

15.11.2018

---

Beauftragung (AG): vom 28.09.2018  
Projektnummer (AN): W-9553

## Freiraumgestaltung Landfeste Jena

### Wasserspiegellagenberechnung und Fachgutachten

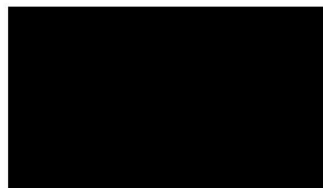
Auftraggeber: **Stadtverwaltung Jena**  
**Dezernat Stadtentwicklung und Umwelt**  
**Fachdienst Stadtentwicklung | Stadtplanung**  
Am Anger 26, 07743 Jena  
☎ 03641 / 684 - 0

Auftragnehmer:



An der Pikardie 8, 01277 Dresden  
☎ 0351 / 21 683 - 30

Projektleiter:



.....

Projektbearbeiter:

.....

## Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Zielstellung.....	2
2	Untersuchungsgebiet.....	3
3	Vorhabensbeschreibung.....	4
4	Bearbeitungsgrundlagen .....	5
4.1	2D-HN-Modell.....	5
4.2	Abfluss HQ(100).....	6
4.3	Bestandsvermessung und Planungsunterlagen.....	6
5	Hydrodynamische Modellierung.....	7
5.1	Aktualisiertes Istzustand-Modell .....	7
5.2	Planzustand-Modell ohne barriereschaffende Maßnahmen .....	7
5.3	Planzustand-Modelle mit barriereschaffenden Maßnahmen .....	8
5.4	Untersuchte Strömungsparameter.....	8
6	Ergebnisauswertung Istzustand und Planzustand ohne Barriere .....	8
7	Ergebnisauswertung Planzustand mit Barriere .....	10
8	Zusammenfassung.....	11

### 1 Veranlassung und Zielstellung

Im Rahmen des Projekts „Freiraumgestaltung Landfeste“ in Jena wird unter der Camsdorfer Brücke parallel zur Saale ein Geh-/ Radweg geplant. Aus natur- und artenschutzrechtlichen Gründen sind dabei barriereschaffende Maßnahmen wie die Errichtung eines Zauns oder Heckenpflanzungen notwendig. Das Vorhaben liegt im gesetzlich festgesetzten Überschwemmungsgebiet der Saale. Es fällt damit unter die Bestimmungen in WHG §78a (1), wonach in festgesetzten Überschwemmungsgebieten Folgendes untersagt ist:

- 1. die Errichtung von Mauern, Wällen oder ähnlichen Anlagen, die den Wasserabfluss behindern können,*
- 2. das Aufbringen und Ablagern von wassergefährdenden Stoffen auf dem Boden, es sei denn, die Stoffe dürfen im Rahmen einer ordnungsgemäßen Land- und Forstwirtschaft eingesetzt werden,*
- 3. die Lagerung von wassergefährdenden Stoffen außerhalb von Anlagen,*
- 4. das Ablagern und das nicht nur kurzfristige Lagern von Gegenständen, die den Wasserabfluss behindern können oder die fortgeschwemmt werden können,*
- 5. das Erhöhen oder Vertiefen der Erdoberfläche,*
- 6. das Anlegen von Baum- und Strauchpflanzungen, soweit diese den Zielen des vorsorgenden Hochwasserschutzes gemäß § 6 Absatz 1 Satz 1 Nummer 6 und § 75 Absatz 2 entgegenstehen,*
- 7. die Umwandlung von Grünland in Ackerland,*
- 8. die Umwandlung von Auwald in eine andere Nutzungsart*

Gemäß WHG §78a (2) kann die zuständige Behörde solche Maßnahmen im Einzelfall aber zulassen, wenn

1. *Belange des Wohls der Allgemeinheit dem nicht entgegenstehen,*
2. *der Hochwasserabfluss und die Hochwasserrückhaltung nicht wesentlich beeinträchtigt werden und*
3. *eine Gefährdung von Leben oder Gesundheit oder erhebliche Sachschäden nicht zu befürchten sind oder wenn die nachteiligen Auswirkungen durch Nebenbestimmungen ausgeglichen werden können.*

*Die Zulassung kann, auch nachträglich, mit Nebenbestimmungen versehen oder widerrufen werden. Bei der Prüfung der Voraussetzungen des Satzes 1 Nummer 2 und 3 sind auch die Auswirkungen auf die Nachbarschaft zu berücksichtigen.*

Anhand von Wasserspiegellagenberechnungen waren die Auswirkungen verschiedener Gestaltungsvorschläge im Bereich Landfeste auf die Abflussverhältnisse der Saale bei einem statistisch ein Mal in hundert Jahren wiederkehrenden Hochwasser, einem so genannten HQ(100), zu untersuchen.

## 2 Untersuchungsgebiet

Die Saale entwässert ein etwa 24.000 km<sup>2</sup> großes Einzugsgebiet in Bayern, Thüringen und Sachsen-Anhalt nach Norden zur Elbe. Jena erstreckt sich von Fluss-km 221,4 bis 204,2 beiderseits des Flusses zwischen den Muschelkalkhängen der Ilm-Saale-Platte. Die Saale fließt in leichten Bögen nach Norden durch das Stadtgebiet. Das durchschnittliche Längsgefälle der Gewässersohle ist in Jena relativ konstant und beträgt nur rund 0,9 ‰.



Abbildung 1: Standort der Camsdorfer Brücke und im Hochwasserschutzkonzept 2018 berechnete Überflutungsflächen der Saale bei einem HQ(100)

Die Camsdorfer Brücke quert die Saale bei Fluss-km 211,528 unweit des Stadtzentrums, wo das linke Vorland mit einer Breite von etwa 50 m die größte Ausdehnung einer lokalen Aufweitung zeigt. Zwischen den Widerlagern der Brücke kann sich die Saale bei Hochwasser

somit über ca. 100 m ausbreiten. Die Aufweitung des linken Vorlands beginnt und endet mit allmählichen Übergängen jeweils etwa 130 m vor und nach der Brücke. In den anschließenden Abschnitten ist das Saale-Flussbett auch bei ausufernden Hochwassern nur etwa 60 - 70 m breit.

Bei der Camsdorfer Brücke handelt sich um eine dreifeldrige Bogenbrücke, deren rechtes Brückenfeld das Flussbett überspannt, während der größte Teil des mittleren und das gesamte linke Brückenfeld das linke Vorland überspannen. In Fließrichtung ist die Brücke rund 17 m lang. Die lichte Höhe unter dem Bogen des linken Brückenfelds beträgt 2,3 bis 5,3 m.

Das aufgeweitete Vorland ist teils sehr dicht mit Bäumen, Büschen und Sträuchern als Reste eines Auwalds bestanden. Die Vorlandhöhen betragen ca. 140,0 mNHN und schwanken um nur wenige Dezimeter. Der linke Talhang, auf dem leicht rückversetzt die B88 verläuft, ragt relativ steil bis auf überflutungssichere Höhen zwischen 144,0 und 145,0 mNHN hinauf.

### 3 Vorhabensbeschreibung

Das Vorhaben wird vom Büro Ulrich Boock aus Jena geplant. Demnach soll der 3,5 m breite, asphaltierte Radweg linksseitig der Saale über eine Länge von etwa 60 m vor der Brücke längs dem Talhang bis auf die Geländehöhe des Vorlands und unterstrom der Brücke ähnlich wieder auf den Talhang hinauf geführt werden. Er unterquert das linke Brückenfeld in etwa 5 m Abstand zum Widerlager.

Für die beschriebene Anordnung des Radwegs sind überschaubare Eingriffe in die Böschung des Talhangs erforderlich. Die neu zu gestaltenden Böschungsabschnitte werden mit einer Neigung von 1:2,5 geplant.

