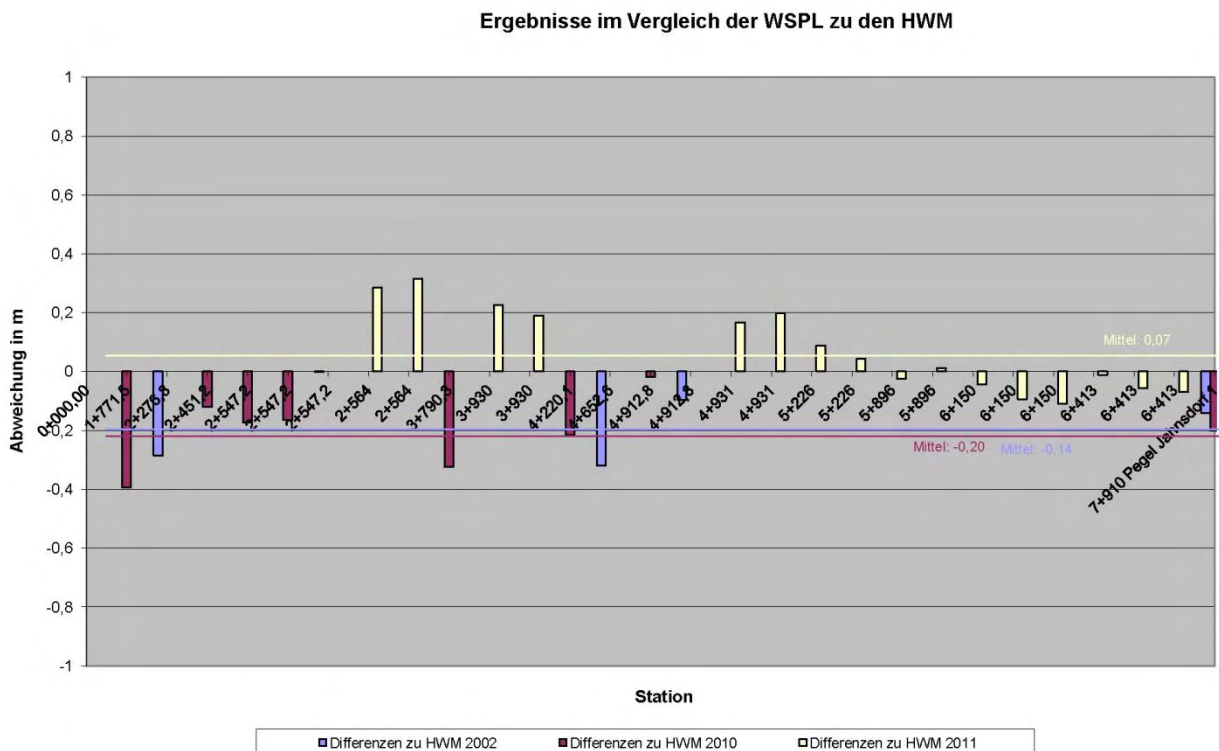


Abbildung 2-18 Diagramm Vergleich Wasserspiegel zu HWM

Im Zuge der oberstromigen Erweiterung des HN-Modells von Fkm 6+500 bis 8+800 konnte der Pegel Jahnsdorf 1 mit angeschlossen und zur Sensitivitätsbetrachtung mit herangezogen werden. Die Wasserspiegel der Kalibrierungsrechenläufe für HW 2002 und HW 2010 unterschätzen die Messwerte der Pegelganglinie um ca. 14 cm und 20 cm (bereinigte Differenz HN – DHHN92). Die Lage des Pegels direkt unterhalb einer Brücke, welche bei den Hochwasserereignissen 2002 und 2010 jeweils eingestaut war, ist als kritisch zu bewerten. Nach Aussagen der Landesdirektion war der Pegel Jahnsdorf 1 im Ereignis 2010 umläufig, sodass hier keine linearen Strömungsverhältnisse vorherrschten.

3 Übernahme hydrologische Parameter aus dem N-A-Modell, Stand 2015

Für die Berechnung des Ist- und Planzustandes wurden die Abflussparameter ohne HRB Jahnsdorf jedoch mit HRB Neuwürschnitz angesetzt (siehe Tabelle 2-4 und Abschnitt 2.5).

3.1 Sensitivitätsbetrachtung

3.1.1 Auslaufrandbedingung

Im Rahmen von Testrechenläufen im Vorfeld der eigentlichen Kalibrierung wurden auch Untersuchungen hinsichtlich des für den Auslaufrand des Modells geforderten Gefälles durchgeführt. Im Ergebnis der Interaktion mit dem AG wurde sich auf die Verwendung einer W-Q-Beziehung geeinigt, welche auf den bereitgestellten Ergebnisdaten des anschließenden unterwasserseitigen Modells /15/ beruht. Die W-Q-Beziehung wurde im Zuge der Anpassung des NAM durch die IWS überprüft und mit Datum vom 01.08.2011 aktualisiert übergeben.

Würschnitz Fluss-km 0+413

unabhängig vom Wasserstand in der Zwönitz

W [m NHN]	Q [m³/s]
315,68	5,0
316,26	20,0
316,96	50,0
317,49	80,0
317,87	110,0
317,91	115,0
318,11	133,5
318,16	140,0

entspricht Kalibrierungsereignis
entspricht HQ100

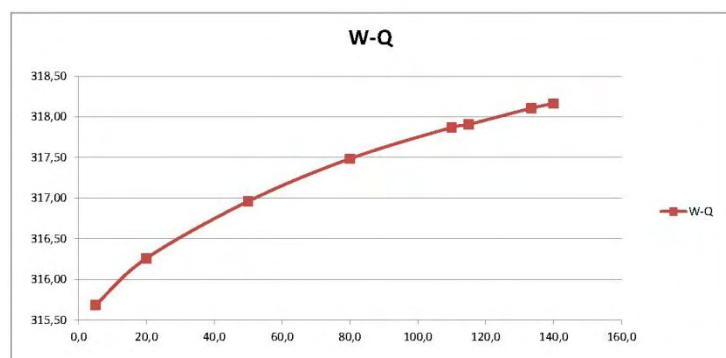


Abbildung 3-1 W-Q-Beziehung, Stand 01.03.2011

Würschnitz Fluss-km 0+413

unabhängig vom Wasserstand in der Zwönitz

W [m NHN]	Q [m³/s]
315,56	5,0
316,06	20,0
316,75	50,0
317,29	80,0
317,76	110,0
317,84	115,0
318,00	125,5
318,12	133,5
318,21	140,0

entspricht HW2002
entspricht HQ100 mit Becken Neuwürschnitz
entspricht HQ100 alt

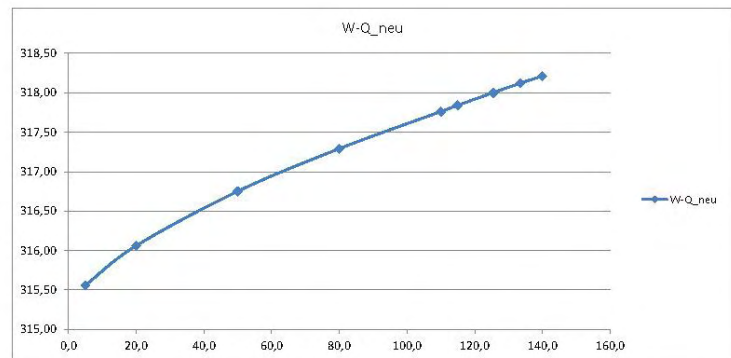


Abbildung 3-2 W-Q-Beziehung, Stand 01.08.2011

Für die zu berechnenden Szenarien HQ₂₅, HQ₅₀ und HQ₁₀₀ wurde aufgrund der veränderten Abflusswerte mit Stand vom 18.06.2015 eine erneut aktualisierte W-Q-Beziehung übergeben.

