

## Bericht

# St 2151, Erneuerung Kl. Naabbrücke Schwarzenfeld; Hydraulische Berechnungen Entwurfs- und Genehmigungsplanung

SKI GmbH + Co.KG  
Beratende Ingenieure  
für das Bauwesen  
Wasserwirtschaft,  
Wasserbau, Grundbau

Lessingstraße 9  
D-80336 München  
T +49(0)89 8904584-70  
F +49(0)89 8904584-71  
[www.ski-ing.de](http://www.ski-ing.de)

## Auftraggeber

Staatliches Bauamt Amberg- Sulzbach  
Archivstr. 1  
92224 Amberg



## Auftragsnummer

54631

München, im September 2018

Verfasser

Projektleiter

Dipl.-Ing. (FH) Ronny Dehnz

Dr.-Ing. Michael Spannring

Festgestellt gemäß Art.39 BayStrWG  
durch Beschluss vom 04.07.2022  
**ROP-SG31-4354.3-4-2-97**  
Regensburg, den 04.07.2022  
**Regierung der Oberpfalz**

**Meisel**  
Baudirektor

## Inhaltsverzeichnis

1	Veranlassung und Aufgabenstellung .....	3
2	Hydrologische Grundlagen .....	3
3	2d-Modell .....	4
3.1	Vorhandenes 2d-Modell .....	4
3.2	Verwendetes Programm.....	5
3.3	Voruntersuchung und Modellierung der Unterkante des Brückenüberbaus	5
3.4	Verifikation und Kalibrierung des Modells.....	6
4	Abflusssimulation und Auswertung .....	7
4.1	Durchgeführte Berechnungen .....	7
4.2	Berechnungsergebnisse Istzustand.....	7
4.3	Berechnungsergebnisse Planzustand .....	9
4.3.1	Wasserspiegel- und Abflussverhältnisse.....	9
4.3.2	Schubspannungen.....	10
4.3.3	Retentionsraum .....	10
4.4	Grundlagen für Berechnung der Strömungskraft auf die Brückenpfeiler ...	10
4.5	Arbeitsplateau für die Errichtung einer Behelfsbrücke (Bauzustand) .....	12
4.5.1	Auswirkungen bei $Q = 65 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	13
4.5.2	Auswirkungen bei $HQ_{20}$ (ohne Rückbau und Erosion).....	14
4.6	Auswirkungen der Behelfsbrücke auf die Wasserspiegel.....	15
5	Rückbaukonzept für das Arbeitsplateau bei Hochwassergefahr .....	17
6	Auswertung historischer Abflussganglinie der Naab und Empfehlung zum Bauablauf.....	23
	Anlagenverzeichnis .....	24

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Mit Auftrag vom 03.11.2017 wurde das Ingenieurbüro SKI GmbH + Co.KG durch das Staatliche Bauamt Amberg-Sulzberg mit hydraulischen Berechnungen im Rahmen einer Entwurfs- und Genehmigungsplanung zur Erneuerung der Kleinen Naabbrücke in Schwarzenfeld im Verlauf der Staatstraße 2151 beauftragt.

Im Detail sind folgende Untersuchungen bzw. Berechnungen durchzuführen:

- Übernahme und Kalibrierung eines 2d-Modells vom WWA Weiden.
- Anpassung der Sohlgeometrie im Bereich des Brückenneubaus auf Grundlage einer Bestandsvermessung.
- 2d-Berechnungen für den Istzustand.
- 2d-Berechnungen für verschiedene Bauzustände.
- 2d-Berechnungen für den Planzustand.

## 2 Hydrologische Grundlagen

Die maßgebenden Abflüsse im Bereich der geplanten Brücke sind in Tabelle 1 gemäß der Angaben des Wasserwirtschaftsamtes Weiden zusammengefasst.

Tabelle 1: Übersicht maßgebende Abflüsse

<b>Bezeichnung</b>	<b>Abfluss Q [m<sup>3</sup>/s]</b>
MQ	37,24 <sup>1</sup>
HQ <sub>1</sub>	186
HQ <sub>2</sub>	250
HQ <sub>5</sub>	334
HQ <sub>10</sub>	398
HQ <sub>20</sub>	457
HQ <sub>50</sub>	542
HQ <sub>100</sub>	606
HQ <sub>100</sub> + 15 % Klimazuschlag	697

<sup>1</sup> Abgeleitet vom Pegel Münchshofen, Naab, Zeitreihe: 1977 - 2014

### 3 2d-Modell

#### 3.1 Vorhandenes 2d-Modell

Das hydraulische 2d-Modell wurde vom Wasserwirtschaftsamt Weiden zur Verfügung gestellt.

Die Modellränder liegen ausreichend weit vom Projektgebiet entfernt, so dass einerseits die Zuströmung durch Ausuferungen aus der Naab realistisch simuliert werden und andererseits die unterstromige Randbedingung keinen verfälschenden Einfluss auf die Ergebnisse im Projektgebiet hat.

Die Materialbelegung des Netzes wurde beibehalten.

Im unmittelbaren Umgriff der Planung wurde die Sohle der Kleinen Naab auf Basis der vorliegenden Bestandsvermessung (3 Querprofile gemäß Abb. 1) neu erstellt.

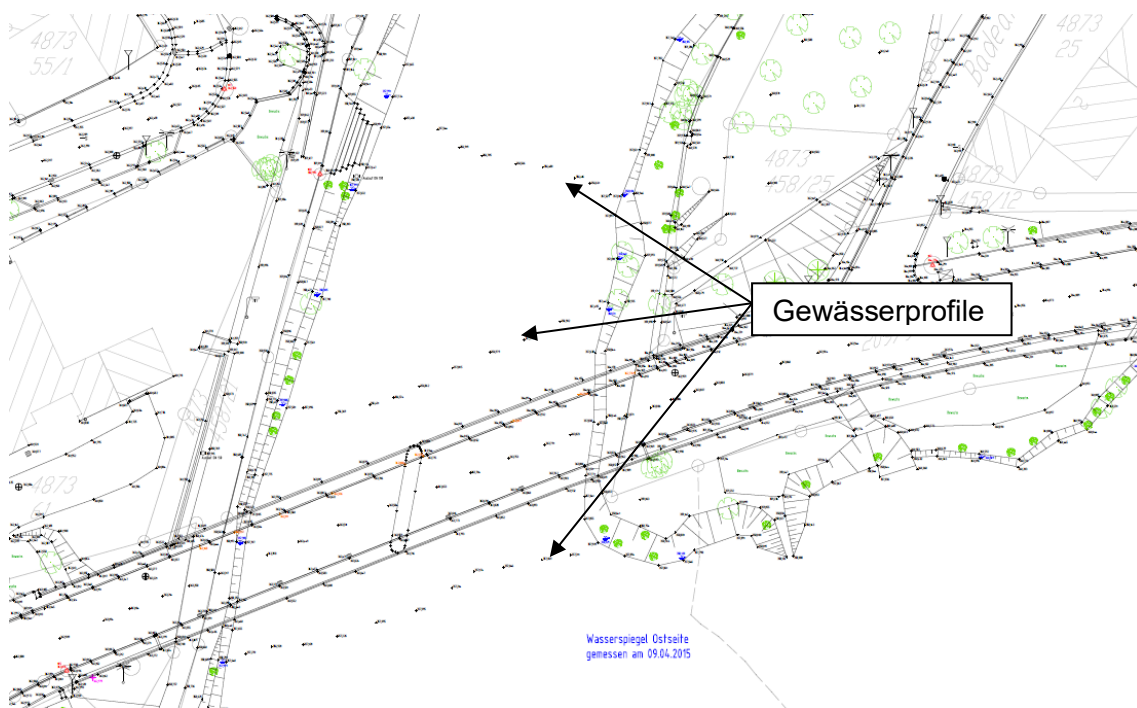


Abb. 1 Lage der Gewässerprofile Bestandsvermessung

### 3.2 Verwendetes Programm

Die Lösung der Flachwassergleichungen erfolgt mit dem Programm HYDRO\_AS-2d, Version 4.3.4. Dabei werden an jedem Berechnungsknoten zu verschiedenen Zeitpunkten folgende Strömungsparameter berechnet:

- Wasserspiegelhöhe bzw. Fließtiefe;
- über die Fließtiefe gemittelte Fließgeschwindigkeiten in zwei senkrecht zueinanderstehenden Richtungen in der horizontalen Projektion.

Auf eine Beschreibung der Grundlagen dieses Programms sowie der mathematischen Grundgleichungen wird hier verzichtet. Dazu sei auf *Nujic (1999)*<sup>2</sup> verwiesen.

Alle Berechnungen erfolgen stationär.

### 3.3 Voruntersuchung und Modellierung der Unterkante des Brückenüberbaus

In einer vorgeschalteten ersten Untersuchung im März 2016 wurden durch SKI mit dem Modell des Istzustands die maximalen Wasserspiegelhöhen im Brückenbereich als Randbedingung für die Planung des Brückenüberbaus ermittelt.

Die Bestandsbrücke wird beim Abfluss  $HQ_{100}$  im Bereich des Mittelpfeilers und am orografisch rechten Widerlager sowie beim Abfluss  $HQ_{100} + 15\%$  Klimazuschlag im gesamten Bereich des orografisch links liegenden Brückenfeldes leicht eingestaut. Da dieser Einstau lokal zu einem geringen Aufstau im unmittelbaren, oberstromigen Brückenumfeld führt, wurde mit Blick auf den Nachweis, dass sich durch den Ersatzneubau die Hochwasserverhältnisse im Vergleich zum Istzustand nicht verschlechtern dürfen, auf der "sicheren Seite" liegend auf eine Modellierung der Brückenunterkante im Bestand verzichtet.

Beim Abfluss  $HQ_{100}$  ( $606 \text{ m}^3/\text{s}$ ) und  $HQ_{100} + 15\%$  Klimazuschlag ( $697 \text{ m}^3/\text{s}$ ) stellt sich im Bereich der Brücke ein Wasserspiegel von  $361,85 \text{ müNN}$  ( $HQ_{100}$ ) bzw.  $362,04 \text{ müNN}$  ( $HQ_{100} + 15\%$ ) ein. Der tiefste Punkt vom Überbau des Ersatzneubaues liegt bei  $362,09 \text{ müNN}$ . Somit wird der Ersatzneubau im Gegensatz zum Istzustand planmäßig nicht mehr eingestaut.

Analog zum Istzustand wird auch im Planzustand auf eine Modellierung der Brückenunterkanten verzichtet.

---

<sup>2</sup> Nujic, M.: Praktischer Einsatz eines hochgenauen Verfahrens für die Berechnung von tiefengemittelten Strömungen, Mitteilungen des Instituts für Wasserwesen der Universität der Bundeswehr München, Nr. 64, 1999.

### 3.4 Verifikation und Kalibrierung des Modells

Mit den Angebotsunterlagen wurden die mit dem hydraulischen Modell berechneten Wasserspiegelhöhen für den aktuellen 100-jährlichen Hochwasserabfluss (HQ<sub>100</sub>) in Form eines Lageplans (siehe Abb. 2) als Grundlage für eine Modellkalibrierung übergeben.