Aus natur- und artenschutzrechtlichen Gründen soll der Radweg im Bereich der Camsdorfer Brücke durch barriereschaffende Maßnahmen über eine Länge von ca. 100 m zum Saale-Vorland hin abgetrennt werden. Dafür wurden im vorliegenden Fachgutachten folgende Varianten betrachtet:

- Variante 1: mehrreihige freiwachsende Hecke (Strauchpflanzung), die kurz vor und nach der Brücke bis an den ersten Brückenpfeiler geführt wird
- Variante 2: durchgehender Zaun, vor und nach der Brücke entlang dem Zaun mehrreihige freiwachsende Hecke (Strauchpflanzung)
- Variante 3: geschnittene Hecke am Beginn und am Ende sowie mehrreihige freiwachsende Hecke (Strauchpflanzung), die kurz vor und nach der Brücke bis an den ersten Brückenpfeiler geführt wird
- Variante 4: geschnittene Hecke, Zaun unter der Brücke

Die Varianten sind in der folgenden Abbildung gemäß den Vorgaben des Büros U. Boock schematisch dargestellt.

Die Breite einer geschnittenen Hecke wird mit 1,0 m angenommen. Bei einer mehrreihigen freiwachsenden Hecke ist von Breiten bis zu etwa 4,0 m auszugehen. Die Hecke kann dabei Höhen von ca. 1,8 m erreichen. Für die Ausführung eines Zauns kommt nach Auskunft des Ingenieurbüros U. Boock beispielsweise ein 2,0 m hoher Gittermattenzaun ohne Sockel in Betracht.

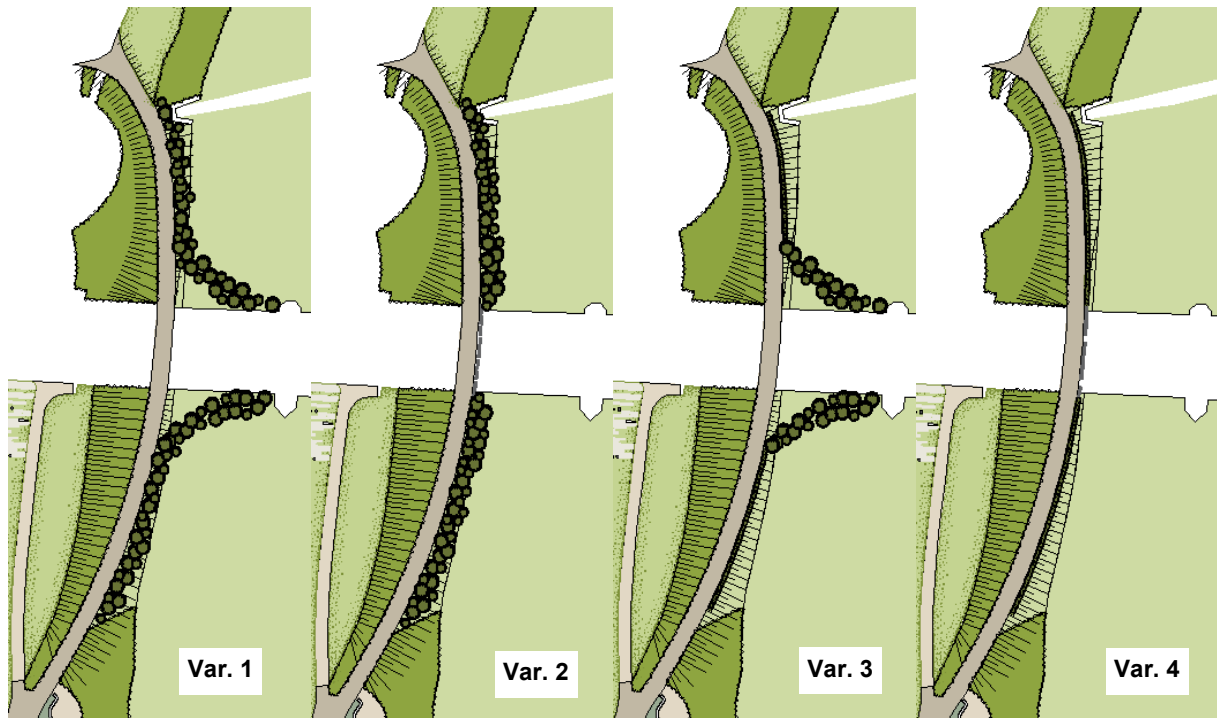


Abbildung 2: Varianten von barriereschaffenden Maßnahmen gemäß Planung Büro U. Boock

Die beschriebenen Barrieren sind aus hydrodynamischer Sicht prinzipiell durchströmbar. Ihre bremsende Wirkung auf den Hochwasserabfluss hängt bei einer Hecke vorrangig von der Bewuchsdichte, dem Belaubungszustand und der Heckenbreite ab. Dass sich eine Hecke bei starker Strömung umlegt und so ihren Widerstand gegen die Strömung verringert, kann praktisch nicht angenommen werden. Bei einem Zaun spielen bezüglich seiner Auswirkung auf den Wasserabfluss die Abstände der Gitterstäbe oder die Maschengrößen die größte Rolle. Beide Ausführungsvarianten sind anfällig für die Verklausung von Treibgut. Dies kann während eines Hochwassers bis zum fast vollständigen Versatz des Zauns oder der Hecke mit Geschwemmsel führen. In diesem Extremfall würde die Barriere wie eine undurchlässige Wand (Vollabspernung) wirken.

## 4 Bearbeitungsgrundlagen

### 4.1 2D-HN-Modell

Im Mai dieses Jahres wurde das Hochwasserschutzkonzept (HWSK) für die Saale im Stadtgebiet Jena fertiggestellt. Darin waren Wasserspiegellagenberechnungen mit einem von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie (TLUG) übergebenen, im Format SMS / HYDRO\_AS-2D (Version 3) vorliegenden, zweidimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modell (2D-HN-Modell) durchgeführt worden. Dem 2D-HN-Modell liegt ein aus Dreiecks- bzw. Viereckselementen bestehendes digitales Geländemodell im Höhensystem DHHN92 zugrunde. Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft einen Ausschnitt des Modellnetzes der Variante mit dem geplanten Radweg.

Bei der Modellberechnung werden zweidimensionale tiefengemittelte Strömungsgleichungen gelöst. Dies geschieht durch Integration der dreidimensionalen Kontinuitätsgleichung und der Reynolds- bzw. Navier-Stokes-Gleichungen für inkompressible Flüssigkeiten über die Wassertiefe unter Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung. Damit ist die Berechnung komplizierter stationärer sowie instationärer Strömungs- und Abflusssituationen möglich.