Würschnitz Fluss-km 0+413

unabhängig vom Wasserstand in der Zwönitz

aus 2D-Modellierung

W [m NHN]	Q [m³/s]
315,56	5,0
316,06	20,0
316,75	50,0
317,29	80,0
317,76	110,0
317,84	115,0
318,00	125,5
318,12	133,5
318,21	140,0

entspricht HW2002
entspricht HQ100 mit Becken Neuwürschnitz
entspricht HQ100 alt

Berechnung über Regression

W [m NHN]	Q [m³/s]
315,56	5
315,74	10
315,91	15
316,06	20
316,20	25
316,32	30
316,44	35
316,55	40
316,65	45
316,75	50
316,85	55
316,94	60
317,03	65
317,12	70
317,15	71,99
317,20	75
317,29	80
317,37	85
317,45	90
317,50	93,21
317,53	95
317,61	100
317,69	105
317,76	110
317,84	115
317,92	120
317,97	123,94
317,99	125
318,00	125,5
318,06	130
318,12	133,5
318,14	135
318,21	140

HQ25 mit HRB Neuwürschnitz

HQ50 mit HRB Neuwürschnitz

HQ100 mit HRB Neuwürschnitz

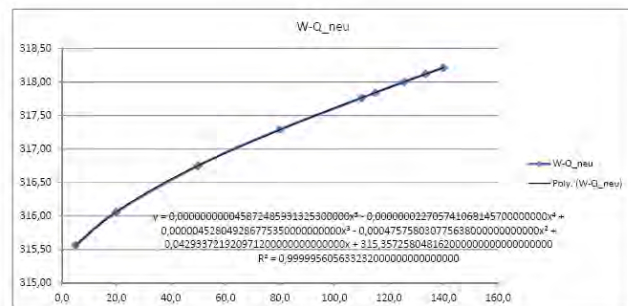


Abbildung 3-3 W-Q-Beziehung, Stand 18.06.2015

Auch für diese W-Q-Beziehung gelten die in Abschnitt 2.4 erwähnten Parameter.

3.1.2 Abbildung der Brückenbauwerke

Auf Grundlage der Erkenntnisse aus der Modelloptimierung wurde in verschiedenen Testrechnungen untersucht, ob der im Hinblick auf Verklausungen unter und an den Brücken vermutete

höhere Wasserstand an den HWM des Kalibrierungsereignisses eventuell durch eine vertretbare Modifikation am Berechnungsnetz modelltechnisch berücksichtigt werden kann.

In einer Testrechnung wurden pauschal alle KUK's um 0,5 m abgesenkt, um potentielle Verklausungen an den Bauwerken besser abzubilden. Im Ergebnis konnten damit aber nur minimale Verbesserungen festgestellt werden. So kommt es zwar oberhalb der eingestauten Brücken zu einer Erhöhung des Wasserspiegels, jedoch fällt diese oberstrom der Brücken zu gering aus, als dass diese Änderungen am Berechnungsnetz für die Modellkalibrierung zweckmäßig wären, zumal sich diese Erhöhung nur lokal auf die Wassertiefen oberstrom der Bauwerke auswirkt. Unterstrom ist eher eine Absenkung der Wasserstände zu beobachten, die sich teilweise sogar bis in den Einflussbereich anderer Bauwerke stromabwärts auswirkt.

Neben der pauschalen Absenkung der KUK's zur Erfassung von Verklausungen unter den Brückenbauwerken wurde in einer anderen Testrechnung versucht, dies über den k_{St} -Wert in der Simulation zu berücksichtigen. Dafür wurde lokal bei allen Elementen unter den Brücken der k_{St} -Wert für den Flussschlauch von $28 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ auf $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ reduziert, um so indirekt über die Erhöhung der Schubspannung die Querschnittsverengung nachzubilden. Nach Auswertung dieser Daten konnte auch durch diesen Ansatz im Hinblick auf die HWM nur geringfügige Veränderungen in den Wasserspiegellagen erreicht werden. Jedoch ist bei diesem Ansatz im Vergleich zur vorangegangenen Testrechnung eine Erhöhung der Wasserstände über den gesamten betrachteten Gewässerabschnitt zu bemerken. Da durch die eben beschriebenen beiden Ansätze die berechneten Wasserspiegellagen hinsichtlich der HWM nicht deutlich verändert werden konnten, wurde des Weiteren noch eine Testrechnung durchgeführt, in der bei den Brücken nicht nur die Knoten des Berechnungsnetzes im Bereich der „Fahrbahn“ sondern auch noch jeweils eine Knotenreihe unter- und oberhalb des Bauwerks als KUK's definiert wurden. Damit sollten eventuelle Simulationsfehler aufgrund zu kurzer Abflussstrecken beim Wechsel der Abflussverhältnisse vom Freispiegel- zum Druckabfluss unter den über KUK's abgebildeten Brücken aufgedeckt werden. Doch wie aus der Analyse dieser Daten ersichtlich geworden ist, sind zwischen der Wasserspiegellage aus der Kalibrierungsrechnung und der aus der Testrechnung mit den verbreiterten KUK's keine nennenswerten Unterschiede festzustellen. Diese Thematik kann als Ursache für die Unterschätzung des Modells betreffs der Wasserstände weitestgehend ausgeschlossen werden.

Im Zuge der Kalibrierung des Modells wurden zudem die Brückenbauwerke ermittelt, welche unter Ansatz des BHQ überströmt werden. Diese Bauwerke wurden im Modell weiterhin mit überströmbaren KUK's modelliert. Für den Bemessungslastfall BHQ sind die festgestellten Differenzen vernachlässigbar gering.

3.1.3 Untersuchung Modellsensitivität im Einflussbereich der Planungsabschnitte M1 - M5

Nach Übergabe und Einarbeitung der Planungsstände der Genehmigungsplanung für die beplanten Projektabschnitte wurden Betrachtungen hinsichtlich der sensitiven Wirkung von verschiedenen Parametern untersucht. In einem iterativen Prozess der Datenübergabe wurden für folgende Projektabschnitte Planungsdaten durch den Objektplaner übergeben:

- M1 Ingenieurbüro EBB Stand 04.2015
- M2 Ingenieurbüro URAG Stand 02.2014
- M3 Ingenieurbüro Bauer Tiefbauplanung Stand 04.2015
- M4 Ingenieurbüro Arcadis Stand 01.2016
- M5 Ingenieurbüro IMB Stand 06.2014

Die übergebenen Datenformate waren sehr heterogen und wurden durch den Modellersteller partiell nachbearbeitet um eine geometrische Einarbeitung in das Modell realisieren zu können.

Weiterführend wurden Planungsdaten zu verschiedenen Brückenbauwerken, welche sich aktuell in einer Überplanung durch den Rechtsträger Stadt Chemnitz befinden, durch die Objektplaner zur Übernahme in das Modell übergeben. Folgende Brücken werden derzeit beplant:

- BW 2 Aktivierung der beiden seitlichen Brückenfelder Stand 08.2013 (laufend)
- BW5 Rückbau Fundamentvorlagen im Gewässer Stand 02.2014 (laufend)
- BW6 vorgesehener Ersatzneubau Stand 02.2014 (laufend)
- BW7 vorgesehener Ersatzneubau (ohne Mittelpfeiler) Stand 02.2014 (laufend)
- BW8neu vorgesehener Ersatzneubau Stand 02.2014 (laufend)

Die Planungsstände (02.2014) für die Brückenbauwerke wurden übergeben und sind im Modell bereits enthalten. Weitere Anpassungen infolge erforderlicher Änderungen im Genehmigungsverfahren können jederzeit berücksichtigt werden.

Im Zuge der abschnittswisen Erarbeitung der LPh. 3 u. 4 wurden ebenfalls Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte durch die beteiligten Planer konzipiert. Nach Abstimmung mit der zuständigen Fischereibehörde wurden diese Maßnahmen (inklinante Buhnen, Strömungsenker, Störsteingruppen, etc.) ebenfalls in das vorliegende Planmodell übernommen. Die Abbildung erfolgte gemäß getroffener Festlegungen durch geometrische Einarbeitung und nicht durch Verwendung von Abstufungen der Gewässerrauheit.