Eine Nachrechnung mit den im übergebenen 2d-Modell enthaltenen Zuflüssen zeigte, dass die berechneten Wasserspiegel mit den in Abb. 2 dargestellten Wasserspiegeln identisch sind. Damit wurde das 2d-Modell überprüft. Eine darüberhinausgehende Kalibrierung ist nicht erforderlich.

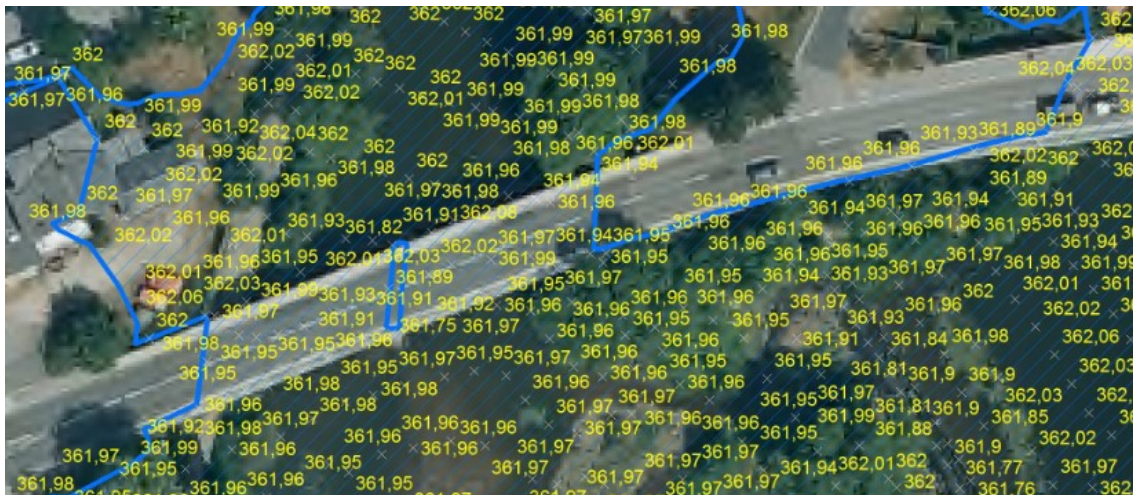


Abb. 2 Wasserspiegel HQ Bestand (Quelle: WWA Weiden)

## 4 Abflusssimulation und Auswertung

### 4.1 Durchgeführte Berechnungen

Die durchgeführten Berechnungen sind in der Übersicht in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Übersicht durchgeführte Berechnungen

<b>Situation</b>		
Istzustand	HQ <sub>20</sub>	= 457 m <sup>3</sup> /s
	HQ <sub>100</sub>	= 606 m <sup>3</sup> /s
	HQ <sub>100 +15 %</sub>	= 697 m <sup>3</sup> /s
Planzustand	HQ <sub>100</sub>	= 606 m <sup>3</sup> /s
	HQ <sub>100 +15 %</sub>	= 697 m <sup>3</sup> /s
Bauzustand Phase 3 (OK <sub>Arbeitsplateau</sub> = 359,0 müNN)	MQ	= 37,24 m <sup>3</sup> /s
	Q	= 65 m <sup>3</sup> /s
	HQ <sub>20</sub>	= 457 m <sup>3</sup> /s
	Gestaffelter Abfluss von 37,24 – 110 m <sup>3</sup> /s	
Bauzustand Phase 3 (Arbeitsplateau nicht überströmbar)	HQ <sub>1</sub>	= 186 m <sup>3</sup> /s
Bauzustand Phase 4.3 (OK <sub>Arbeitsplateau</sub> = 359,0 müNN)	HQ <sub>20</sub>	= 457 m <sup>3</sup> /s

### 4.2 Berechnungsergebnisse Istzustand

In Tabelle 3 sind die berechneten Wasserspiegelhöhen oberstrom der Bestandsbrücke als Mittelwert über den gesamten Abflussquerschnitt der Kleinen Naab dargestellt. Eine flächige Darstellung der Wasserspiegellagen zeigen Abb. 3, Abb. 4 und Abb. 5.

Tabelle 3 berechnete Wasserspiegelhöhen oberstrom der Bestandsbrücke

<b>Bezeichnung</b>	<b>Wasserspiegel [müNN]</b>
HQ <sub>20</sub>	361,47
HQ <sub>100</sub>	361,85
HQ <sub>100 + 15 % Klimazuschlag</sub>	362,04

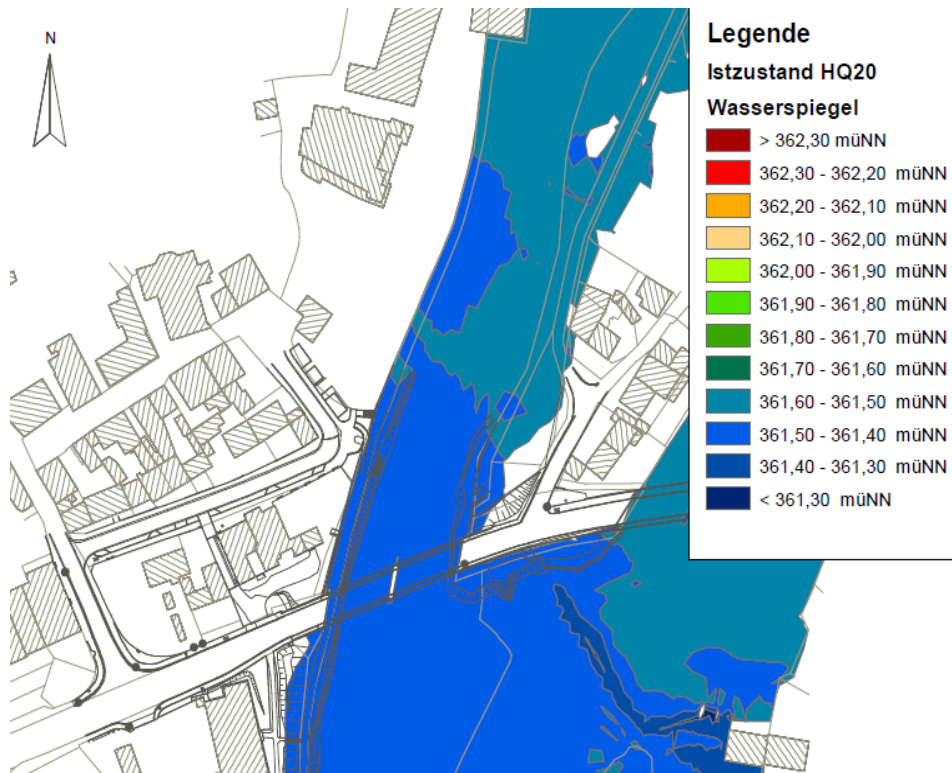


Abb. 3 Wasserspiegel HQ<sub>20</sub> Istzustand

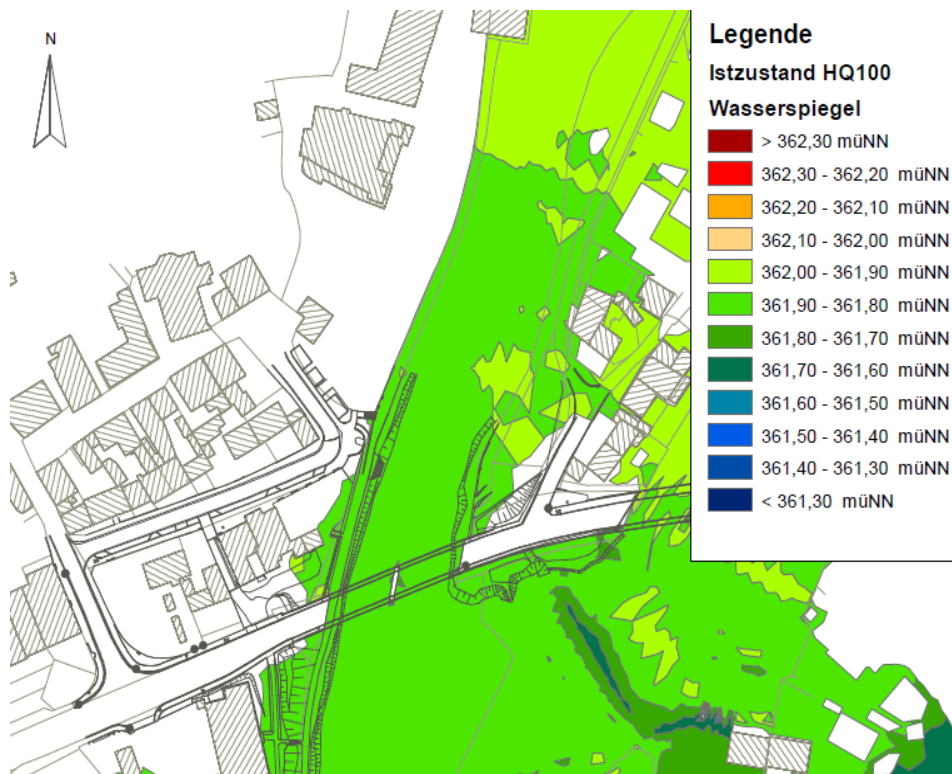


Abb. 4 Wasserspiegel HQ<sub>100</sub> Istzustand



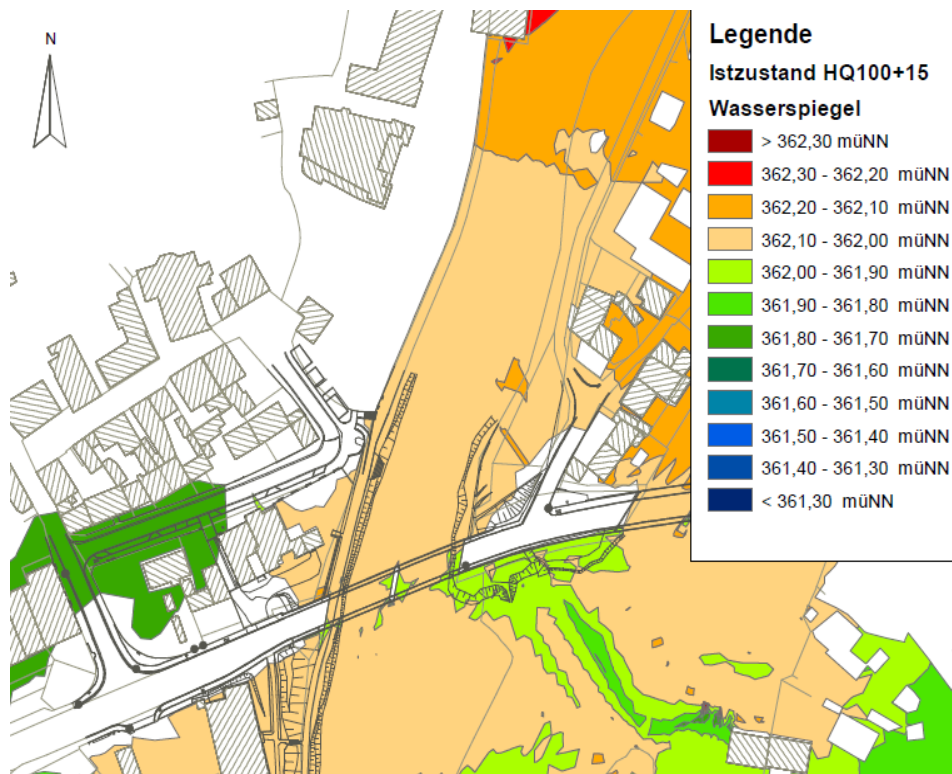


Abb. 5 Wasserspiegel HQ<sub>100</sub> + 15 % Istzustand

### 4.3 Berechnungsergebnisse Planzustand

#### 4.3.1 Wasserspiegel- und Abflussverhältnisse

In den Anlagen 1 und 2 sind die berechneten Wasserspiegel, Fließtiefen und die Wasserspiegeldifferenz im Vergleich zum Istzustand für die Abflussereignisse HQ<sub>100</sub> und HQ<sub>100</sub> + 15 % Klimazuschlag dargestellt.