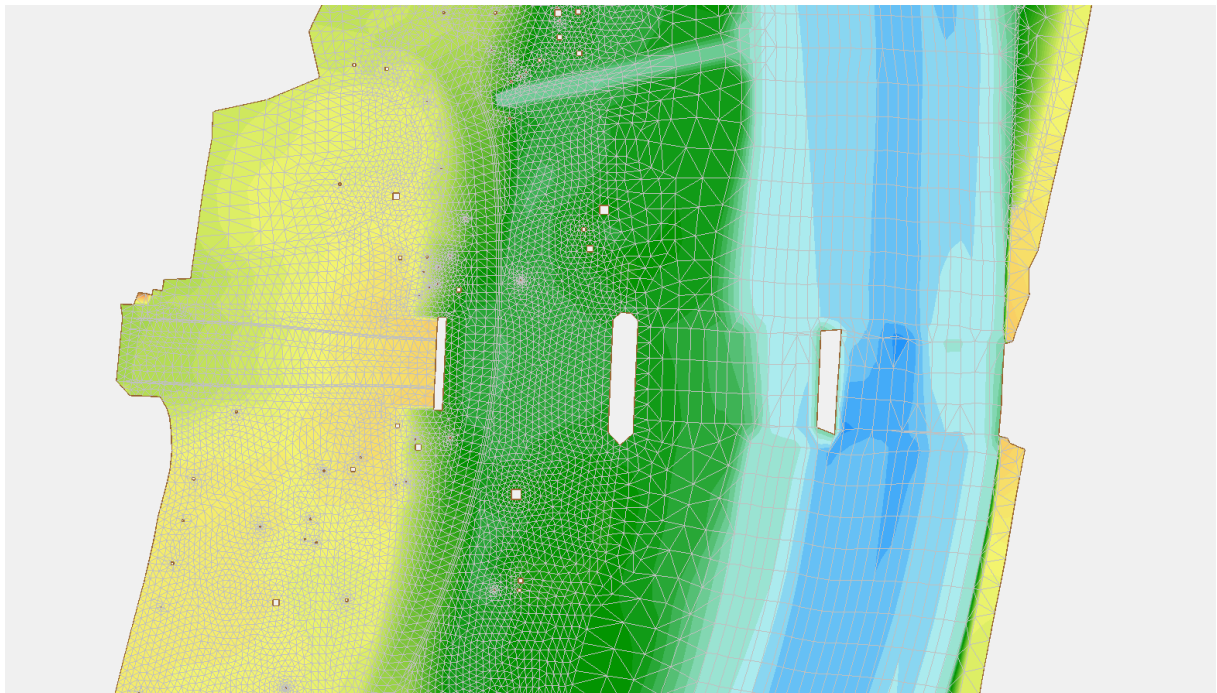


Abbildung 3: Ausschnitt des um den geplanten Radweg im Bereich der Camsdorfer Brücke ergänzten Modellnetzes mit farblicher Abstufung der Geländehöhen

Das Programm HYDRO\_AS-2D kann aufgrund der angewandten Gleichungen sowohl strömende als auch schießende Abflusszustände berechnen und ist in der Lage, komplizierte Strömungsprozesse an Bauwerken (eingestaute und überströmte Brücken, unter- und überströmte Wehre etc.) realitätsnah abzubilden.

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

#### 4.2 Abfluss HQ(100)

Für die Erstellung des HWSK wurden von der TLUG die Scheitelabflüssen charakteristischer Hochwasserereignisse HQ(T) der Saale in Jena vorgegeben. Demnach beträgt der Abfluss HQ(100) an der Camsdorfer Brücke 321 m<sup>3</sup>/s. Der wenige Meter nach der Brücke von links in die Saale mündende Regenüberlauf (Anlage des JenaWasser Zweckverbands) steuert demnach einen Zufluss von 1,0 m<sup>3</sup>/s bei.

#### 4.3 Bestandsvermessung und Planungsunterlagen

Für die Modellberechnungen wurde von der Stadtverwaltung eine digitale Bestandsvermessung des Vorhabensgebiets im Höhensystem DHHN2016 übergeben. Die Höhenabweichung zum System DHHN92 beträgt in Jena nur ~ 1 cm. In der Vermessung wurden die Geländehöhen, Bewuchs, Verkehrswege, Befestigungen etc. erfasst.

Vom Büro U. Boock wurden digitale Planungsunterlagen (.dwg-Dateien) für den Radweg und die barriereschaffenden Maßnahmen im Höhensystem DHHN2016 übergeben.

## 5 Hydrodynamische Modellierung

### 5.1 Aktualisiertes Istzustand-Modell

In einem ersten Schritt wurde das 2D-HN-Modell (Istzustand) des HWSK auf einen etwa 2 km langen Saale-Abschnitt eingekürzt. Die Camsdorfer Brücke sitzt ungefähr mittig in diesem Modell, so dass der Modellzulauf und der Modellauslauf in ausreichend großer Entfernung zur Brücke liegen und die dort unvermeidlichen Ergebnisunsicherheiten keinen Einfluss auf die Untersuchungsergebnisse haben können.

Anschließend wurde die Bestandsvermessung im Vorhabensbereich (vgl. Kapitel 4.3) in das 2D-HN-Modell eingearbeitet. Das Berechnungsnetz wurde in diesem Gebiet feiner als das restliche umgebende Netz des Ursprungsmodells gestaltet, um die Belastbarkeit der Ergebnisse auch in kleinräumigen Ausschnitten zu erhöhen. Aus demselben Grund wurde der programminterne Parameter „Amin“ auf 0,01 m<sup>2</sup> verringert, so dass auch relativ kleine Netzelemente in die Modellberechnungen eingehen.

Der starke Bewuchs im Saale-Vorland an der Camsdorfer Brücke ist im 2D-HN-Modell des HWSK mit einem Rauheitsbeiwert  $k_{St}$  nach Manning-Stricker von 10 m<sup>1/3</sup>/s erfasst worden, womit sein Einfluss angemessen berücksichtigt wird. Er wurde deshalb auch nach der Aktualisierung des Istzustand-Modells beibehalten. Zusätzlich wurden die in der Bestandsvermessung erfassten Bäume, Büsche, Sträucher mit ihrem jeweiligen Stammdurchmesser aus dem Modellnetz ausgespart, um diese Strukturen als nicht durchströmbar zu definieren und ihren Einfluss auf die Strömung bestmöglich zu erfassen.

Mit dem aktualisierten Istzustand-Modell wurde eine stationäre Berechnung für HQ(100) durchgeführt. Es wurde dabei also ein unendlich lang anhaltender, konstanter Hochwasserabfluss in der Saale von 321 m<sup>3</sup>/s vor und 322 m<sup>3</sup>/s nach dem Regenüberlauf stromab der Camsdorfer Brücke angenommen. Die Istzustand-Berechnung dient vorrangig dem Abgleich mit den entsprechenden Ergebnissen des HWSK-Modells.

Gegenüber dem HWSK-Modell zeigen sich im aktualisierten Istzustand-Modell bei HQ(100) an der Camsdorfer Brücke keine nennenswerten Abweichungen in der Wasserspiegellage, den Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen. Lediglich in der räumlichen Auflösung der Modellergebnisse bilden sich die Strömungsprozesse nun detaillierter ab.

### 5.2 Planzustand-Modell ohne barriereschaffende Maßnahmen

Im nächsten Schritt wurde der geplante Radweg mit seinen hydrodynamisch relevanten Bestandteilen in das 2D-HN-Modell gemäß den Angaben des Büros U. Boock eingearbeitet. Dazu gehören die asphaltierte Wegoberfläche, die neu zu gestaltenden Böschungen in Einschnitt bzw. Auftrag und kleinere Geländeauffüllungen im Nahbereich des Weges. Die barriereschaffenden Maßnahmen sind in diesem Modellszenario nicht enthalten.

Analog zum aktualisierten Istzustand wurde auch mit dem Planzustand-Modell ohne die barriereschaffenden Maßnahmen eine stationäre Berechnung für HQ(100) durchgeführt. Durch den Vergleich mit den Ergebnissen des Istzustand-Modells lässt sich somit beurteilen, welchen Einfluss die genannten Maßnahmen auf den Hochwasserabfluss HQ(100) der Saale haben. Dieses Modellszenario dient im Weiteren als Vergleichsbasis für die Untersuchung von Planzuständen mit den vier Varianten barriereschaffender Maßnahmen.

### 5.3 Planzustand-Modelle mit barriereschaffenden Maßnahmen

Schließlich wurden für jede der vier im Kapitel 3 aufgeführten Varianten eigene Planzustand-Modelle aufgebaut und damit jeweils eine stationäre Berechnung für HQ(100) durchgeführt.

Die unterschiedlichen Gestaltungen der Barrieren als freiwachsende oder geschnittene Hecke oder als Zaun wurden im 2D-HN-Modell dadurch nachgebildet, dass die von ihnen eingenommene Aufstandsfläche mit einer besonders starken Oberflächenrauheit belegt wurde. Für Hecken (geschnitten und freiwachsend) wurde ein Rauheitsbeiwert von  $k_{St} = 5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , für einen Zaun von  $k_{St} = 2 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  – also noch rauer als für Hecken – angesetzt. Solche Werte stehen für ungewöhnlich starke Rauheiten, wie sie aber im Extremfall durchaus vorkommen können und auch in verschiedenen Studien nachgewiesen sind<sup>1</sup>.