Im Ergebnis der Auswertung der Ergebnisdaten für die berechneten Zustände im Rahmen der Sensitivitätsrechenläufe (Durchfluss + 5% und - 5%, Durchfluss +10% und - 10%, Rauheit Fluss

+ 10% und - 10%) ist eine erwartete moderate Varianz der Wasserspiegellagen eingetreten. Die Wasserspiegel reagieren lediglich um wenige cm und bilden die örtliche Situation sehr gut ab. Die beeinflussenden Faktoren sind vor allem die Ausbildung der Gefällesituation der Gewässer-
sohle sowie die Größe des Abflussquerschnittes. Unter Beachtung dieser genannten Parameter ist ein sehr gutes Ansprechverhalten des Modells festzustellen. Die mittlere Schwankungsbreite für eine 10 %-ige Veränderung des Abflusses erzeugt eine Veränderung der Wasserspiegellage zwischen 0,07 und 0,15 m und bewegt sich damit im Genauigkeitsbereich des Modells sowie im geplanten Freibord.

4 Auswertung der Simulationsergebnisse

4.1 Ist-Zustand

Die hydraulischen Verhältnisse im Ist-Zustand wurden ohne Wirkung des derzeit beplanten Standortes des HRB Jahnsdorf, aber mit HRB Neuwürschnitz berechnet.

Bezüglich der Betroffenheit kommt es vor allem im Bereich Wasserschloss Klaffenbach und Golfplatz sowie in der OL Harthau zu weiträumigen Überschwemmungen. Aufgrund der ungünstigen hydraulischen Verhältnisse im Mündungsbereich des Hutholzbaches in die Würschnitz sind hier ebenfalls großflächige Überflutungen des Areals der Fa. Baufeld Mineralölraffinerie festzustellen. In diesem Abschnitt ist weiterführend eine Rückhaltung/schadlose Ableitung des Abflusses Gewässer 2. Ordnung (Hutholzbach) oberhalb der bebauten Bereiche zu untersuchen. Die Überflutung des Wasserschlosses Klaffenbach erfolgt unter anderem über den Tiergartenbach, welcher sich westlich des Wasserschlosses, aufgrund der Überflutung des Verschlussorgans mit der Würschnitz ausspiegelt. Der Zulauf stellt zudem die Speisung des gesamten „Wasserhaushaltes“ des Wasserschlosses (Schlossgraben) dar. Betroffen sind hier die Zufahrtsstraßen sowie der westlich gelegene Golfplatz.

Ein weiterer kritischer Abschnitt befindet sich in der OL Harthau. Hier werden die Überflutungen zum einem von der Minderleistungsfähigkeit des dort befindlichen Gerinnes sowie durch die beschränkenden Bauwerke BW 4, BW 5 (Bahnbrücke „Blaues Wunder“) und BW 6, welche sich gegenseitig beeinflussen, hervorgerufen.

Im weiteren Projektfortschritt des N-A-Modells wurden die seitlichen Zuläufe zur Würschnitz im PA detaildifferenziert berechnet und ausgegeben.

4.2 Plan-Zustände Vorplanung

Nach Fertigstellung des hydrodynamischen Simulationsmodells von Fluss-Km 0+500 bis 8+800 wurden weiterführende Untersuchungen zur Findung der technisch-konstruktiven und wirtschaftlichsten Planmaßnahmen durchgeführt. Im Zuge der stetigen Modellerweiterung wurden bereits in das kalibrierte Modell von Fluss-Km 0+500 bis 6+500 Planmaßnahmen eingearbeitet. Grundlage bildeten hierbei die von den Objektplanern bereitgestellten Planungsstände, welche bis dahin auf den Grundlagen der 1D-Berechnung /13/ beruhten. Dieses 1D-Modell deckte nicht den kompletten Projektabschnitt ab und basierte auf den hydrologischen Grundlagendaten des HWSK mit und ohne Wirkung des HRB Neuwürschnitz.

Die auf dieser Datengrundlage erstellten technisch-konstruktiven Planmaßnahmen M 1.1 bis 1.8 wurden durch den Objektplaner der Vorplanung zur Verfügung gestellt. Die Einarbeitung der Maßnahmen in das Modell erfolgte über "disable"-Flächen, also unendlich hohe Bauwerke. Im Fortgang stellte sich weiterer Anpassungsbedarf einzelner Maßnahmen heraus, da es abschnittsweise gravierende Differenzen zwischen den Ergebnissen der 1D-Berechnung und dem 2D-Modell gab (Fluss-Km 5+100 Differenz 1D-HWSK zu 2D ca. 0,91 m). Im Planungsfortschritt wurden die lokalen Maßnahmen entsprechend den neuen Erkenntnissen aktualisiert und angepasst. Zusätzlich wurden verschiedene Untersuchungen auf Grundlage des 2D-Modells beauftragt, so beispielsweise inwieweit die Brückenbauwerke BW 1 bis BW 9 hydraulisch leistungsfähig sind.

Um eine belastbare und nachvollziehbare Variantenbetrachtung für die komplexen Maßnahmenabschnitte durchführen zu können, wurde in Abstimmung mit dem AG und den Objektplanern für die lokalen Maßnahmen sowie die Brückenbauwerke eine Vorgehensweise für die weiterführenden Analysen erarbeitet. Im Ergebnis dessen wurden verschiedenste Szenarien und Zustände berechnet. Nach Auswertung der erhaltenen Ergebnisse wurden iterativ die beplanten Projektabschnitte in Fließrichtung, beginnend in der OL Jahnsdorf über den Abschnitt Wasserschloss Klaffenbach über den Bereich Klaffenbacher Hauptstraße bis nach Harthau, angepasst und aktualisiert.

Weiterführend wurden Planungsdetails auf Anforderung der Objektplaner für die lokalen HWS-Maßnahmen sowie der Objektplaner für die Brückenbauwerke analysiert und kontinuierlich in das Modell übernommen. Durch die Umsetzung dieser iterativen Vorgehensweise konnten die lokalen HWS-Maßnahmen optimiert und an die jeweiligen Erfordernisse, z. B. rund um das Wasserschloss Klaffenbach, angepasst werden. Im Zuge dieser steten Verbesserung der Hochwasserschutzbauwerke und deren Wirkungsweise ergaben sich zwangsläufig die Randbedingungen zur Bemessung der Brückenbauwerke.

Der finale Plan-Rechenlauf (P1-46) enthält alle aktuellen Planmaßnahmen. Aufgrund der gesamtheitlichen Abbildung aller Planmaßnahmen in einem Modell kam es durch die gegenseitige Beeinflussung der Maßnahmen an einer Stelle gegenüber dem Wasserschloss zu einer Hinterströmung der geplanten Maßnahmen. In Abstimmung mit dem Objektplaner wurden die lokalen Maßnahmen dort geringfügig erweitert. In Abstimmung mit der Denkmalschutzbehörde wurde der Damm nahe dem Wasserschloss hinsichtlich Geometrie und Lage angepasst. Am Bauwerk 2 wurden die jeweils äußeren Brückenfelder geöffnet, jedoch keine Berme in dem Bereich modelliert. Die im Bestand mit einer schräg ansteigenden Sohlpflasterung ausgebildeten äußeren Brückenfelder wurden nach Auswertung der Bestandspläne bis auf Sohlniveau in Gewässermitte abgesenkt und so der Fließquerschnitt des Bauwerkes vergrößert. Eine strömungsgünstigere Anbindung des ober- und unterwasserseitigen Böschungsbereiches erfolgte vorerst nicht. Als weitere Planmaßnahme wurde zwischen den Stationen 2+150 und 2+320 ein stetiges Sohlgefälle modelliert, um die bestehenden Unregelmäßigkeiten in der Sohle auszugleichen und strömungsgünstiger zu gestalten. Es erfolgte ebenso eine Anpassung des Bauwerkes 6. Hierfür wurde die Variante 1 des IB Schulze und Rank eingearbeitet. Die neue KUK beträgt 324,60 m. Die Kombination dieser Maßnahmen ober- und unterhalb des BW5 führt zu einer Absenkung der Wasserspiegel am BW5 und kann die Verklauungsgefahr minimieren. Am Bauwerk 7 erfolgte die Einarbeitung einer Planvariante vom IB Lehmann und Partner. In das Modell wurde Variante 1a und eine Sohlabsenkung unter der Brücke eingearbeitet. Die neue KUK beträgt 323,29 m die Sohlhöhe 320,40 m. Der geplante leichte Bogenscheitel der Brücke wurde im Modell als äquivalenter Rechteckquerschnitt abgebildet und kann somit bei der KUK geringfügig vom Querprofil der Brücke abweichen. Die folgenden beiden Bauwerke 8 und 9 sind im Planzustand nicht mehr enthalten. Es gibt ein Ersatzbauwerk Bauwerk 8neu des IB Schulze und Rank. Es wurde die Variante 1b mit der KUK 322,32 m verarbeitet.