Der Abflussquerschnitt im direkten Brückenbereich wird durch den Ersatzneubau nicht verkleinert. Durch die Anhebung der Brückenunterkante vergrößert sich der Abflussquerschnitt unter der Brücke. Dies hat positive Auswirkungen auf die Wasserspiegelverhältnisse oberstrom der kleinen Naabbrücke bei Abflüssen größer 600 m<sup>3</sup>/s.

Die vorgesehene Verbreiterung der Wiederlager führt lediglich im direkten Umfeld der Widerlager zu geringfügigen Änderungen der Wasserspiegel. Der Vergleich der Berechnungen für den Ist- und Planzustand zeigt, dass der geplante Ersatzneubau keinen wesentlichen Einfluss auf die Wasserspiegellagen der Kleinen Naab hat.

### **4.3.2 Schubspannungen**

In der Anlage 3.5 sind die berechneten Sohlschubspannungen (Schleppspannungen) für den Planzustand im Vergleich zum Istzustand für das Abflussereignis  $HQ_{100}$  dargestellt.

Die geringfügig veränderten Abflussverhältnisse im direkten Brückenumfeld führen zu einem leichten Anstieg der Schubspannungen an der orografisch rechten Uferböschung unterstrom der Brücke.

Im Istzustand liegen die berechneten Schubspannungen im betroffenen Böschungsbereich zwischen 5 und 30  $N/m^2$ . Im Planzustand erhöhen sie sich im betroffenen Bereich im Mittel um 3  $N/m^2$ . Die erhöhten Schubspannungen können für die mit Sträuchern und Gras bewachsene Böschung als unkritischen eingestuft werden. Belegt wird dies auch dadurch, dass ein paar Meter unterstrom bei ähnlichen Böschungsaufbau bereits im Istzustand Schubspannungen  $> 30 N/m^2$  schadensfrei auftreten.

Zusätzliche Böschungssicherungsmaßnahmen, wie z.B. die Herstellung eines Steinsatzes, sind somit nicht erforderlich. Der Zustand des beschriebenen und in der Differenzenabbildung in Anlage 3.5 zu erkennenden Böschungsbereichs sollte aber nach Durchfluss größerer Hochwässer ( $> HQ_5$ ) kontrolliert werden.

### **4.3.3 Retentionsraum**

Die vorgesehene Verbreiterung der Widerlager führt, bei Abfluss eines  $HQ_{100}$ , zu einem Verlust von ca. 30  $m^3$  Retentionsraum. Dieser Verlust wird jedoch durch die Wasserpegelanstiege im direkten Umfeld der Widerlager vollständig ausgeglichen.

In der Summe geht durch den geplanten Brückenneubau kein Retentionsraum verloren.

## **4.4 Grundlagen für Berechnung der Strömungskraft auf die Brückenpfeiler**

In Abstimmung mit dem Objektplaner dem IB Grassl (Herr Backa) und dem Prüflingenieur Dr.-Ing. Garske (Herr Dr. Rudolph) sind nachfolgend die Wasserspiegelverhältnisse und Fließgeschwindigkeiten im Bereich der Brücke dargestellt.

Abb. 6 zeigt die Fließgeschwindigkeiten und Fließrichtungen im Bereich der Brücke. Abb. 7 zeigt die tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten und den Wasserspiegel an dem in Abb. 6 gekennzeichneten Querschnitt bei Durchfluss  $HQ_{100}$  mit 15%

Klimazuschlag. Der mittlere Wasserspiegel liegt bei 362,04 müNN. Die maximale Fließgeschwindigkeit liegt bei 1,90 m/s.

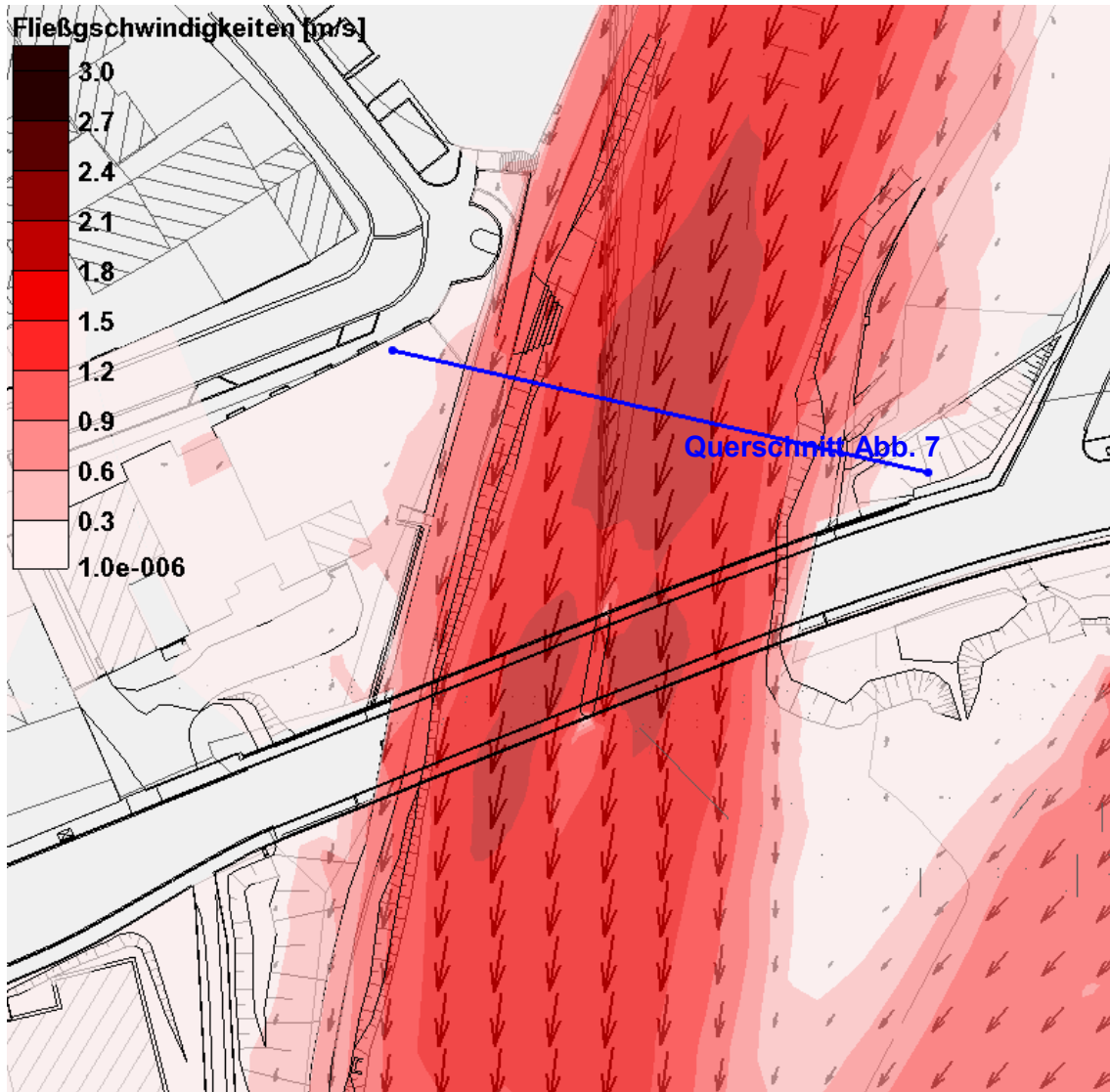


Abb. 6 Fließgeschwindigkeiten mit Fließvektoren bei  $HQ_{100}+15\%$  im Planzustand

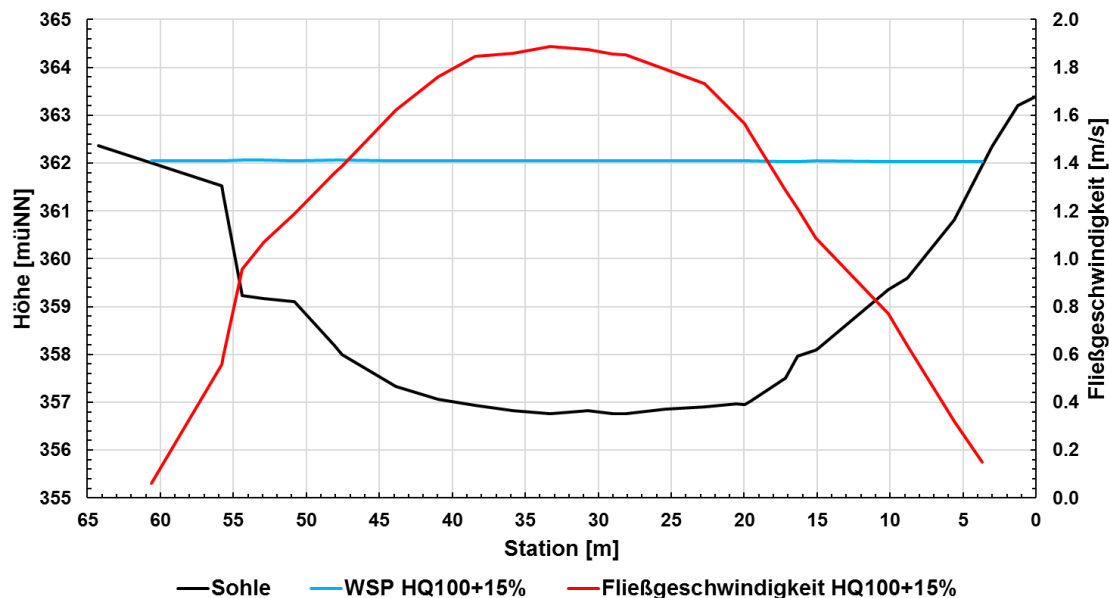


Abb. 7 Querschnitt oberstrom der Brücke bei  $HQ_{100}+15\%$  im Planzustand

#### 4.5 Arbeitsplateau für die Errichtung einer Behelfsbrücke (Bauzustand)

Für die Errichtung und den Rückbau der Behelfsbrücke ist die Schüttung eines Arbeitsplateaus in der Kleinen Naab erforderlich. Das Plateau wird vom orografisch rechten Ufer bis zur Mitte der Kleinen Naab bis auf eine Höhe von 359,0 müNN geschüttet.