Zur Vereinfachung wurde eine Überströmung der Barriere bei entsprechend großen Wassertiefen im Modell nicht zugelassen. Die Barrierewirkung wird also bei den Berechnungen prinzipiell leicht überschätzt. Die Modellergebnisse liegen somit „auf der sicheren Seite“.

Die Erfassung der Barrierewirkung über die Rauheitsbeiwerte des Modells ist die einzig praktikable Möglichkeit für die zu lösende Aufgabe, wegen der Pauschalisierung aber zwangsläufig auch gewissen Unsicherheiten unterworfen. Um deren Spannweite zu ermitteln, wurde als Extremfall für die beiden Grundvarianten „Barriere durchgehend parallel zum Radweg“ (Varianten 2 und 4) sowie „Barriere wird kurz vor und nach der Brücke an den ersten Brückenpfeiler geführt“ (Varianten 1 und 3) zusätzlich auch jeweils ein Szenario mit undurchlässiger, also vollständig durch Treibgut versetzter Hecke bzw. Zaun modelltechnisch untersucht (vgl. Erläuterungen in Kapitel 3).

### 5.4 Untersuchte Strömungsparameter

Die Modellergebnisse liegen in den Originalformaten des Berechnungsprogramms (ASCII-Dateien) vor. Die berechneten Wasserspiegelhöhen, Wassertiefen, Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen wurden zudem in die GIS-Formate ESRI-Shape, -TIN und -Grid konvertiert. Die genannten Daten liegen der digitalen Ausfertigung dieses Gutachtens bei. Sie können damit der weiteren Planung des Vorhabens zugrunde gelegt werden.

Um den Vorhabenseinfluss auf die Strömung der Saale bei HQ(100) zu veranschaulichen, wurden die genannten Ergebnisparameter grafisch aufbereitet und in den Abbildungen der nachfolgenden Kapitel dargestellt.

## 6 Ergebnisauswertung Istzustand und Planzustand ohne Barriere

Im Istzustand stellt sich an der Camsdorfer Brücke bei einem HQ(100) der Saale eine in Fließrichtung nur sehr geringfügig geneigte Wasserspiegellage ein. Direkt an der Brücke beträgt der berechnete Wasserstand durchschnittlich 142,50 mNHN (vgl. Abbildung 4, oben). Er weist eine kaum spürbare Querneigung nach links auf, weil die Strömung im stark bewachsenen linken Vorland spürbar gebremst wird und dadurch die Hauptströmung im Flussbett stattfindet. Ein Aufstau entsteht durch die Brücke praktisch nicht. Zur Unterkante des Überbaus verbleibt ein unkritischer Freibord von mehreren Metern, wobei die Bogenkämpfer leicht eintauchen. Die Wassertiefen im linken Brückenfeld betragen ca. 2,5 bis 2,8 m.

---

<sup>1</sup> Arcement, G. J. and Schneider, V. R.: Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients für Natural Channels an Flood Plains, U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 2339



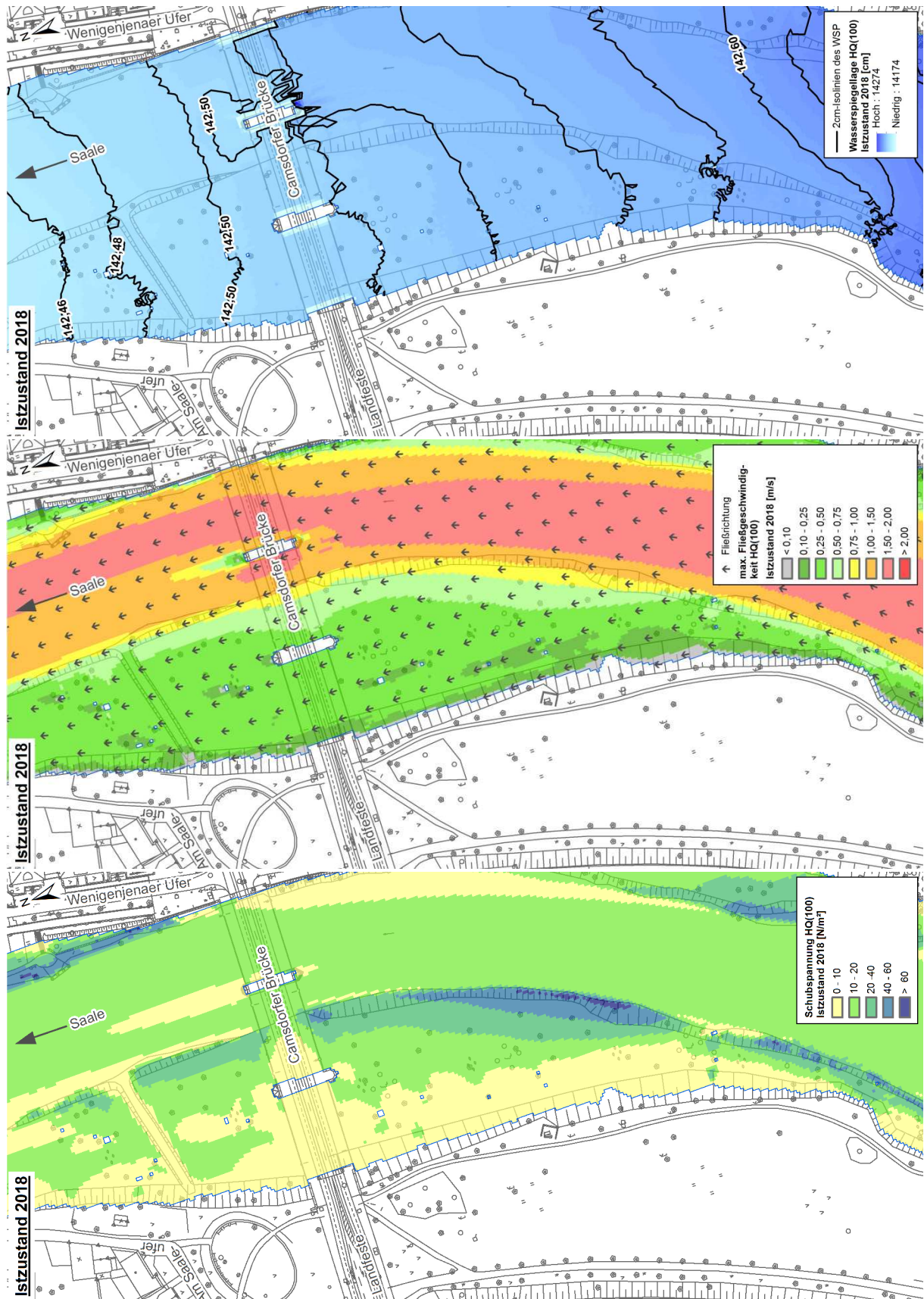


Abbildung 4: Wasserspiegelhöhen [mNHN] (oben), Fließgeschwindigkeiten [m/s] (Mitte) und Schubspannungen [N/m<sup>2</sup>] (unten) bei HQ(100) im Istzustand

Die Fließgeschwindigkeiten im linken Brückenfeld betragen nur 0,3 bis 0,4 m/s, während sie im Flussbett Werte von bis zu 1,7 m/s erreichen (vgl. Abbildung 4, Mitte). Die tiefengemittelte Fließrichtung folgt dabei dem Saale-Verlauf. Bei HQ(100) herrscht also, zumal auf dem linken Vorland an der Camsdorfer Brücke, wegen des geringen Längsgefälles eine sehr gemäigte Strömung. Auch die Schubspannungen im linken Brückenfeld fallen bei HQ(100) mit maximal ca. 10 N/m<sup>2</sup> gering aus (vgl. Abbildung 4, unten).