Tabelle 4-1 Übersicht Maßnahmenbereich der Ingenieurbüros für Brückenplanungen/Sohlanpassungen

Ingenieurbüro	Maßnahmenbereich	Variante	Details
Arcadis	BW 2		Öffnung der äußeren Brückenfelder
Bauer Tiefbauplanung GmbH	Sohlabsenkung 2+150 – 2+320		Entfernung Sohlpflaster Bereich BW5, BW6
Schulze+Rank	BW 6	Gemäß Planung	

Lehmann+Partner (11.09.2012)	BW 7	Variante 1a	KUK: 323,29 m Sohlabsenkung auf 320,40 m
Schulze+Rank (19.11.2012)	BW 8 neu	Variante 1b	KUK: 322,32 m

4.3 Plan-Zustände Entwurfs- und Genehmigungsplanung (M1 bis M5)

In der Fortführung der Umsetzung der Planungen zum Hochwasserschutz an der Würschnitz wurden die einzelnen Projektabschnitte neu untergliedert. Für die Planungen der LPh. 3+4 wurden die Projektabschnitte M1 (Harthauer Schule) bis M5 (Wasserschloß Klaffenbach) festgelegt und an verschiedene Objektplaner vergeben. Im Zuge der Entwurfsplanungen wurde es erforderlich verdichtende Vermessungsarbeiten durchführen zu lassen. Zudem war es erforderlich das N-A-Modell für einzelne Bereiche der Gewässer 2. Ordnung höher aufzulösen (Hutholzbach Bau-feld). Für den Tiergartenbach wurde analog verfahren, indem untersucht wurde welchen Einfluß die Lage des Zulaufpunktes des Tiergartenbaches in den Mühlgraben besitzt. Im Ergebnis konnte herausgearbeitet werden, daß bis zu einem Abfluss im Tiergartenbach von $Q = 3,75 \text{ m}^3/\text{s}$ (entspricht ca. dem HQ_{100} des Tiergartenbachs) keine Gefährdung für das Wasserschloß Klaffenbach auftritt. Infolge des nicht verwendeten scheideltgleichen Ansatzes der Gewässer 1. Ordnung und Gewässer 2. Ordnung, werden im Tiergartenbach für den Bemessungslastfall ca. $0,82 \text{ m}^3/\text{s}$ an-gesetzt.

Die somit neu gewonnenen Erkenntnisse und Grundlagendaten wurden durch die Objektplaner bereitgestellt und entsprechend in das Modell eingearbeitet. Die Entwurfsplanungen ergaben auch detailliertere Angaben zu den beplanten Hochwasserschutzbauwerken sodass diese nach der statischen Vorbemessung als 3D-Bauwerke mit Bauwerkshöhe überströmbar im Modell ab-bildet werden konnten. Im Zuge der Einarbeitung der HWS-Maßnahmen werden in großen Teilen die dort befindlichen Böschungen durch rückversetzte Ufermauern ersetzt, sodass sich hier Veränderungen in der Abbildung des Gewässerschlauchs ergeben. Generell werden hier-durch größere Abflussquerschnitte erzeugt. Dieser Zustand wird jedoch teilweise wieder kom-pensiert in dem zusätzliche Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte (ingenieur-biologische Bauweisen) modelliert und implementiert werden. In der folgenden Abbildung 4-1 ist ein Vergleich des Ist-Modells mit dem veränderten Plan-Modell veranschaulicht dargestellt. In der Vorplanung werden die Planmaßnahmen i.d.R. über disabled-Flächen abgebildet und dargestellt. In der weiteren Planung können diese Maßnahmen physisch im Modell modelliert werden. Die Seitenzuläufe werden im Rahmen der weiteren Leistungsphasen einer genauen Untersuchung

unterzogen, denn es muss sichergestellt werden, dass es im Hochwasserfall keine Verschlechterung aufgrund fehlerhaft dimensionierter Binnenentwässerung oder eines Rückstaus aus dem Gewässer 1. Ordnung gibt.

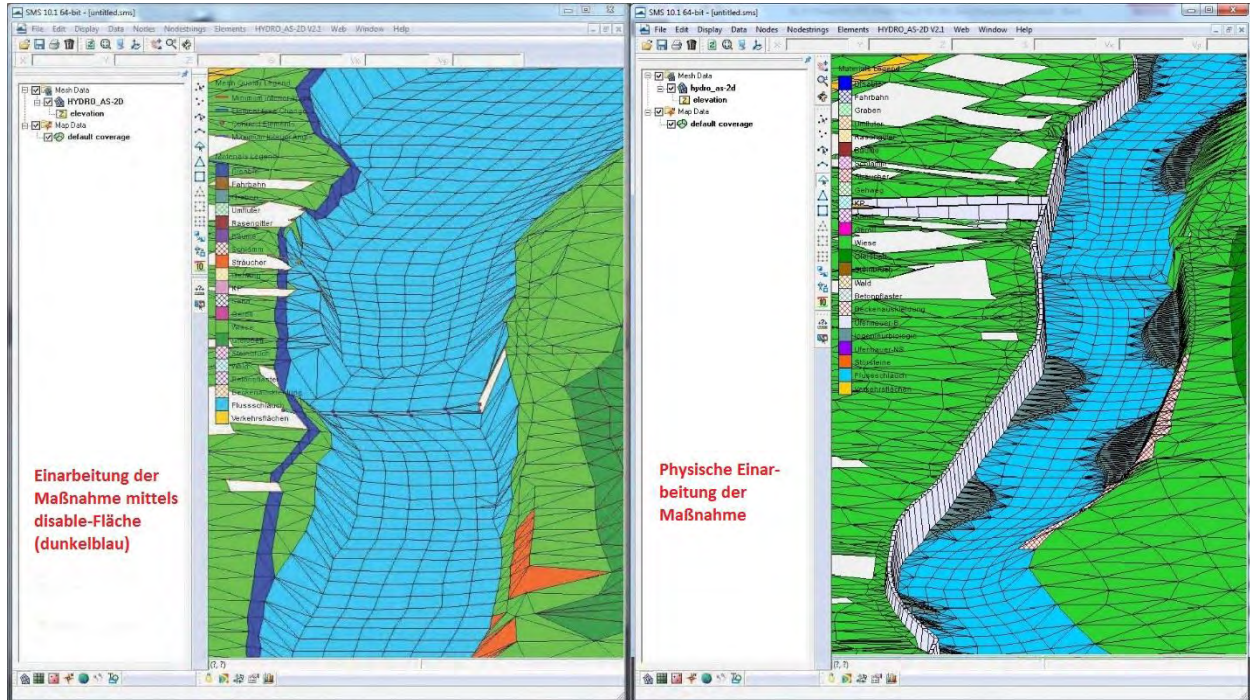


Abbildung 4-1 Vergleich Ist-Modell mit Plan-Modell im Bereich BW 4

4.4 M1 Harthauer Schule

Die EBB Ingenieurgesellschaft mbH plant im Planungsabschnitt M1, den linken Uferbereich der Würschnitz. Dieser Abschnitt erstreckt sich von FKM 1+350 bis 1+900 und sieht eine Ufermauer an der Stöcklstraße vor. Weiterhin richtet sich die Betrachtung auf den Gewässerausbau der Würschnitz unterstrom des neuen Brückenbauwerks BW8neu. In diesem Projektbereich wird linksseitig der Böschungsbereich aufgeweitet um die hydraulische Leistungsfähigkeit der Würschnitz zu verbessern. Die hydraulischen Untersuchungen für diesen Abschnitt ergaben, daß eine Erhöhung der Abflusskapazität für den Bereich Fkm 1+580 bis 1+330 die Abflusssituation im Oberwasser BW9, BW8 sowie bis zum BW7 hin hydraulisch verbessert und zu einer Reduzierung der Wasserspiegellagen führt.