*Hinweis:* In einem älteren Planungsstand waren auch für den Abriss der Bestandsbrücke zwei Schüttungen (Arbeitsplateaus) in der Kleinen Naab vorgesehen (Bauphase 4.2 und 4.3). Da diese beiden Schüttungen nicht mehr vorgesehen sind, wird nachfolgend auf eine Beschreibung der für diese Bauzustände durchgeführten Berechnungen verzichtet.

**Planmäßig ist bei einem zu erwartenden Hochwasserabfluss ein rechtzeitiger Rückbau der Schüttung vorgesehen.** Damit wird gewährleistet, dass beim Durchgang der Hochwasserwelle der Abflussquerschnitt nicht eingeschränkt wird und somit die Hochwasserabflussverhältnisse nicht verschlechtert werden.

Abb. 8 zeigt die Wasserstands-Abfluss-Beziehung im Bereich des Arbeitsplateaus. Der dabei angegebene Abfluss entspricht dem Gesamtabfluss in der Naab und der kleinen Naab. Planmäßig ist angedacht, die Arbeiten bei steigendem Wasserspiegel bis zu einem Abfluss von  $65 \text{ m}^3/\text{s}$  fortzuführen. Bei diesem Abfluss ist bis zur Oberkante des Arbeitsplateaus ein Freibord von 0,5 m vorhanden. Eine Überströmung des Arbeitsplateaus ist ab einem Abfluss von etwa  $95 \text{ m}^3/\text{s}$  zu erwarten.

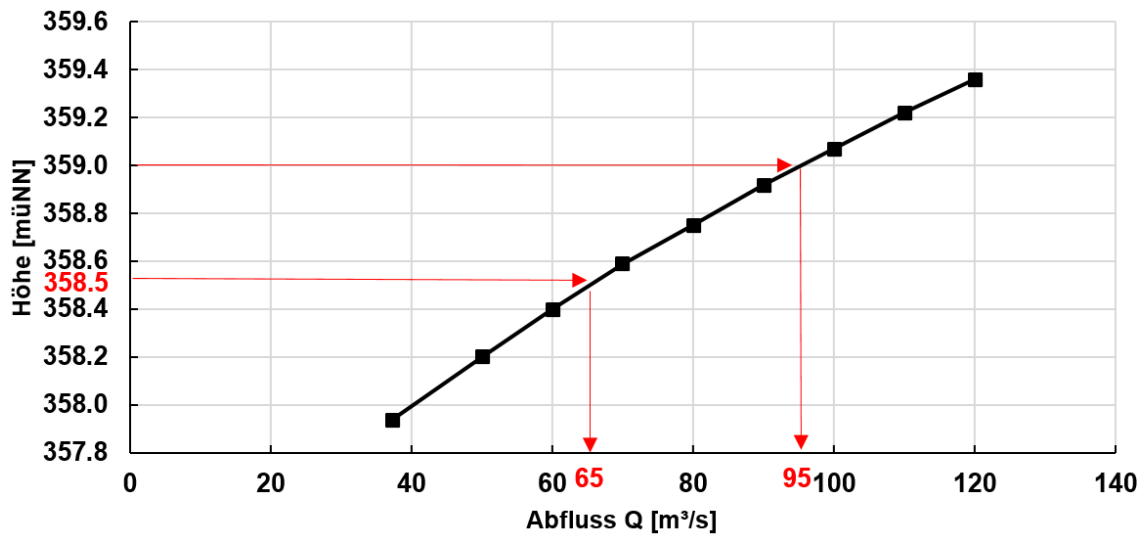


Abb. 8 W-Q-Beziehung mit eingebauter Schüttung an der Kleinen Naabbrücke

Nachfolgend werden im Kap. 4.5.1 die Auswirkungen des Arbeitsplateaus auf die Wasserspiegel- und Sohlverhältnisse während des planmäßigen Baubetriebes beschrieben. Hierfür wurden Berechnungen mit einem Abfluss von  $65 \text{ m}^3/\text{s}$  durchgeführt. Bei Abflüssen  $> 65 \text{ m}^3/\text{s}$  werden die Brückenbauarbeiten eingestellt. Zum Vergleich: Der jährliche Mittelwasserabfluss MQ liegt bei  $37,24 \text{ m}^3/\text{s}$ .

In Kap. 4.5.2 sind die Auswirkungen des Arbeitsplateaus auf die Wasserspiegel- und Sohlverhältnisse bei Abfluss eines  $HQ_{20} = 457 \text{ m}^3/\text{s}$ , ohne Berücksichtigung des geplanten Rückbaues und ohne Annahme einer Erosion des Arbeitsplateaus während des Durchflusses der Hochwasserwelle, beschrieben.

Um eine Verschlechterung der Hochwasserverhältnisse im Bauzustand zu vermeiden, ist bei drohendem Hochwasser ein rechtzeitiger Rückbau des Arbeitsplateaus vorgesehen. In Kap. 4.6 ist das Vorgehen beim Rückbau des Arbeitsplateaus beschrieben.

#### 4.5.1 Auswirkungen bei $Q = 65 \text{ m}^3/\text{s}$

In Anlage 3.1 sind die berechneten Wasserspiegel, Fließtiefen und die Wasserspiegeldifferenz im Vergleich zum Istzustand für den Abfluss  $Q = 65 \text{ m}^3/\text{s}$  dargestellt.

Die Schüttung des Arbeitsplateaus bewirkt bei einem Durchfluss von  $65 \text{ m}^3/\text{s}$  einen geringen Anstieg des Wasserspiegels von 1 bis 2 cm in der Kleinen Naab. Der geringe

Wasserspiegelanstieg reicht ca. 600 m nach oberstrom bis zum Abzweig der Kleinen Naab.

Durch das Arbeitsplateau wird der Abflussquerschnitt bis zum Zeitpunkt der Überströmung des Arbeitsplateaus bei ca.  $95 \text{ m}^3/\text{s}$  deutlich verkleinert. Entsprechend erhöhen sich im Vergleich zum Istzustand die Schubspannungen auf die Sohle im Bereich des Arbeitsplateaus. Dies kann zu einer Sohleintiefung im Brückenbereich führen. Deshalb empfehlen wir:

- Die Sohlentwicklung in der Zeit mit bestehenden Arbeitsplateaus regelmäßig zu kontrollieren. Dies sollte durch eine flächige Vermessung z.B. durch ein Nivellement mit Stangenpeilung im Umkreis von jeweils 10 m um die vorhandenen Brückenpfeiler und Widerlager erfolgen. Die erste Vermessung ist als Referenzzustand vor der Herstellung des Arbeitsplateaus durchzuführen. Die zweite spätestens 5 Tage nach Herstellung des Arbeitsplateaus. Weitere Vermessungen sind in Abhängigkeit der Ergebnisse der zweiten Vermessung festzulegen.
- Für den Fall, dass dabei eine für die Widerlager kritische Sohleintiefung festgestellt wird, ist die Sohle durch den Einbau z. B. von Schroppen zu stabilisieren.
- Die Schroppen sind während der entsprechenden Bauphase in ausreichender Menge auf der Baustelle vorzuhalten.

#### **4.5.2 Auswirkungen bei $HQ_{20}$ (ohne Rückbau und Erosion)**

Zur Beurteilung möglicher Auswirkungen für den Fall ohne Rückbau werden die Wirkungen des Arbeitsplateaus bei Durchfluss eines 20-jährlichen Hochwasserereignisses mit  $HQ_{20} = 457 \text{ m}^3/\text{s}$  untersucht. Zusätzlich wird die Berechnung ohne Annahme einer Erosion des Arbeitsplateaus während des Durchflusses der Hochwasserwelle durchgeführt. Die Berechnung liegt somit hinsichtlich der Auswirkungen auf die Wasserspiegellagen und Sohl Schubspannungen deutlich auf der „sicheren Seite“.

Die berechneten Wasserspiegel, Fließtiefen und die Wasserspiegeldifferenz im Vergleich zum Istzustand für den Abfluss  $HQ_{20}$  sind in der Anlage 3.2 dargestellt. Zusätzlich sind in Anlage 3.4 die maximalen Sohl Schubspannungen auch im Vergleich zum Istzustand dargestellt.

Anlage 3.3 zeigt eine Übersicht aller Grundstücke die im Bauzustand bei Durchfluss eine  $HQ_{20}$  ohne Rückbau und Erosion betroffen wären. Dabei wird in der Darstellung zwischen Flächen mit einem Anstieg des Wasserspiegels und Flächen die zusätzlich überströmt werden unterschieden.

Die Schüttung des Arbeitsplateaus hat einen geringfügig höheren Wasserspiegel von 3 bis 6 cm in der Kleinen Naab zu Folge. Oberstrom des Abzweigs der Kleinen Naab liegt der Wasserspiegel im Mittel noch 1 bis 2 cm über dem im Istzustand. Es ist festzustellen, dass sich auf einer relativ großen Fläche Wasserspiegelerhöhungen ergeben würden. Die Auswirkungen wären, bis auf den Inselbereich zwischen Kleiner Naab und Naab, eher gering. Anders sähe dies auf der Insel zwischen Kleiner Naab und Naab aus. Hier würden Gebäude direkt betroffen. Anzumerken ist dabei, dass die betroffenen Gebäude auch ohne Arbeitsplateau bei einem  $HQ_{20}$  überflutet werden, natürlich in einem etwas geringeren Umfang.

Im Istzustand liegen die Sohlschubspannungen in der Kleinen Naab im Umfeld der Brücke im Mittel bei  $14 \text{ N/m}^2$ . Im beschriebenen Fall einer vollständig erhaltenen Schüttung bei Durchfluss eines  $HQ_{20}$  erhöhen sich die Sohlschubspannungen auf bis zu  $21 \text{ N/m}^2$ . Prozentual entspricht dies einer Erhöhung um 50 %. Es ist zu erwarten, dass dies eine Eintiefung der Sohle bewirken würde. Auf der Schüttung stellen sich etwas höhere Schubspannungen zwischen 30 und  $40 \text{ N/m}^2$  ein.

Zur Vermeidung einer möglichen Eintiefung bzw. Kolkbildung im Bereich der vorhandenen und weiter genutzten Widerlager der Kleinen Naabbrücke sind folgende Punkte bei der Ausführungsplanung bzw. Baumaßnahme zu berücksichtigen:

- Der planmäßig vorgesehene Rückbau der Schüttung ist zwingend notwendig.
- Auf Sicherungen des Arbeitsplateaus (z.B. einer Böschungssicherung mit Wasserbausteinen) ist, soweit technisch möglich, zu verzichten.
- Es muss sichergestellt werden, dass Sicherungen des Arbeitsplateaus rechtzeitig vor dem Durchgang einer Hochwasserwelle rückgebaut werden.
- Für die Schüttung des Arbeitsplateaus ist ein Material zu wählen, das bei Schubspannungen von  $30 \text{ N/m}^2$  erodiert, so dass im Falle eines nicht vollständigen Rückbaues der Schüttung diese während des Hochwasserereignisses eigenständig erodieren kann. Ein Kies mit einer mittleren Korngröße von 15 bis 20 mm und  $d_{\max} < 40 \text{ mm}$  erfüllt diese Anforderungen.