In der folgenden Abbildung 5 sind die bei HQ(100) berechneten Unterschiede in den Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen zwischen den Zuständen ohne und mit Radweg (ohne barriereschaffende Maßnahmen) dargestellt. Es wird deutlich, dass die Herstellung des geplanten Radwegs auf die Wasserstände der Saale bei HQ(100) praktisch keinen Einfluss hat. Kleine Unterschiede sind lediglich im Bezug auf die Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen in unmittelbarer Nähe des Radwegs festzustellen, was vorrangig auf dessen geplante Asphaltierung und neugestaltete Böschungen zurückzuführen ist. Wegen der absolut geringen Differenzen dieser Parameter kann ein spürbarer Einfluss des Radwegs ohne eine Barriere auf das Abflussgeschehen in der Saale ausgeschlossen werden. Eine gut angewachsene Grasnarbe kann die Strömungsangriffe in der Nähe des geplanten Radwegs erwartungsgemäß ohne größere Schäden überstehen.

## 7 Ergebnisauswertung Planzustand mit Barriere

Die bei HQ(100) berechneten Unterschiede in den Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen zwischen den Zuständen gänzlich ohne Barriere und mit einer vollständig verklausten, also undurchlässigen Barriere sind in der Abbildung 6 („Barriere durchgehend parallel zum Radweg“) bzw. der Abbildung 7 („Barriere wird kurz vor und nach der Brücke an den ersten Brückenpfeiler geführt“) dargestellt. Wenn die Barriere durchgehend parallel zum Radweg verläuft, hat es demnach keine nachweisbaren Auswirkungen auf die saaleseitigen Wasserstände, wenn die Hecke oder der Zaun während eines Hochwassers vollständig mit Treibgut versetzt und damit undurchströmbar wird (vgl. Abbildung 6). Auch die Schubspannungen bleiben dort in diesem Fall nahezu unverändert. Lediglich die Fließgeschwindigkeiten nehmen dann unter der Brücke geringfügig, um maximal 10 cm/s unmittelbar saaleseitig der Barriere, zu. Ober- und unterstrom der Brücke ist jeweils ein kleiner Bereich mit marginal gebremster Strömung zu erkennen.

Der Einfluss der Varianten 2 und 4 fällt noch geringer aus, solange die Barrieren durchströmbar bleiben. Die beiden Lösungen können demzufolge kaum nennenswerte Auswirkungen auf das Hochwasserabflussgeschehen haben. In der Abbildung 8 und Abbildung 10 sind dafür die jeweiligen Unterschiede in den Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen im Vergleich zum Zustand mit Radweg ohne Barriere gezeigt. Eine Verschlechterung, auch im Vergleich zum Istzustand ohne Radweg, ist bei keinem der ausgewerteten Parameter erkennbar. Die berechneten maximalen Schubspannungen im Bereich der freiwachsenden Hecke nach Variante 2 betragen 35 N/m<sup>2</sup>. Oberboden ohne stabilisierende Grasnarbe am Standort der Hecke könnte dadurch erodieren. Durch die Anordnung der Barriere längs zur Fließrichtung ist sie einem relativ geringen und hauptsächlich auf ihren südlichen Beginn konzentrierten Strömungsimpuls ausgesetzt. Schäden an der Hecke oder dem Zaun können dadurch höchstens nur im geringen Maße entstehen.

Eine 2,0 m hohe Barriere würde bei HQ(100) um maximal etwa 80 cm überströmt werden. Die beschriebenen Auswirkungen einer vollständig mit Treibgut versetzten Hecke oder Zaun parallel zum Radweg würden dadurch tendenziell also noch geringer ausfallen.

Demgegenüber hat eine vollständig mit Treibgut versetzte Hecke, die kurz vor und nach der Brücke an den ersten Brückenpfeiler geführt wird, wie dies in den Varianten 1 und 3 vorgesehen ist, einen gewissen Einfluss auf die Wasserspiegelhöhen (vgl. Abbildung 7). Festzustellen ist dabei ein geringfügiger Aufstau von maximal 4 cm vor der Brücke auf dem linken Vorland und eine Wasserspiegelabsenkung in ähnlicher Dimension unterstrom des abgesperrten Brückenfelds sowie auf der linken Seite des mittleren Brückenfelds. Der Vergleich der Fließgeschwindigkeiten zeigt, dass durch eine solche Lösung die Hauptströmung noch stärker als bisher in Richtung des Saale-Flussbetts verschoben würde. Ein bezüglich der absoluten Differenzen nennenswerter Anstieg der Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen ist allerdings nur am oberstromigen Kopf und der östlichen Seite des linken Brückenpfeilers festzustellen.

Der Einfluss der Varianten 1 und 3 fällt geringer aus, solange die Hecken durchströmbar bleiben. Am Beispiel der Variante 3 sind in der Abbildung 9 die Unterschiede in den Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen im Vergleich zum Zustand mit Radweg ohne Barriere gezeigt. Daran wird deutlich, dass die Auswirkungen einer an den ersten Brückenpfeiler geführten Barriere absolut gesehen im sehr engen Rahmen bleiben, solange eine gewisse Durchströmbarkeit der Hecke gewährleistet ist. Hinzu kommt, dass die ca. 1,8 m hohe Hecke bei HQ(100) deutlich überströmt werden würde, was ihren Einfluss auf die Strömung mindert.

Die berechneten maximalen Schubspannungen im Bereich der freiwachsenden Hecke nach Variante 1 und 3 betragen  $50 \text{ N/m}^2$ . Selbst eine dichte Grasnarbe am Standort der Hecke würde solchen Belastungen nicht lange standhalten und erodieren. Die quer zur Strömungsrichtung angeordnete Hecke wäre zudem auch im Vergleich mit einer parallel zum Radweg verlaufenden Barriere einem deutlich stärkeren Strömungsimpuls ausgesetzt. Diese Umstände machen es wahrscheinlich, dass eine solche Hecke ein größeres Hochwasser der Saale nicht unbeschadet überstehen könnte.

## 8 Zusammenfassung

Der geplante Radweg hat keine nachweisbaren Auswirkungen auf die Wasserspiegellage der Saale bei HQ(100) und keinen nennenswerten Einfluss auf die Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen in seiner Nachbarschaft.

Die untersuchten Varianten barriereschaffender Maßnahmen greifen wegen des komfortabel breiten Saale-Vorlands an das Camsdorfer Brücke nur in sehr geringem Maße in das Abflussgeschehen bei einem HQ(100) ein. Ihre Auswirkungen bleiben auf den unmittelbaren Nahbereich der Brücke beschränkt und betreffen keine schützenswerten Bebauungen.

Die Wasserstände können auch im Szenario mit der denkbar stärksten Einengung des Abflussquerschnitts nur um weniger als 5 cm ansteigen. Die deutlichsten Auswirkungen sind hinsichtlich der Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen in den Varianten 1 und 3 zu erkennen. Die Geschwindigkeiten nehmen darin durch die Hinführung der Barriere an den ersten Brückenpfeiler im mittleren und rechten Brückenfeld sichtbar zu. Gleichzeitig entstehen dabei im Bereich der Hecke bedenklich hohe Schubspannungen und Impulskräfte, die größere Schäden an der Hecke hervorrufen können.

Die Ausnahmekriterien gemäß WHG §78a (2) für eine Vorhabensgenehmigung sind aus Sicht des Gutachters in allen fünf Varianten erfüllt. Wegen der höheren Schadensanfälligkeit kann eine Umsetzung der Varianten 1 und 3 aus hydrodynamischer Sicht allerdings nicht empfohlen werden.