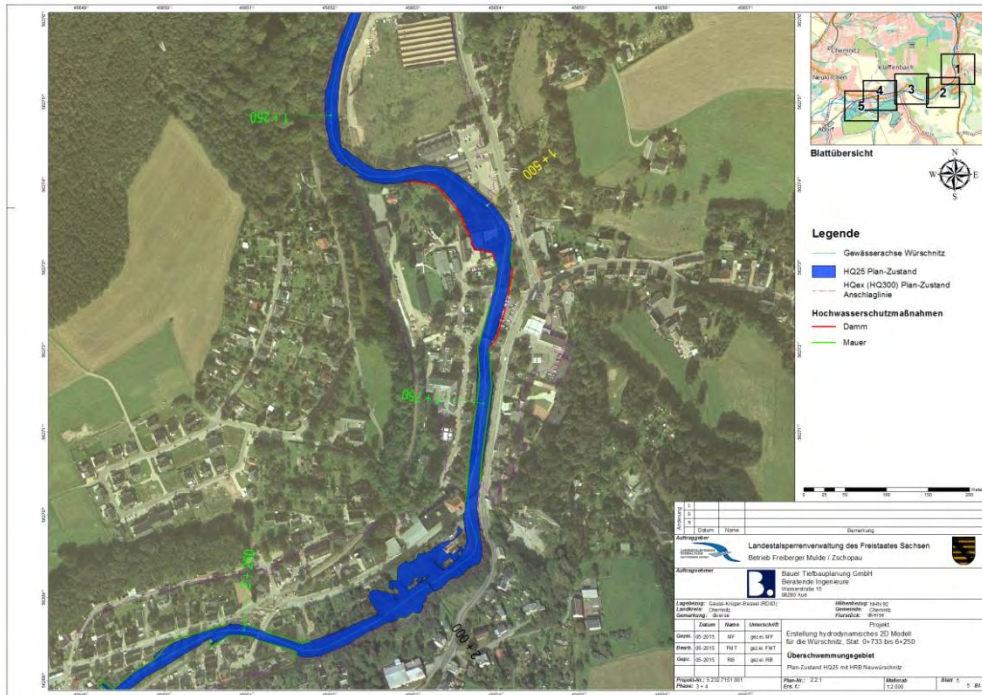


Abbildung 4-2 Übersicht Planmaßnahmen M1 (EBB), Orthophoto

Die übergebenen 3D Planungsdaten wurden in das bestehende 2D Modell eingearbeitet, wie Abbildung 4-3 zeigt.

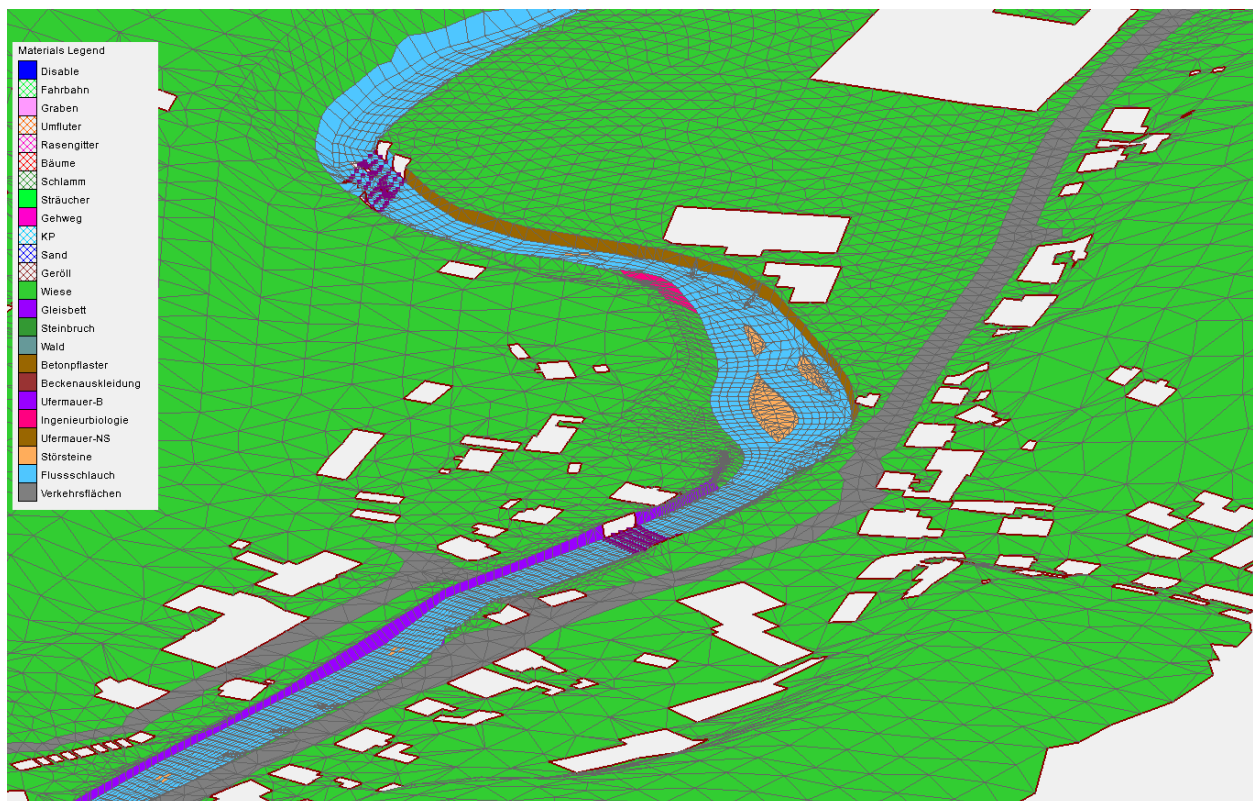


Abbildung 4-3 M1 eingearbeitete Planmaßnahmen 2D Modell (finaler Planrechenlauf)

4.5 M2

Die URAG GmbH plant im Planungsabschnitt M2, den rechten Uferbereich der Würschnitz. Dieser Abschnitt erstreckt sich von FKM 1+500 bis 1+900 und sieht den Rückbau der Brückenbauwerke 8 und 9 vor. Dafür wird das Bauwerk 8 neu und das Bauwerk 7 als Ersatzneubau geplant. Die Planungen für die Brücken werden parallel durch die Stadt Chemnitz durchgeführt und ebenfalls auf Grundlage des Modells bemessen. Die vorgegebenen Maßnahmen zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte wurden ebenfalls für diesen Projektabschnitt übergeben und eingearbeitet. Im Wesentlichen handelt es sich im Bereich M2 um den Ersatzneubau der vorhandenen Ufermauer sowie um die Einbindung des neuen Bauwerks BW8neu sowie die erforderliche Gestaltung des Abflussquerschnittes.