#### **4.6 Auswirkungen der Behelfsbrücke auf die Wasserspiegel**

Der Mittelpfeiler und die Widerlager sind in Fließrichtung genau vor dem Mittelpfeiler und den Widerlagern der Bestandsbrücke positioniert. Der Abflussquerschnitt im Bereich der Behelfsbrücke ist nicht kleiner als der Abflussquerschnitt im Bereich der Bestandsbrücke. Somit kann auch ohne rechnerischen Nachweis festgestellt werden,



dass die Behelfsbrücke keine relevanten Auswirkungen auf die Wasserspiegelverhältnisse im Bauzustand haben wird.



## 5 Rückbaukonzept für das Arbeitsplateau bei Hochwassergefahr

Die in Kap. 4.5.2 beschriebene mögliche Verschlechterung der Hochwasserabflussverhältnisse wird durch einen rechtzeitigen Rückbau der Schüttung vermieden.

Abb. 9 zeigt die Wasserspiegelhöhen bei einem Abfluss von  $375 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dies entspricht knapp einem 10-jährlichen Hochwasserereignis und dem Abfluss, bei dem die ersten Gebäude auf der Insel zwischen Kleiner Naab und Naab überflutet werden und somit dem Zeitpunkt, zu dem spätestens der Rückbau des vollständigen Arbeitsplateaus abgeschlossen sein muss.

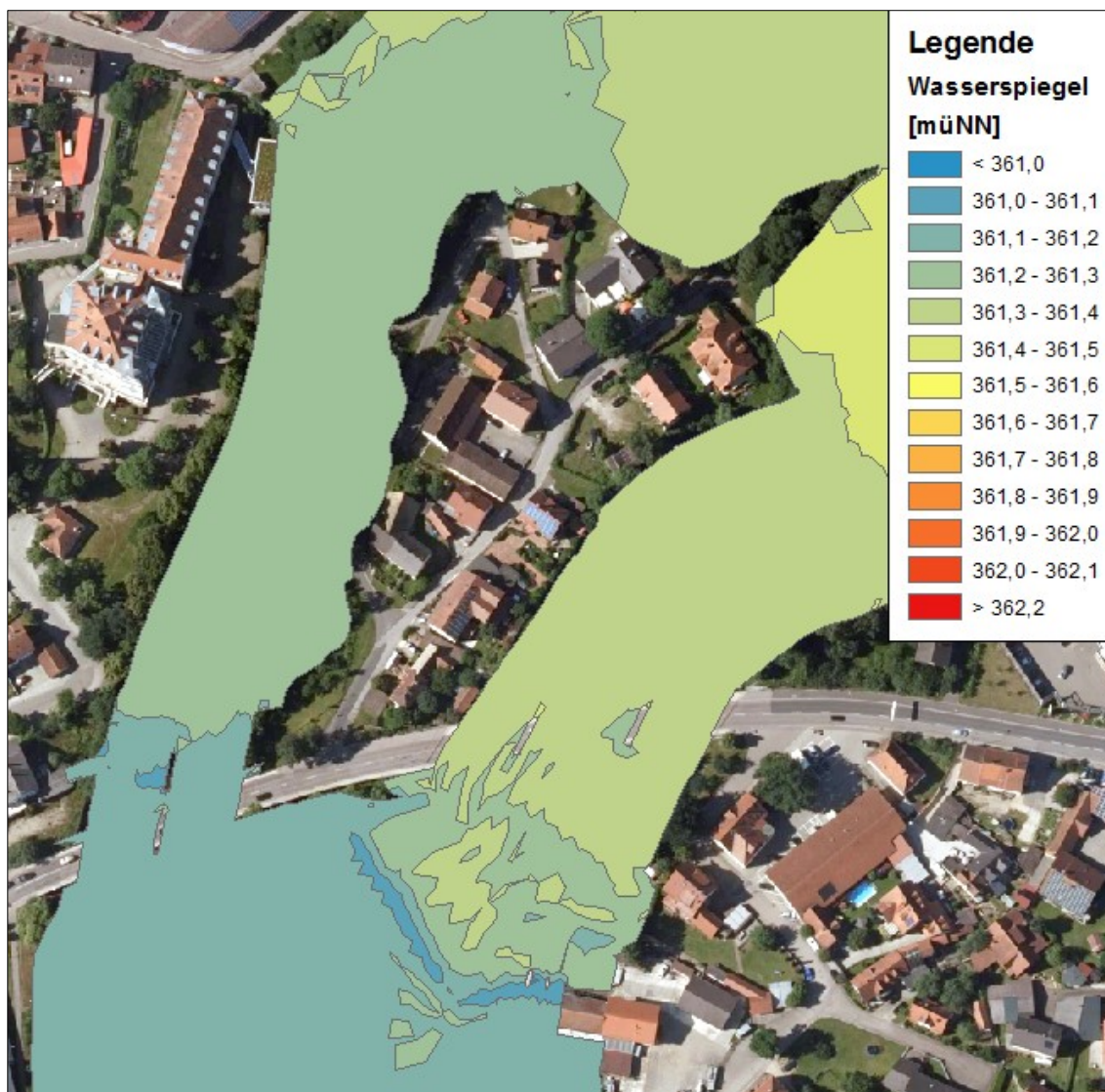


Abb. 9 Wasserspiegelhöhen bei  $Q = 375 \text{ m}^3/\text{s}$  im Bauzustand ohne Rückbau des Arbeitsplateaus

**Vorgesehen ist, dass bei einem Abfluss von 65 m<sup>3</sup>/s mit dem Rückbau des Arbeitsplateaus begonnen wird. Mit der ausführenden Baufirma sollte vertraglich geregelt werden, dass ab diesem Abfluss zu jeder Tag- und Nachtzeit mit dem Rückbau des Arbeitsplateaus begonnen werden kann und dieser innerhalb von 12 Stunden abzuschließen ist.**

**Von der Vorgabe des Rückbaus des Arbeitsplateaus ab einem Abfluss von 65 m<sup>3</sup>/s wird nur abgewichen, wenn die oberstrom liegenden Pegel eindeutig einen Rückgang des Abflusses aufzeigen bzw. die Niederschlagssituation eindeutig zeigt, dass nicht mit einem weiteren Anstieg des Abflusses auf Werte größer eines  $HQ_1 = 186 \text{ m}^3/\text{s}$  zu rechnen ist.**

Bei einem Abfluss von 65 m<sup>3</sup>/s stellt sich gemäß 2d-Berechnung am Arbeitsplateau ein Wasserspiegel in Höhe von 358,50 müNN ein. Diese Höhenkote wird am Arbeitsplateau markiert, so dass der Zeitpunkt des Rückbaubeginns vor Ort zu erkennen ist.

Um die Frage zu beantworten, ob eine Rückbauzeit von 12 Stunden ausreichend ist, wurden die Pegelaufzeichnungen des unterstrom liegenden Pegels Münchshofen hinsichtlich der Geschwindigkeiten des Abflussanstieges ausgewertet. Zur Auswertung liegen die 15-Minutenwerte der Zeitreihe vom 1.11.1970 bis 20.06.2018 vor.

Die Auswertung der Daten zeigt, dass der Abflussanstieg pro 15 Minuten in 93,7 % aller Fälle unter 1 m<sup>3</sup>/s und in 99,3 % aller Fälle unter 2 m<sup>3</sup>/s lag (siehe Tabelle 4).

Mit Berücksichtigung eines mittleren Abflussanstieges von 1,5 m<sup>3</sup> alle 15 Minuten, ergibt sich ein Abflussanstieg von  $12 \cdot 4 \cdot 1,5 = 72 \text{ m}^3$  innerhalb der Rückbauphase. Der Rückbau wird somit bei einem Gesamtabfluss in der Größenordnung von  $65 + 72 = 137 \text{ m}^3/\text{s}$  abgeschlossen sein. Zu diesem Zeitpunkt besteht noch keine Gefährdung von bebauten Flächen im Rückstaubereich des Arbeitsplateaus.

Tabelle 4: Auswertung Ganglinien Pegel Münchshofen Zeitreihe 1970 - 2018

<b>Anzahl der 15-Minutenwerte mit Anstieg des Abflusses</b>		
Gesamt	348.638	
Anstieg < 1 m <sup>3</sup> /s	326.692	93,705 %
Anstieg 1 - 2 m <sup>3</sup> /s	19.574	5,614 %
Anstieg 2 - 3 m <sup>3</sup> /s	1.853	0,531 %
Anstieg 3 - 4 m <sup>3</sup> /s	379	0,109 %
Anstieg 4 - 5 m <sup>3</sup> /s	83	0,024 %
Anstieg > 5 m <sup>3</sup> /s	57	0,016 %

Da bei der vorrangegangenen Auswertung jegliche Wasserspiegelanstiege in der untersuchten Zeitreihe berücksichtigt sind, wird das Ergebnis nachfolgend an verschiedenen Hochwasserereignissen verifiziert. Abb. 10 bis Abb. 19 zeigen die Abflussganglinien 10 vergangener Hochwasserereignisse mit Abflüssen zwischen 180 m<sup>3</sup>/s (ca. HQ<sub>1</sub>) und 520 m<sup>3</sup>/s (ca. HQ<sub>50</sub>). In Tabelle 5 sind die Anstiegsgeschwindigkeiten der Abflüsse von 65 m<sup>3</sup>/s bis zum jeweiligen Wellenscheitel ausgewertet. Wie zu erkennen ist, lagen die Abstiegs-geschwindigkeiten bei allen Ereignissen zwischen 0,2 und 1,19 m<sup>3</sup>/s je 15-Minuten. Die Auswertung der Hochwasserganglinien bestätigt somit die globale Auswertung der Anstiegsgeschwindigkeiten und zeigt, dass der Ansatz eines Anstieges von 1,5 m<sup>3</sup>/s je 15 Minuten sogar eher auf der „sicheren Seite“ liegt.