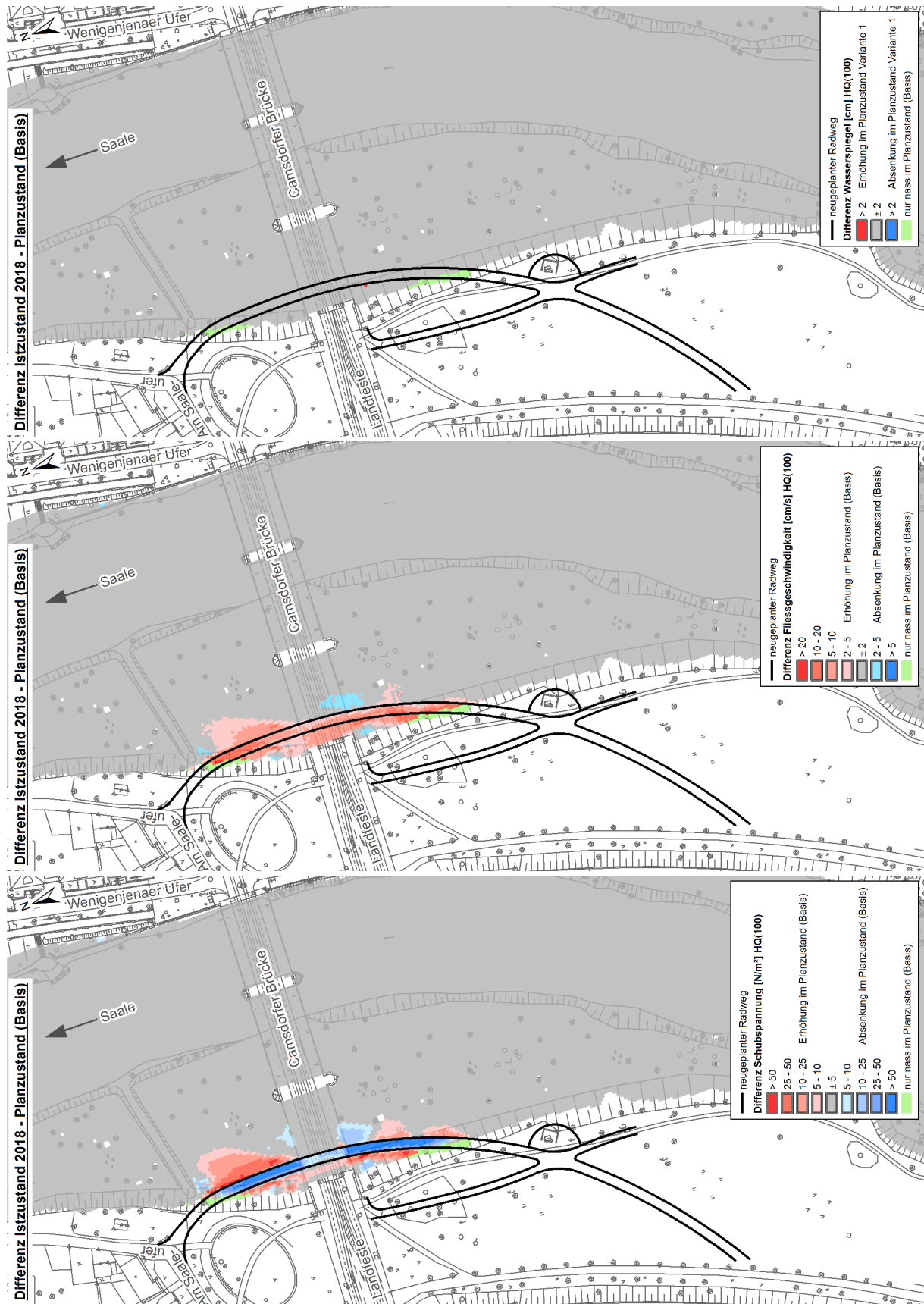


Abbildung 5: Unterschiede in den Wasserständen (oben), Fließgeschwindigkeiten (Mitte) und Schubspannungen (unten) bei HQ(100) zwischen den Zuständen ohne und mit Radweg (ohne barriereschaffende Maßnahmen)

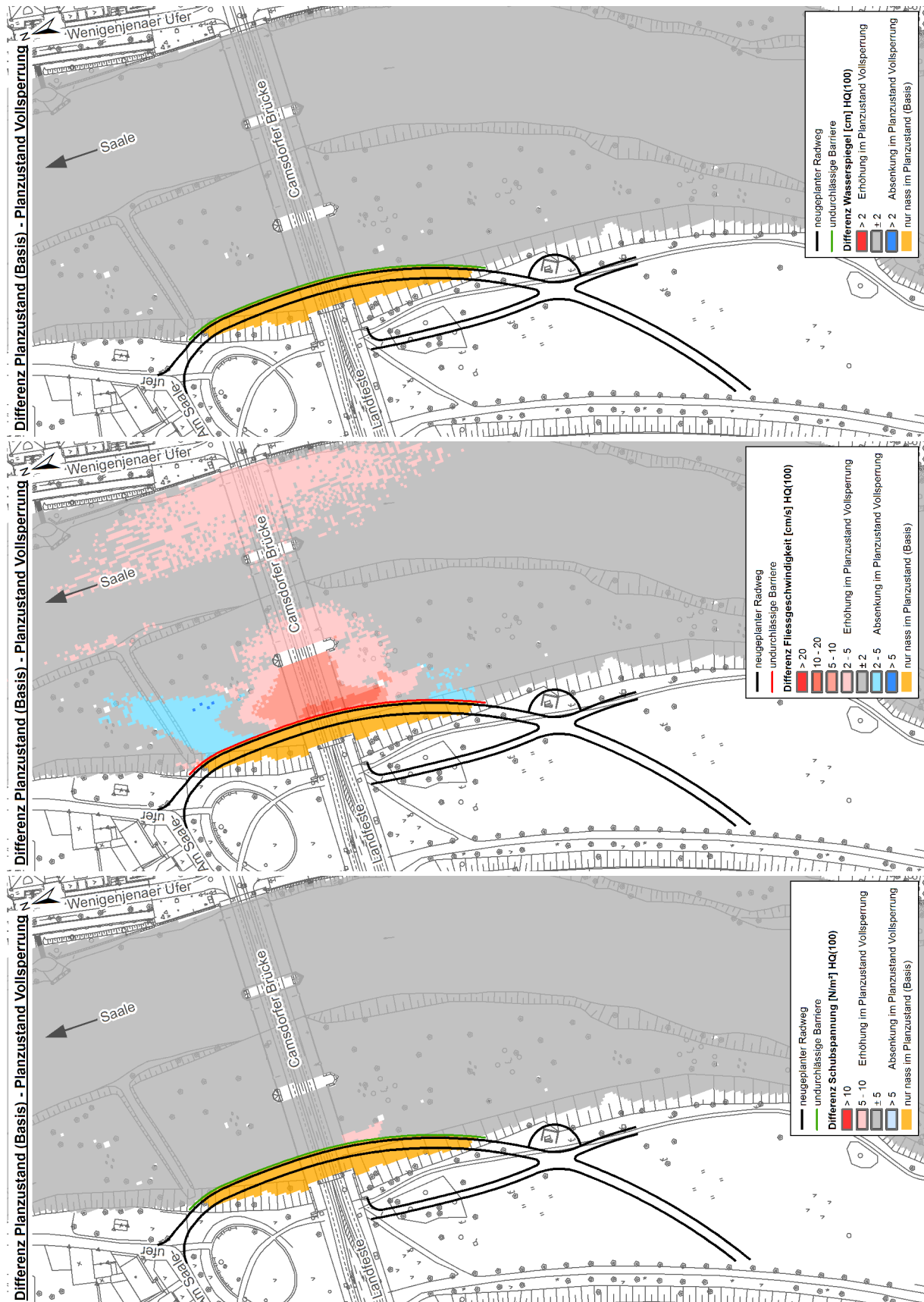


Abbildung 6: Unterschiede in den Wasserständen (oben), Fließgeschwindigkeiten (Mitte) und Schubspannungen (unten) bei HQ(100) zwischen Radweg ohne Barriere und Radweg mit vollständig durch Treibgut versetzter Barriere entlang dem Radweg