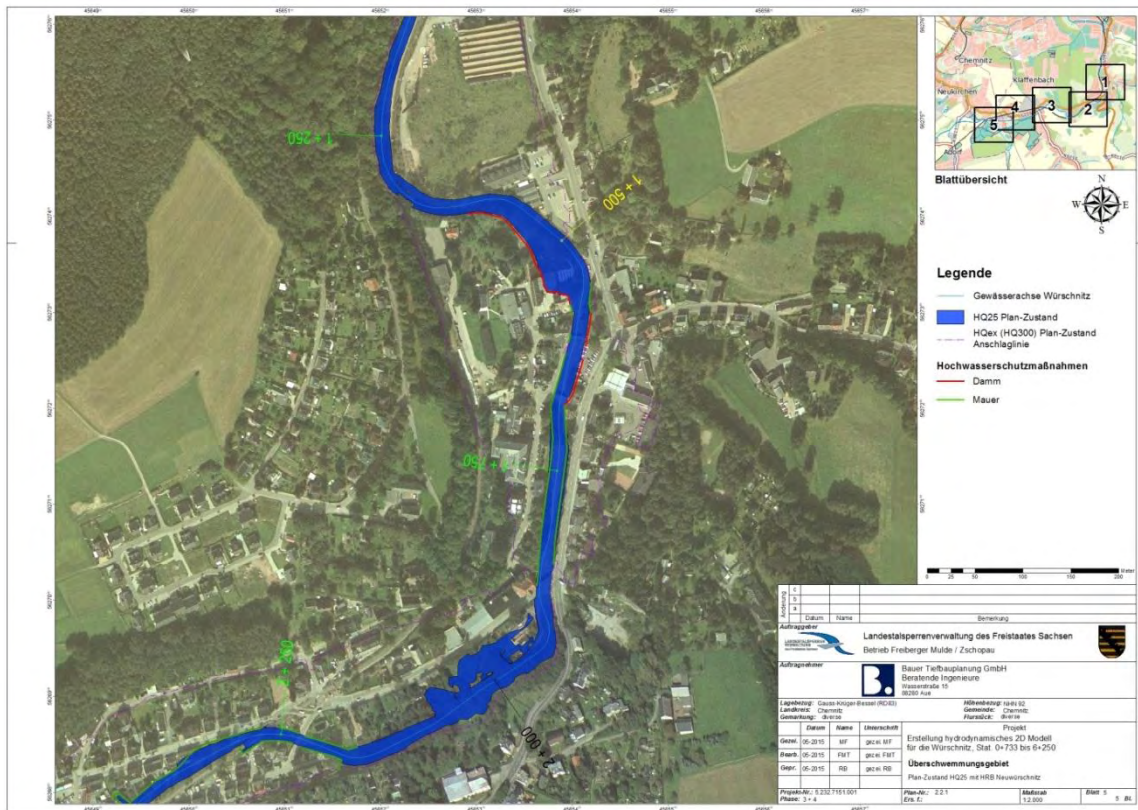


Abbildung 4-4 Übersicht Planmaßnahmen M2 (URAG), Orthophoto

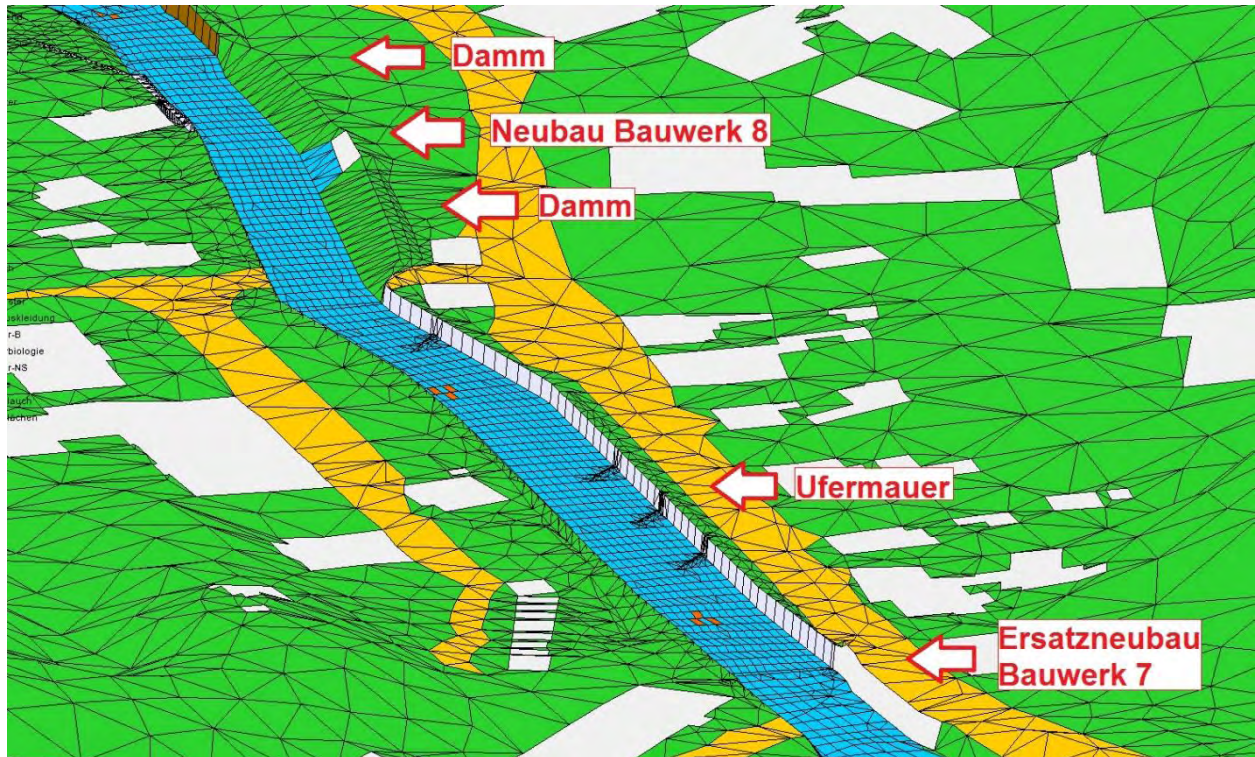


Abbildung 4-5 M2 eingearbeitete Planmaßnahmen 2D Modell (P1-43)

Durch die Gewässeraufweitung im benachbarten PA M1 und den Neubau des BW8 neu, kommt es zur Absenkung des Plan-Wasserspiegels gegenüber dem Ist-Wasserspiegel. Die beiden Bauwerke BW8 und BW9, die im Ist-Zustand im Modell abgebildet sind, waren nicht leistungsfähig. Der Neubau von BW8neu erzeugt hingegen keinen Aufstau und das Wasser kann ungehindert abfließen. In Summe dieser Faktoren kommt es damit zur Absenkung des Plan-Wasserspiegels.

4.6 M3

Die Bauer Tiefbauplanung GmbH beplant den Planungsabschnitt M3. In diesem Bereich werden abschnittsweise Ufermauern und Ufermaurerhöhungen umgesetzt, Gewässerzufahrten hergestellt und ingenieurbioologische Maßnahmen beplant.

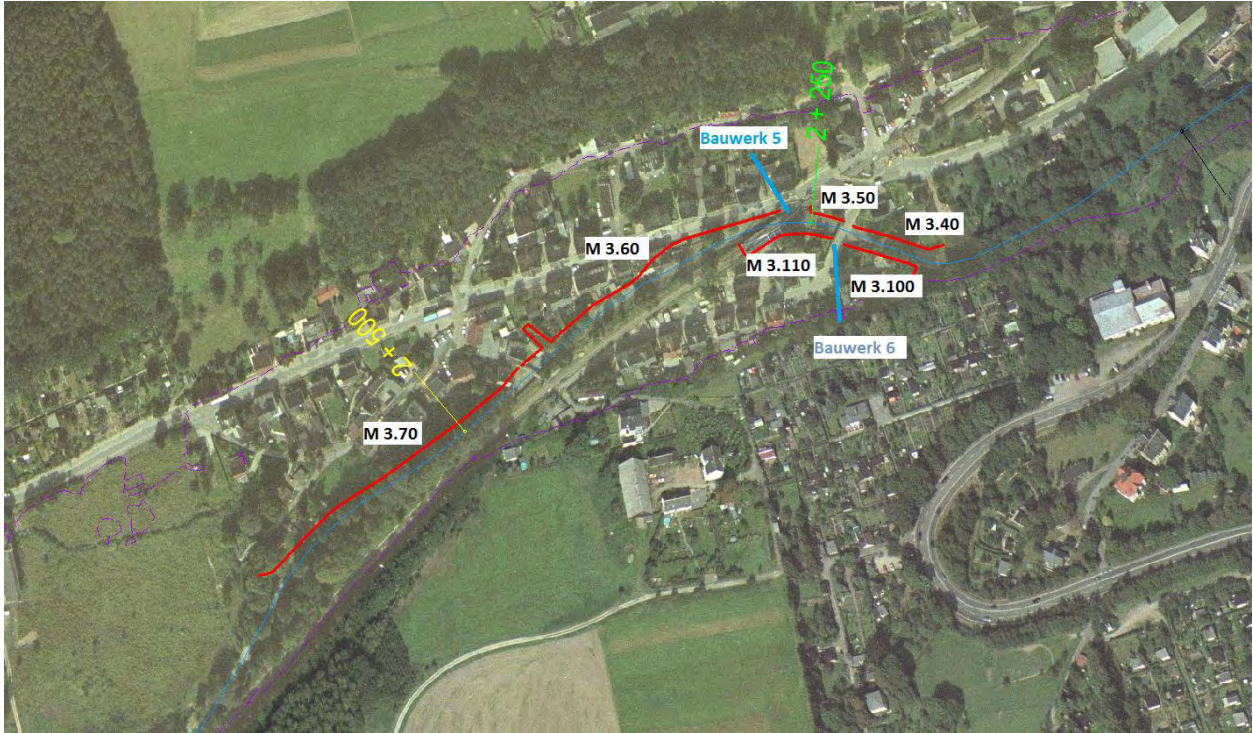


Abbildung 4-6 Übersicht der Maßnahmen M3, Orthophoto

Linksseitig oberwasserseitig des BW5 wurde das Gewässer infolge eines Gebäudeabbruchs und dem Anlagens einer Böschung bereits das Strömungsbild verbessert. Im PA M3 befinden sich 3 Brücken (BW4, BW5 und BW6) sowie das BW7 am unteren Abschnittsende. Für BW 6 (Objektplaner Schulze und Rank) erfolgte die Abbildung im Planmodell ohne KUK, da für dieses Bauwerk ein Ersatzneubau geplant ist, der mit ausreichender Höhe umgesetzt wird.