Tabelle 5: Auswertung Hochwasserereignisse

<b>Ereignis</b>	<b>Dauer Wellenstieg [Tage]</b>	<b>Abfluss Q [m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Anstiegsgeschwindigkeit je 15 Minuten [m<sup>3</sup>/s]</b>
02/1980	8	400	0,44
03/1981	4	360	0,77
02/1985	2	220	0,81
03/1988	14 (8)	520	0,34 (0,59)*
03/1993	9 (3)	395	0,38 (1,15)*
10/1998	6,5 (2,5)	380	0,5 (1,31)*
02/2005	2,5	350	1,19
02/2006	2,8	205	0,52
01/2011	8,7 (3)	520	0,54 (1,58)*
01/2018	6	180	0,20

\* Die Werte in Klammern zeigen die maximalen Anstiegsgeschwindigkeiten

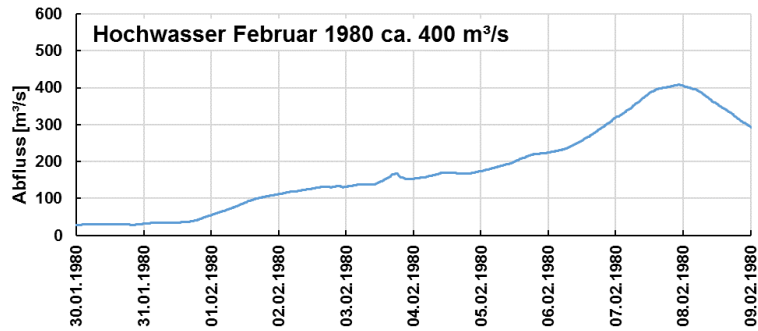


Abb. 10 Hochwasserganglinie Februar 1980

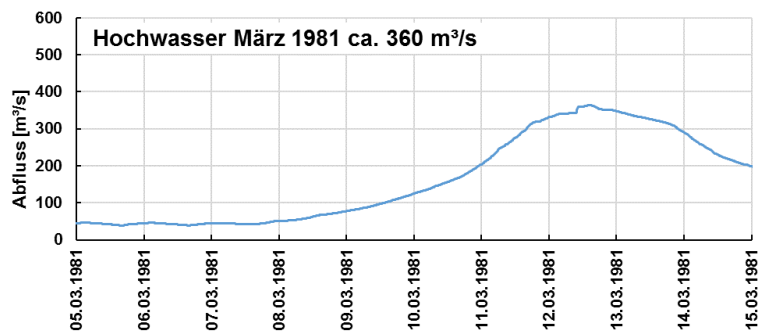


Abb. 11 Hochwasserganglinie März 1981

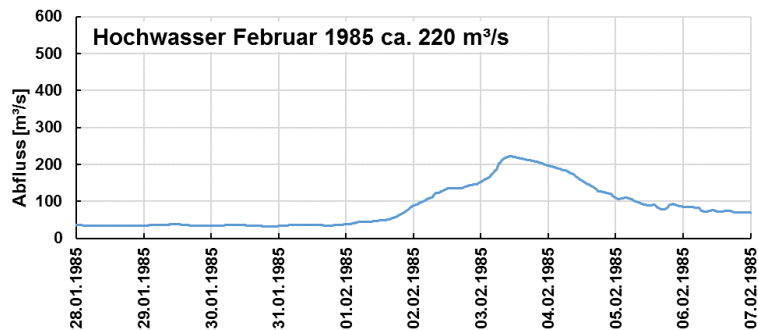


Abb. 12 Hochwasserganglinie Februar 1985

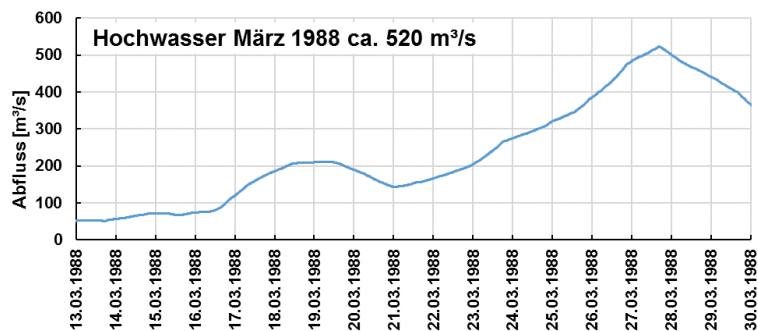


Abb. 13 Hochwasserganglinie März 1988

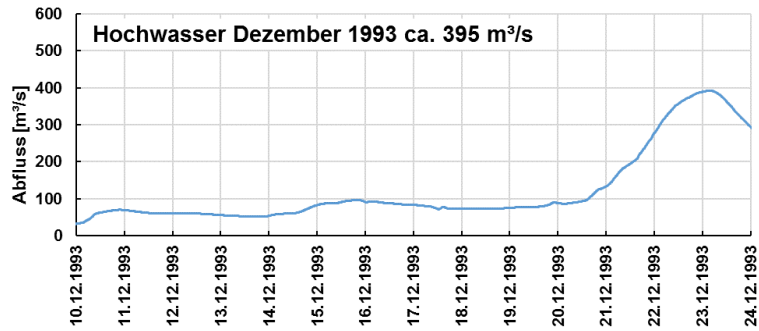


Abb. 14 Hochwasserganglinie Dezember 1993

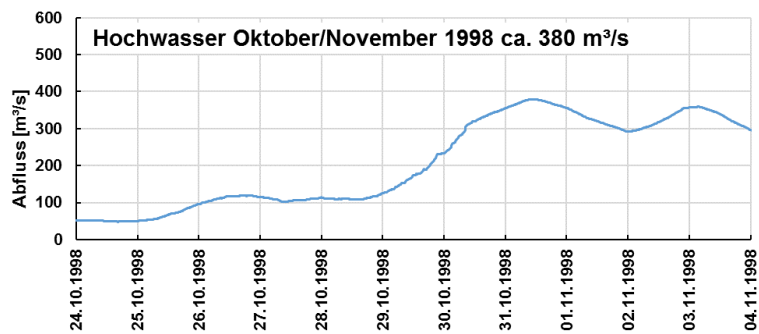


Abb. 15 Hochwasserganglinie Oktober 1998

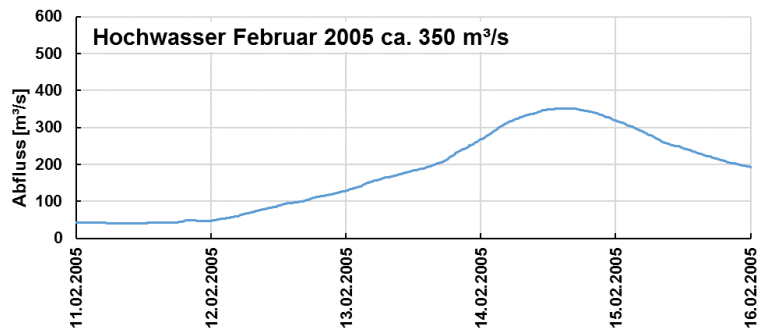


Abb. 16 Hochwasserganglinie Februar 2005

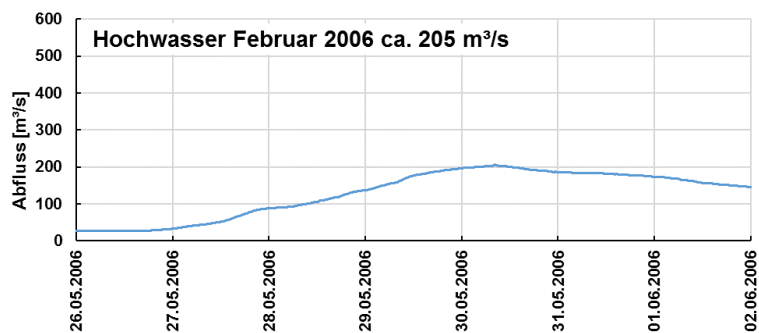


Abb. 17 Hochwasserganglinie Februar 2006

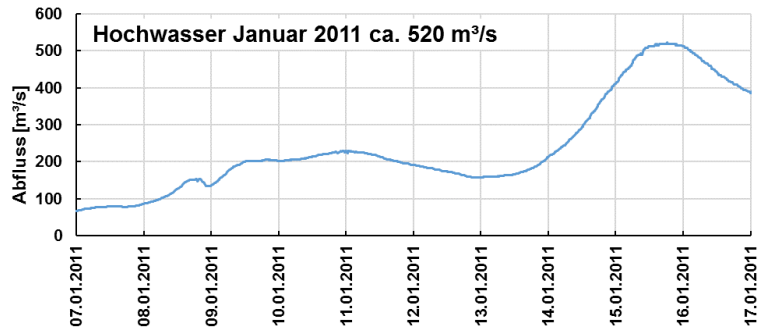


Abb. 18 Hochwasserganglinie Januar 2011

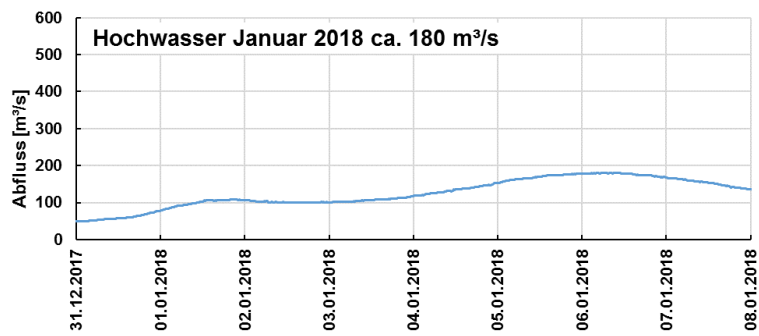


Abb. 19 Hochwasserganglinie Januar 2018

## 6 Auswertung historischer Abflussganglinie der Naab und Empfehlung zum Bauablauf

Um bereits im Planungsprozess das Risiko eines Baustellenhochwassers so weit wie möglich zu minimieren, erfolgt eine Auswertung der historischen Ganglinien. Abb. 20 zeigt eine Überlagerung der jährlichen Abflussganglinien für den Zeitraum von 1930 bis 2017.

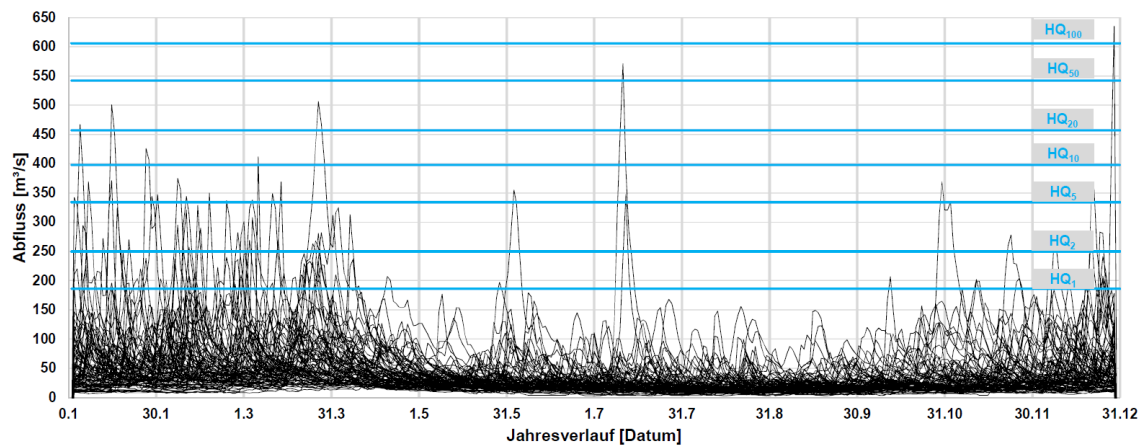


Abb. 20 Überlagerung der jährlichen Abflussganglinien (Zeitreihe 1930 - 2017)

Die Auswertung der Ganglinien zeigt, dass die Dichte an Hochwasserereignissen in den Wintermonaten deutlich höher ist.

Abb. 21 zeigt die mittleren monatlichen Hochwasserabflüsse für die Zeitreihe zwischen 1930 und 2006. Analog zur Abb. 20 ist auch hier zu erkennen, dass in den Sommermonaten (Mai bis Anfang Oktober) in der Vergangenheit deutlich seltener größere Hochwasserabflüsse (HQ<sub>1</sub> und größer) aufgetreten sind.