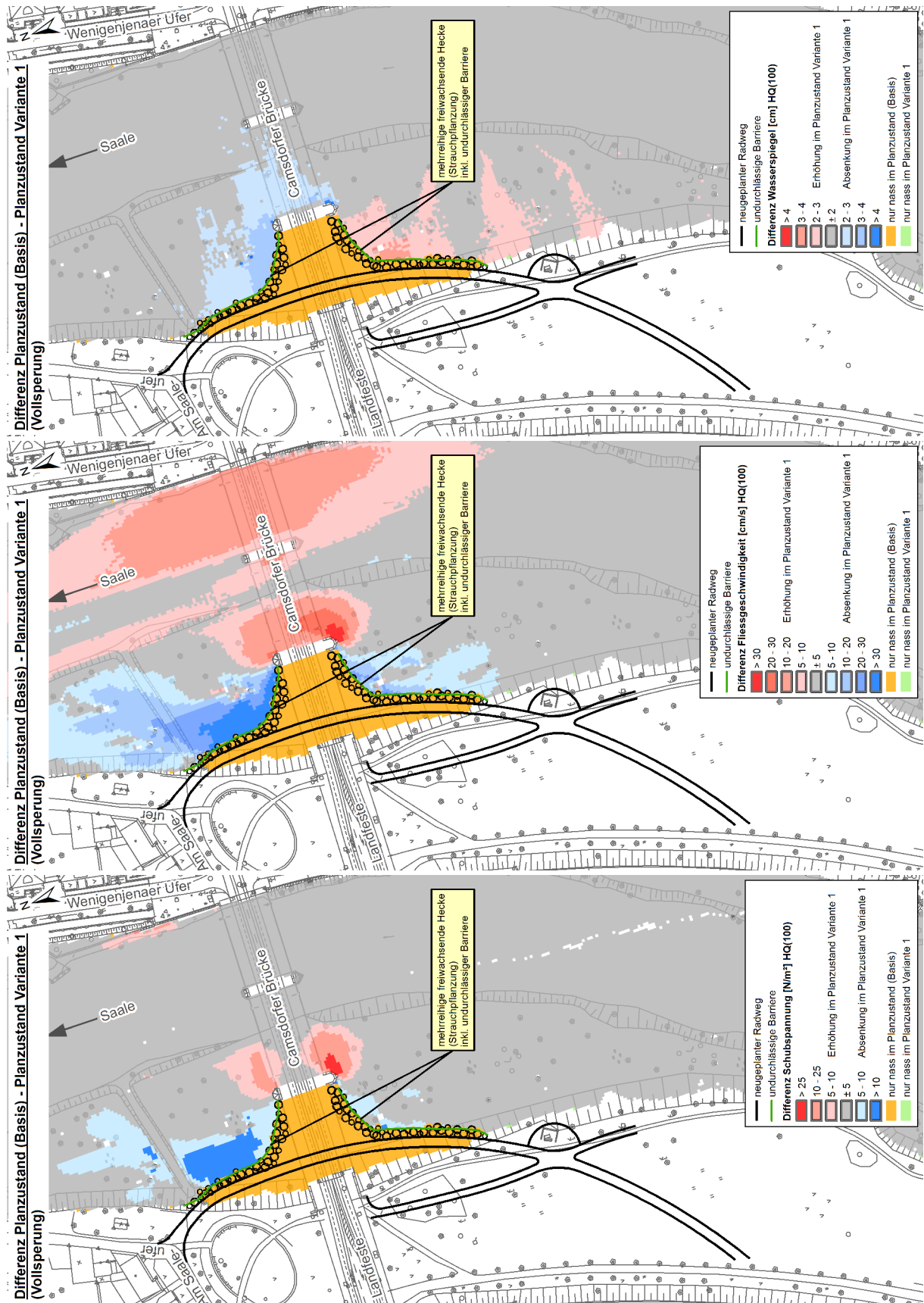


Abbildung 7: Unterschiede in den Wasserständen (oben), Fließgeschwindigkeiten (Mitte) und Schubspannungen (unten) bei HQ(100) zwischen Radweg ohne Barriere und Radweg mit vollständig durch Treibgut versetzter Hecke nach Variante 1

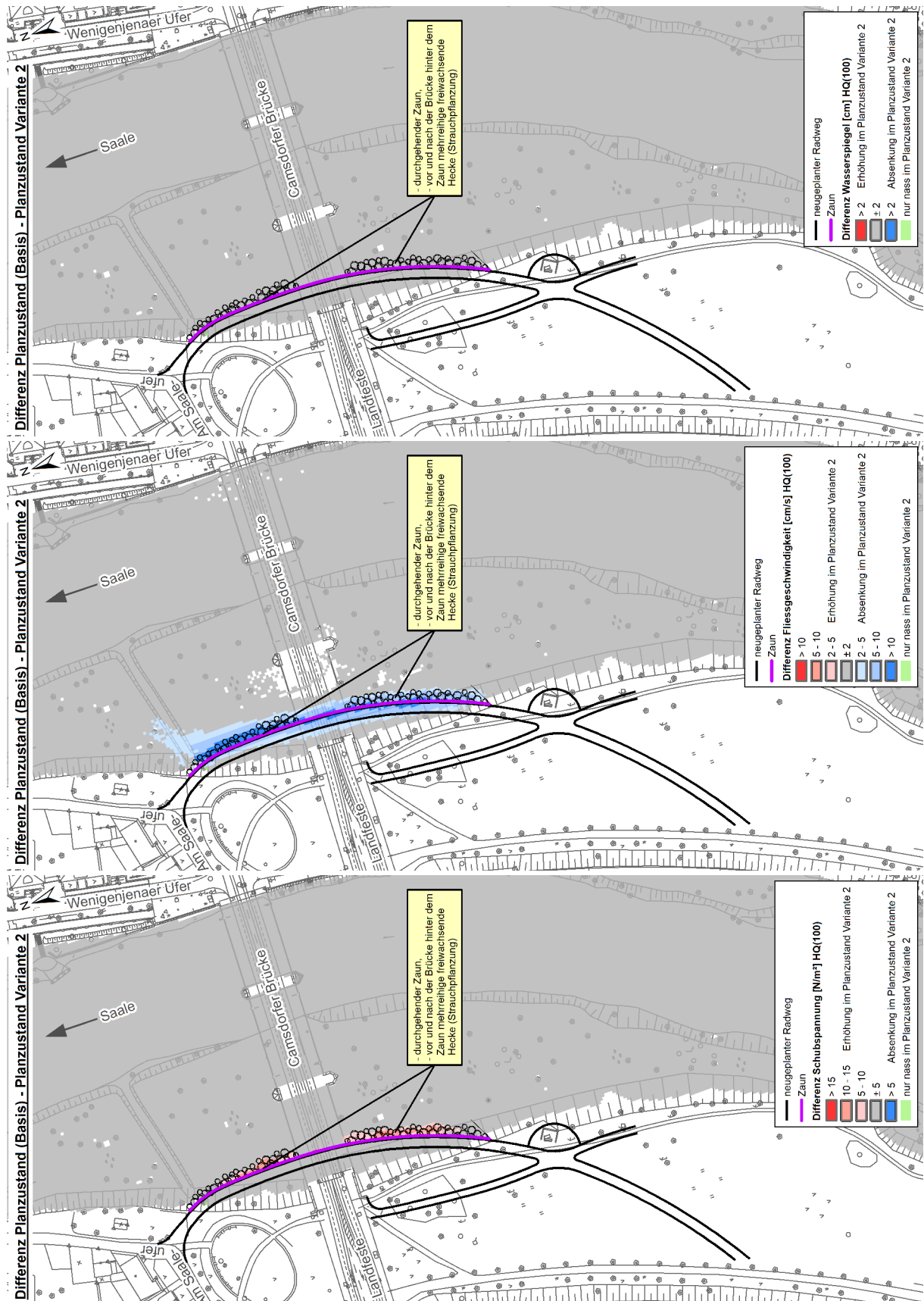


Abbildung 8: Unterschiede in den Wasserständen (oben), Fließgeschwindigkeiten (Mitte) und Schubspannungen (unten) bei HQ(100) zwischen Radweg ohne Barriere und Radweg mit Barriere nach Variante 2