In dem betreffenden Gewässerabschnitt PA M3 ist die Würschnitz streckenweise noch naturbelassen und somit mit besonderen Bedingungen hinsichtlich der Maßnahmenumsetzung zu behandeln. In diesem Abschnitt gab es eine Forderung der Genehmigungsbehörde zur detaillierten Aufnahme der Gewässersohle da die Abbildung aus der Vermessung 2008 offensichtlich nicht die korrekte Sohlage abbildete. Diese Daten wurden bereits im Planmodell eingearbeitet und berücksichtigt. Im Ergebnis konnte herausgearbeitet werden, daß die Entfernung des Sohlpflasters im Bereich oberstromig BW5 bis unterstromig BW6 sich positiv auf die Wasserspiegellagen sowie die Gewässerökologie auswirkt.

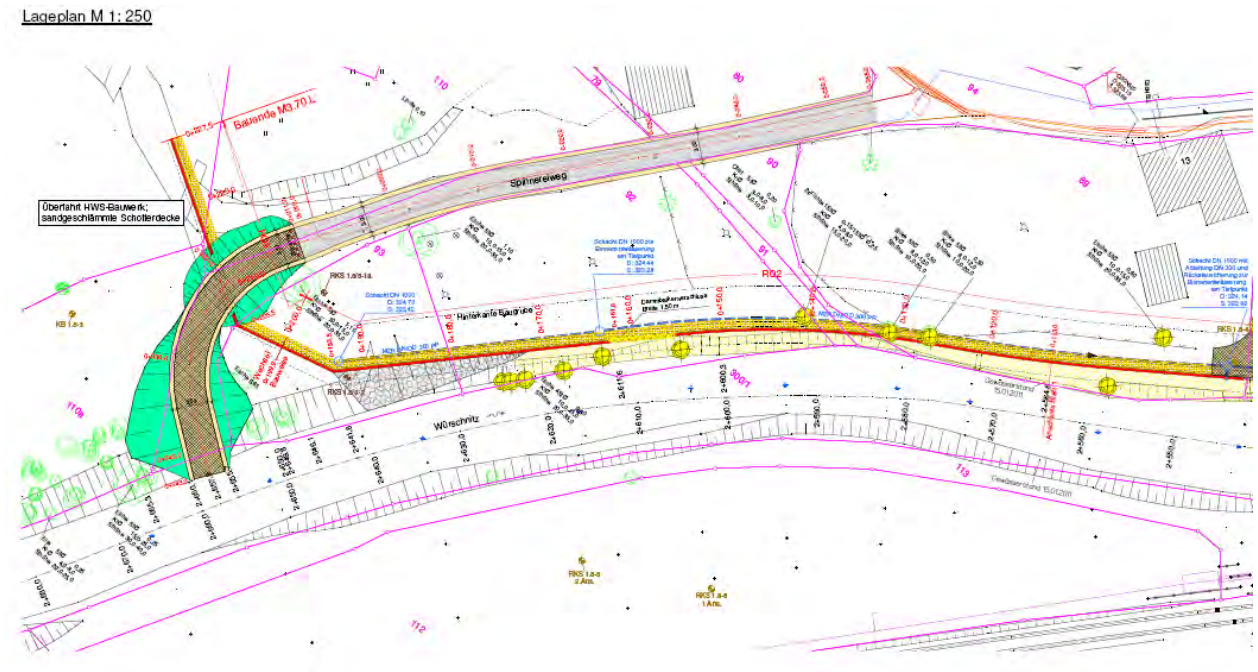


Abbildung 4-7 Auszug aus Planmaßnahmen M3 (BTP), Lageplan M3.70

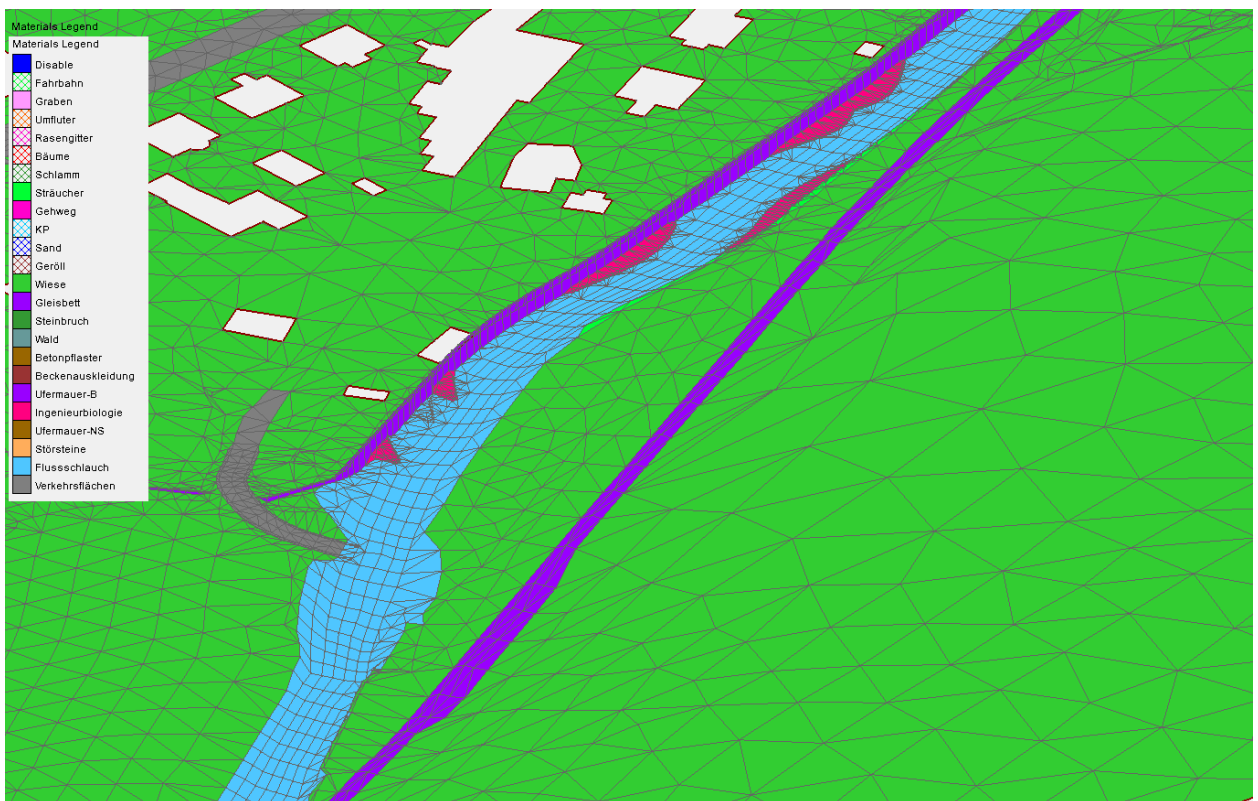


Abbildung 4-8 M3 eingearbeitete Planmaßnahmen 2D Modell (finaler Planrechenlauf)

4.7 M4

Die Bepanung des Projektabschnitts M4 wurde als letztes beauftragt und besitzt einige Besonderheiten. Im PA M4 befindet sich der Raffineriebetrieb „Baufeld“ welche durch die Lage zwischen Würschnitz und Hutholzbach ein großes Schadpotential aufweist. Für den PA wurde der Verlauf des Hutholzbachs abschnittsweise nachträglich vermessen um eine detaillierte Abbildung zu ermöglichen. Aufgrund der Komplexität der Variantenbetrachtungen im PA M4 konnten die Planungsdetails für die finale Trassierung der HW-Bauwerke erst in 02.2016 abgeschlossen werden. Für den Abschnitt M4 sind die Planmaßnahmen basierend auf der LPh. 3+4 im Modell enthalten. Hierbei handelt es sich um geometrisch in das Modell eingearbeitete Strukturen die eine Überschwemmung der Schutzgüter verhindern sollen. In der Anlage 5.4 zum Planzustand Hutholzbach sind die durchgeführten Berechnungen am Hutholzbach erläutert und dargestellt.