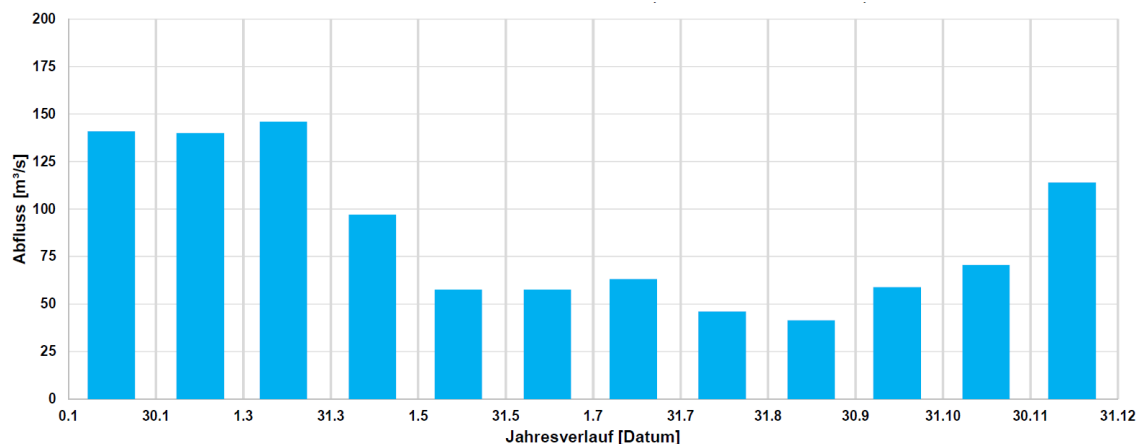


Abb. 21 Mittlere monatliche Hochwasserabflüsse (Zeitreihe 1930 - 2006)

Demzufolge sollten die baulichen Maßnahmen, bei denen ein Arbeitsplateau in der Kleinen Naab erforderlich ist (Bauphase 3 und Bauphase 7), in die Sommermonate gelegt werden.

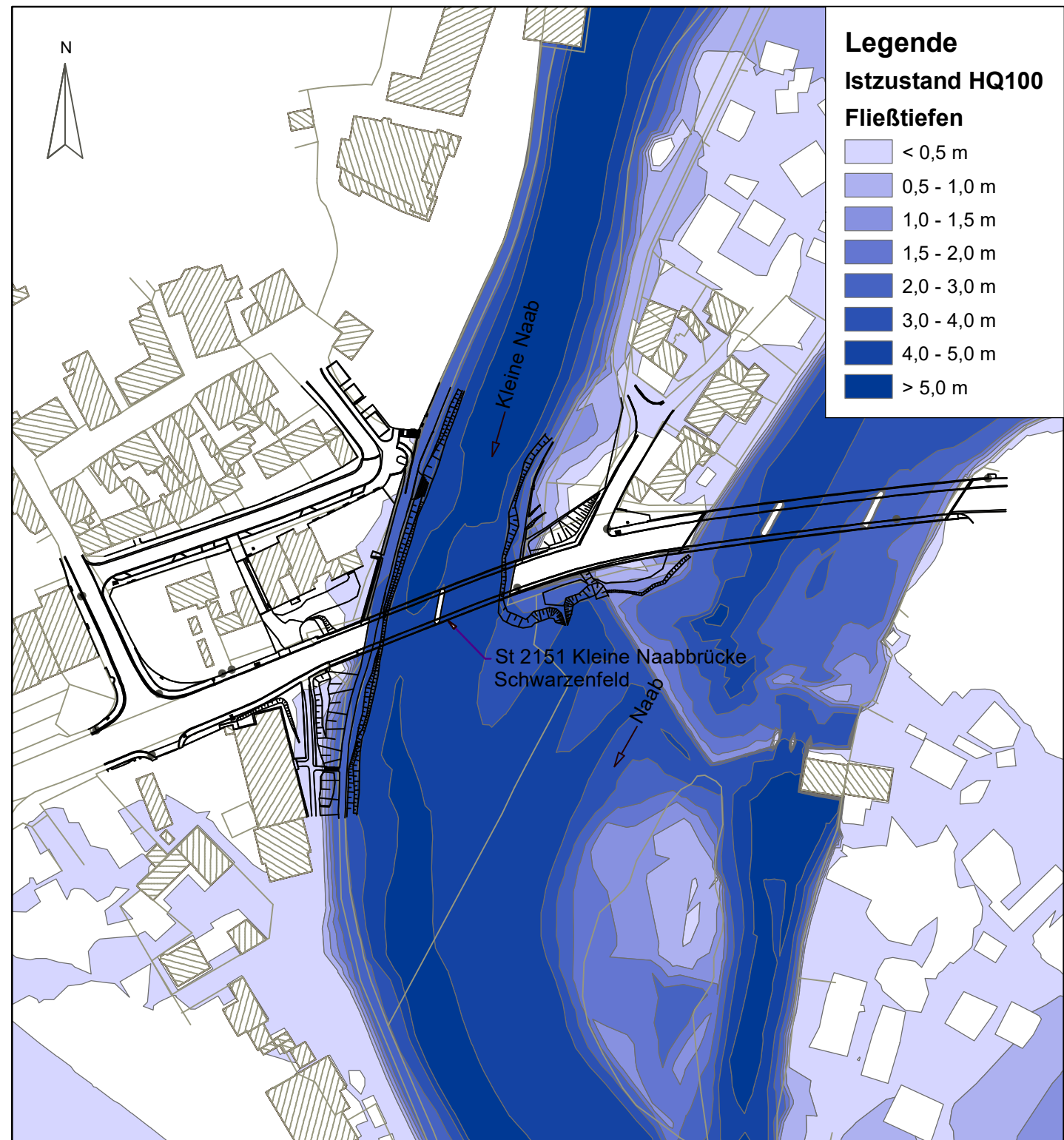
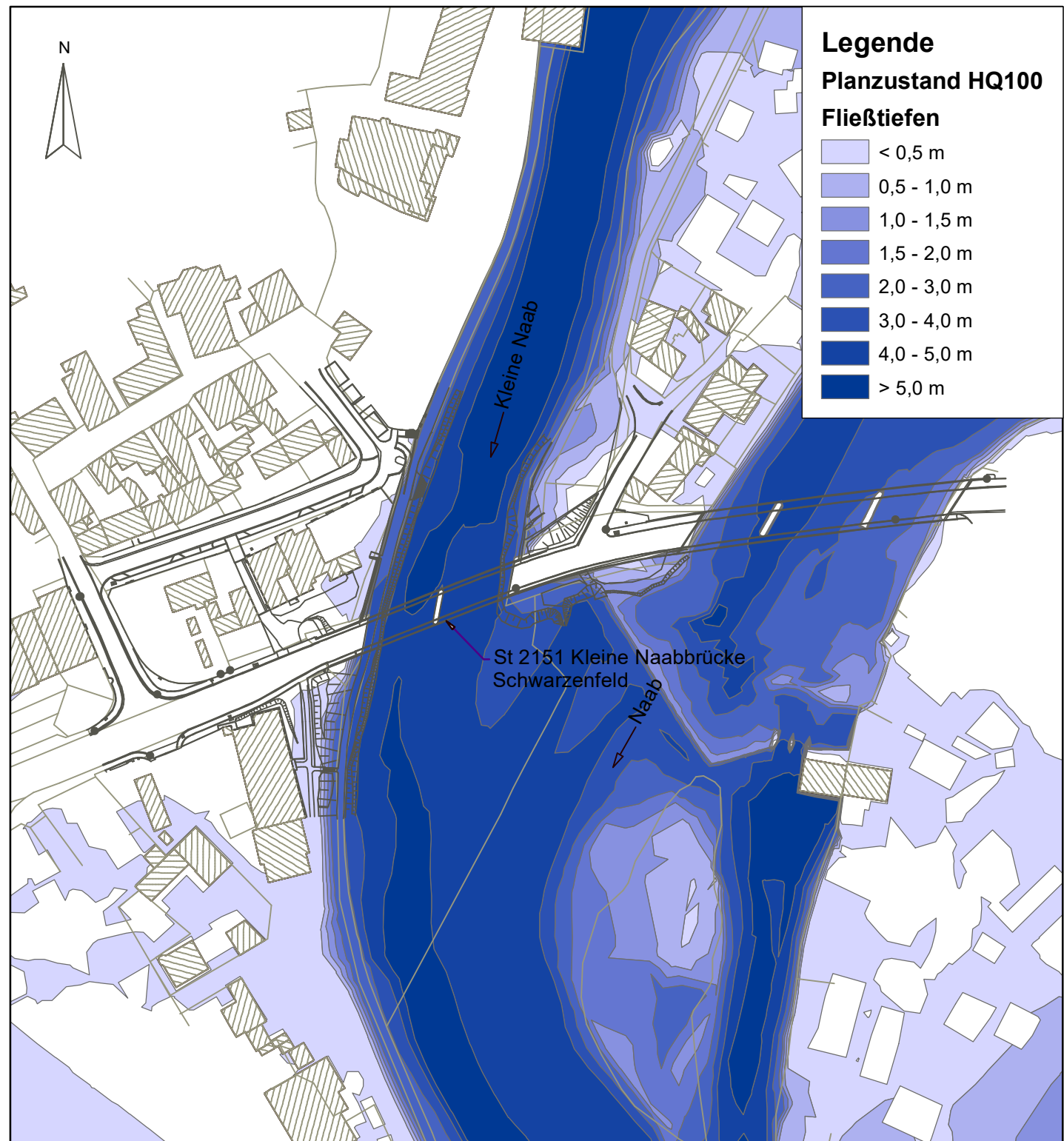
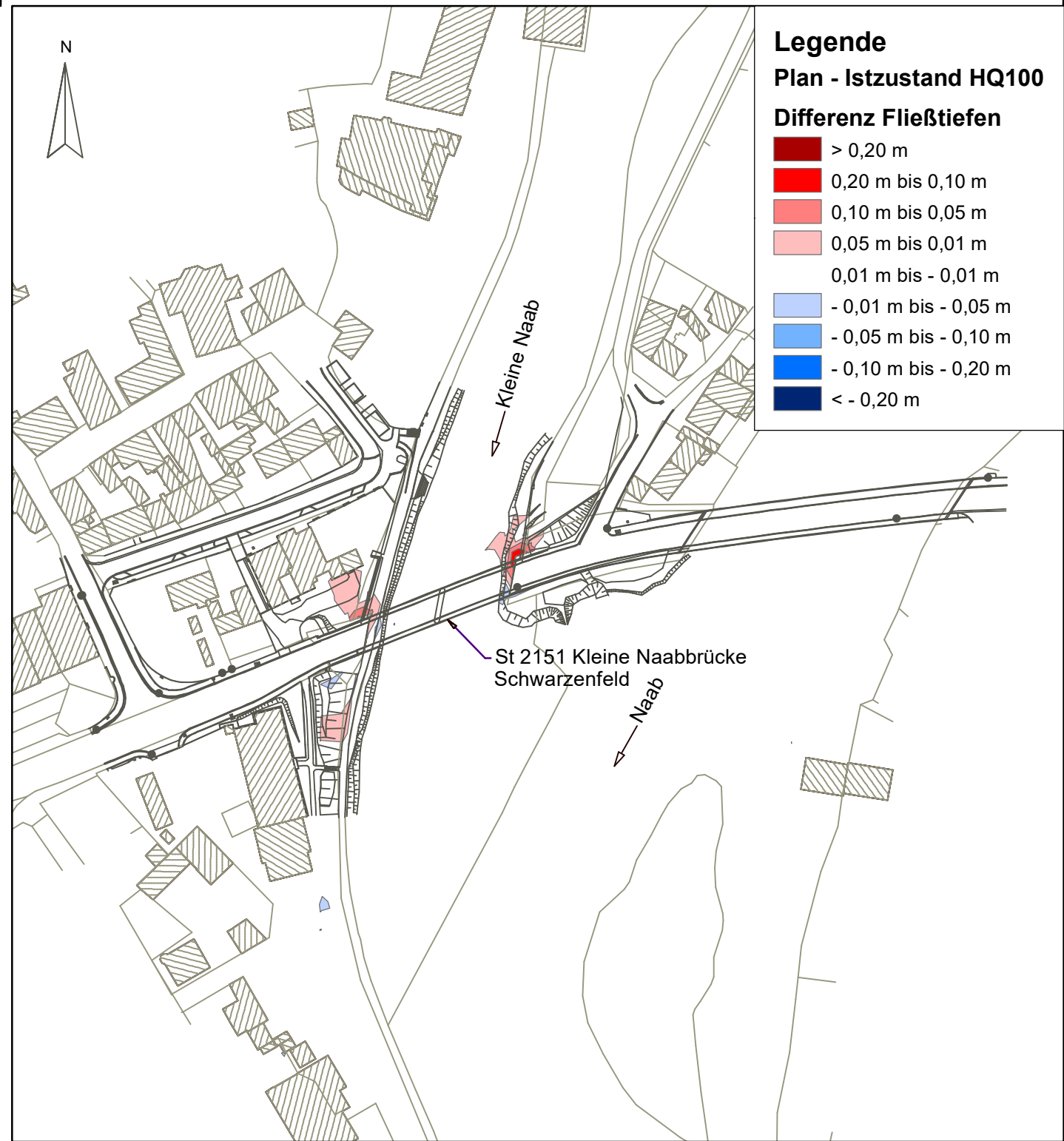
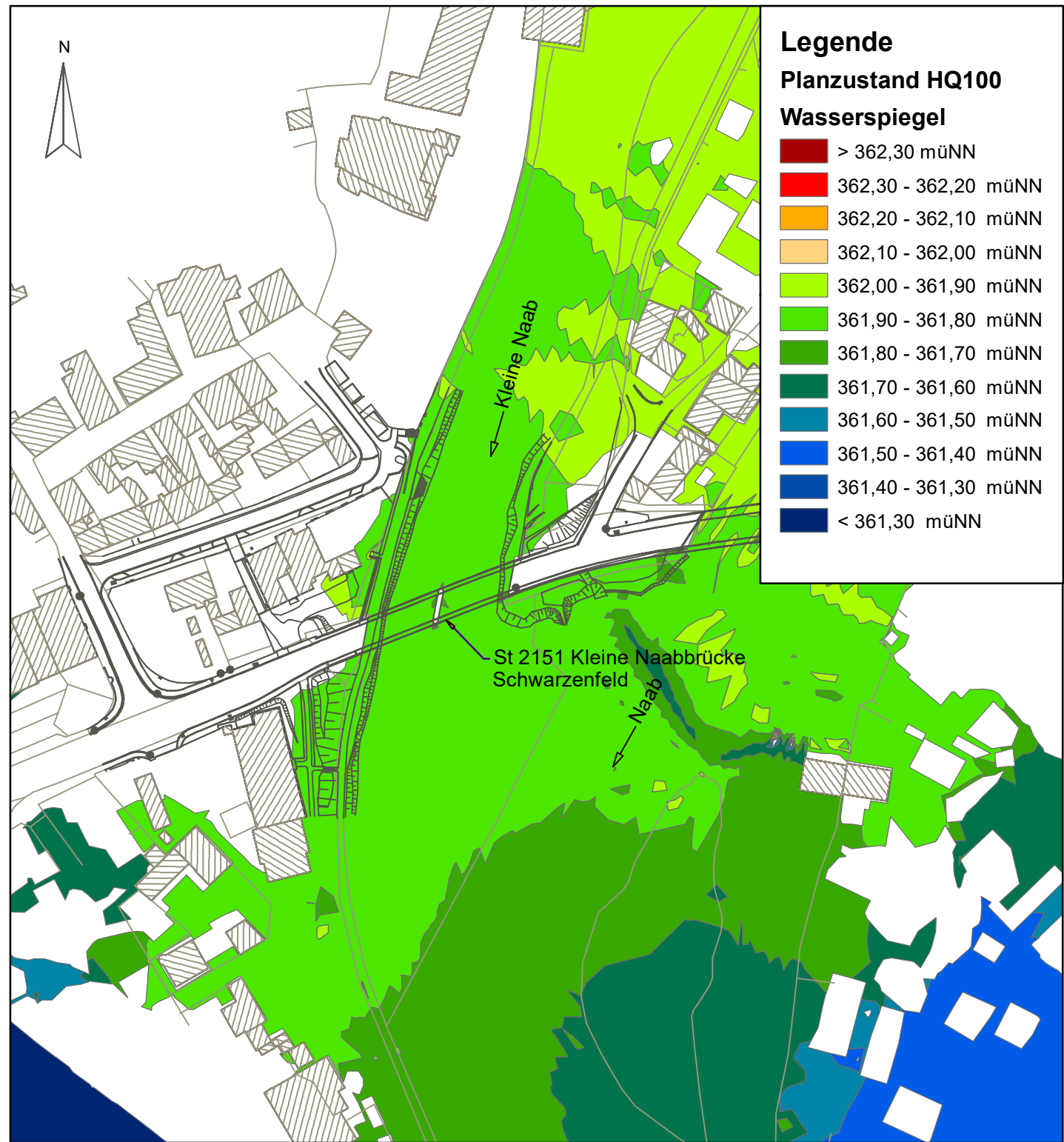
Bei einer Auswertung der statistischen Abflusswerte wurde ermittelt, dass in den Sommermonaten (Mai - Oktober) pro Jahr im Schnitt 1,5-mal ein Abfluss von  $65 \text{ m}^3/\text{s}$  überschritten wird (Überschreitungseignisse: Eine mehrere Tage andauernde Überschreitung zählt als ein Ereignis). Für die Zeit von maximal 2 Monaten, in welchen die Schüttung vorgesehen ist, muss demnach im Schnitt mit weniger als einer Überschreitung gerechnet werden.