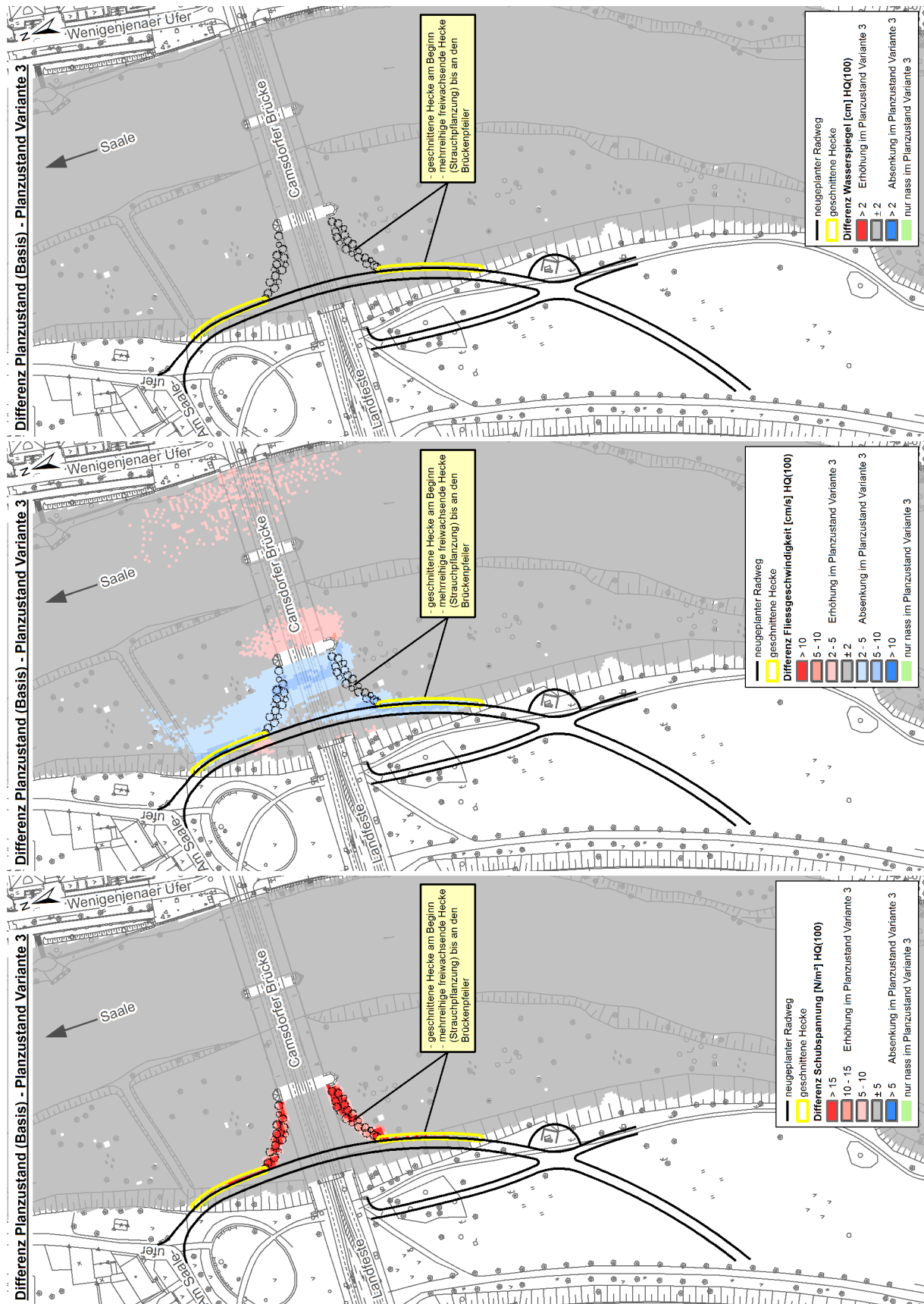


Abbildung 9: Unterschiede in den Wasserständen (oben), Fließgeschwindigkeiten (Mitte) und Schubspannungen (unten) bei HQ(100) zwischen Radweg ohne Barriere und Radweg mit Barriere nach Variante 3



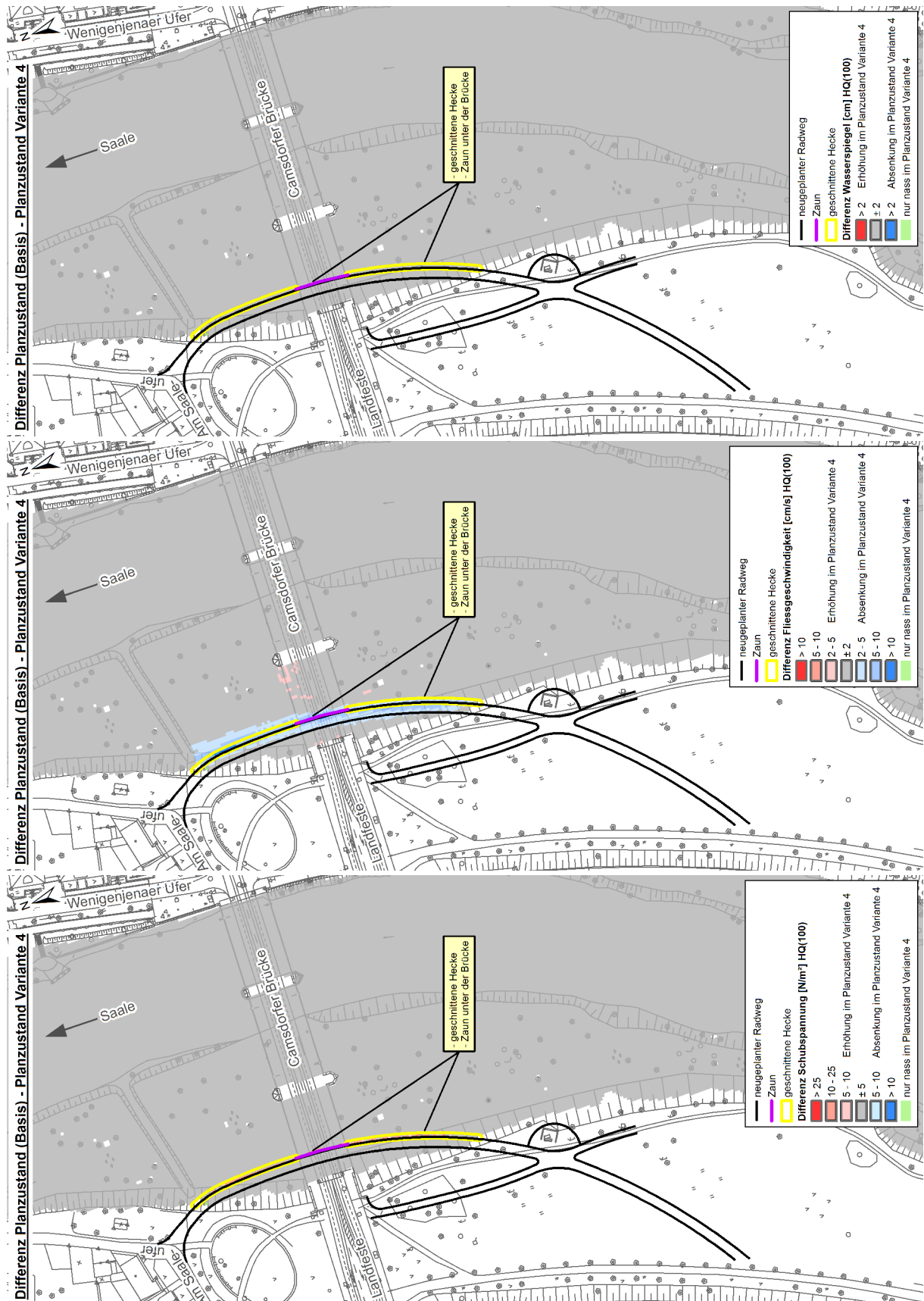


Abbildung 10: Unterschiede in den Wasserständen (oben), Fließgeschwindigkeiten (Mitte) und Schubspannungen (unten) bei HQ(100) zwischen Radweg ohne Barriere und Radweg mit Barriere nach Variante 4