Abbildung 4-9 Übersicht Planmaßnahmen M4 (ARCADIS), Orthophoto

Im Bereich des Bauwerkes 2 erfolgte eine Anpassung der rechtsseitigen Hochwasserschutzmaßnahme, diese wurde nun weiter landwärts beplant und entsprechend im Modell abgebildet. Die weiteren Maßnahmen dieses Bereiches wurden analog den Vorgaben in /20/ eingearbeitet.

4.8 M5 Wasserschloss Klaffenbach

Die Maßnahme M5 erstreckt sich rund um das denkmalgeschützte Objekt des Wasserschlosses Klaffenbach. Das Wasserschloss wurde zu den Ereignissen HW 2002, 2010 und 2013 stark geschädigt. Die Situation ist dort primär durch die Würschnitz sowie den seitlichen Zulauf Tiergartenbach geprägt. Das oberwasserseitig des Wasserschlosses an der Würschnitz gelegene Wehr steuert den Zulauf zum Tiergartenbach.

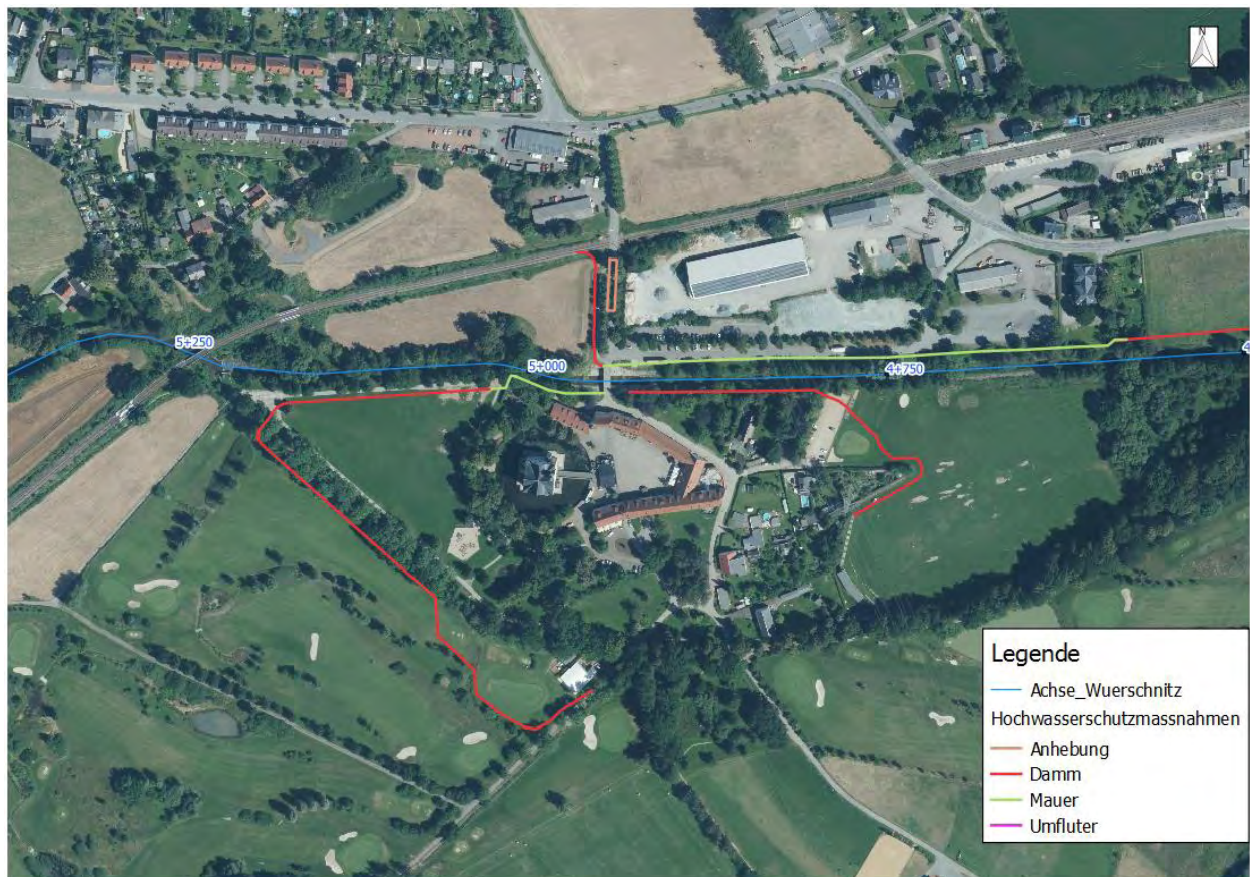


Abbildung 4-10 Übersicht Planmaßnahmen M5 (IMB), Orthophoto

5 Zusammenfassung

Für die Würschnitz wurden im benannten Bereich hydrodynamische 2D-Berechnungen durchgeführt. Die Grundlage dafür bildet ein Berechnungsnetz von km 0+500 bis km 8+800, dessen Höhenbezug ein von der Bauer Tiefbauplanung GmbH erzeugtes DHM ist. Als Bauwerke wurden dabei neben den Gebäuden auch Brücken, Wehre und Straßendurchlässe berücksichtigt.

Auf der Basis des für den Ist-Zustand erstellten Berechnungsnetzes erfolgte die Kalibrierung des Modells. Das Berechnungsnetz musste dafür nicht modifiziert werden, da ab dem Zeitpunkt des

Hochwasserereignisses keine modellrelevanten Veränderungen vorgenommen wurden. Als Vergleichswerte dienten Hochwassermarken, die für das Hochwasserereignis vom August 2002, 2010 und 2011 aufgenommen wurden.

Im Ergebnis der Modelloptimierung zeigt sich, dass im Rahmen von plausiblen Rauheitsansätzen das aufgestellte Modell hinsichtlich der Wasserspiegellagen tendenziell zur Unterschätzung neigt. In Sensitivitätsbetrachtungen konnte diesbezüglich aber gezeigt werden, dass die festgelegten Randbedingungen sowie die modelltechnische Abbildung der Brückenbauwerke als Abflusshindernisse nicht die Ursache für diese Abweichungen sein können. Nach Rücksprache mit dem Auftraggeber wurde deshalb beschlossen, dass mit den aus der Literatur abgeleiteten Rauheitswerten weitergerechnet werden soll und im Hinblick auf die Maßnahmenplanung sich Ergebnisse ableiten, welche als belastbar angesehen werden können. Nach Berechnung und Auswertung des Ist-Zustandes für die notwendigen $HQ_{(T)}$ wurden die geforderten Lastfälle der Plan-Zustände mit den von den Planern vorgegebenen Maßnahmen berechnet. Insgesamt ist festzustellen, dass nur durch die Umsetzung von komplexen Maßnahmen der Hochwasserschutz an den betrachteten Standorten gewährleistet werden kann. Der finale Planrechenlauf beinhaltet alle beschriebenen Planmaßnahmen einschließlich der gewässerstrukturverbessernden Bauweisen.

Bearbeiter:

Dipl.-Ing. (FH) Falk Mederer-Thelen

Dipl.-Ing. (TU) Claudia Spiegler

aufgestellt:



Aue, den 07.02.2018