Natürlich können auch im Sommer größere Hochwässer auftreten, wie die Ereignisse am 12.07.48 mit  $347 \text{ m}^3/\text{s}$ , am 12.07.1954 mit  $571 \text{ m}^3/\text{s}$  und am 04.06.2013 mit  $355 \text{ m}^3/\text{s}$  gezeigt haben.

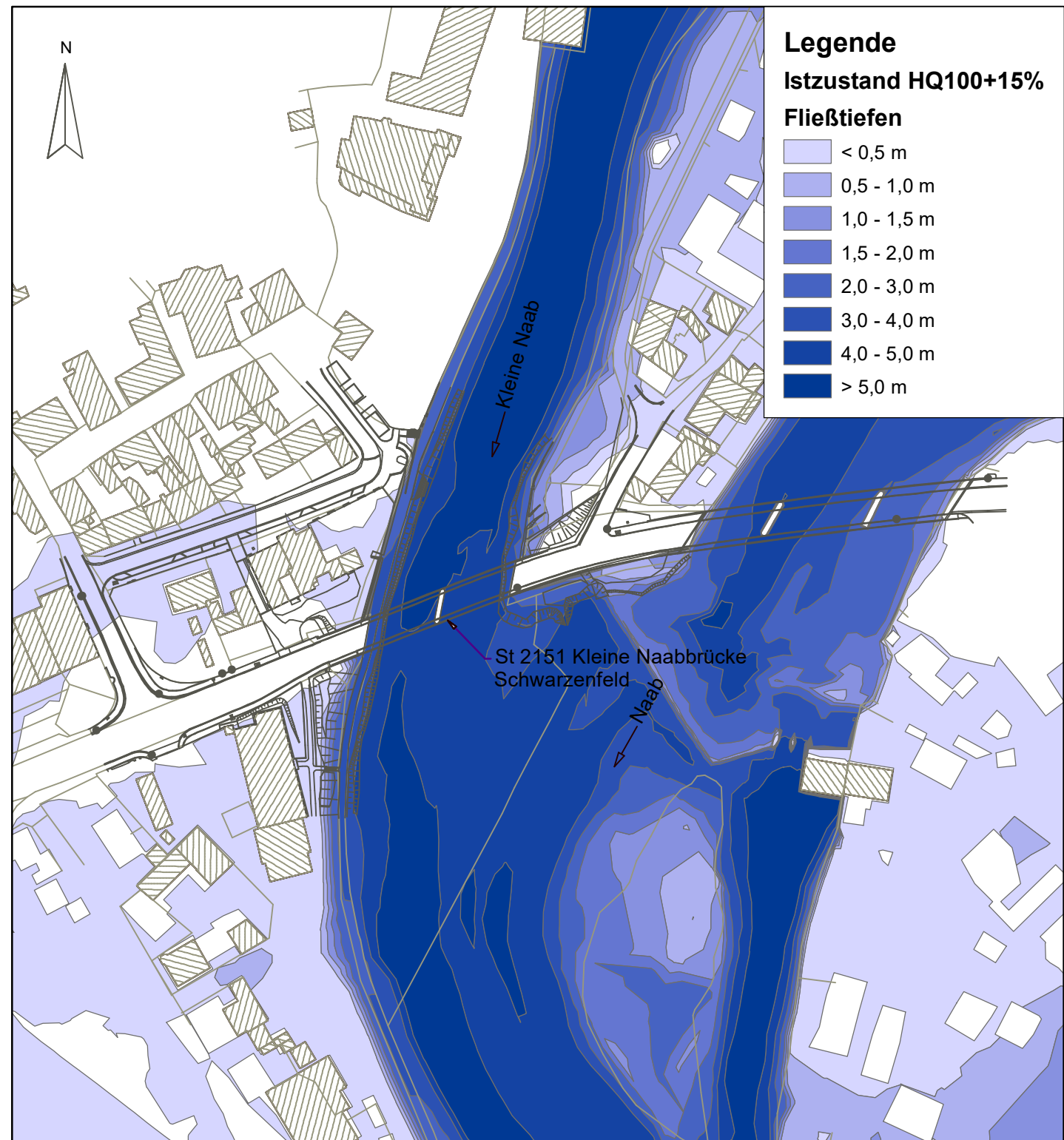
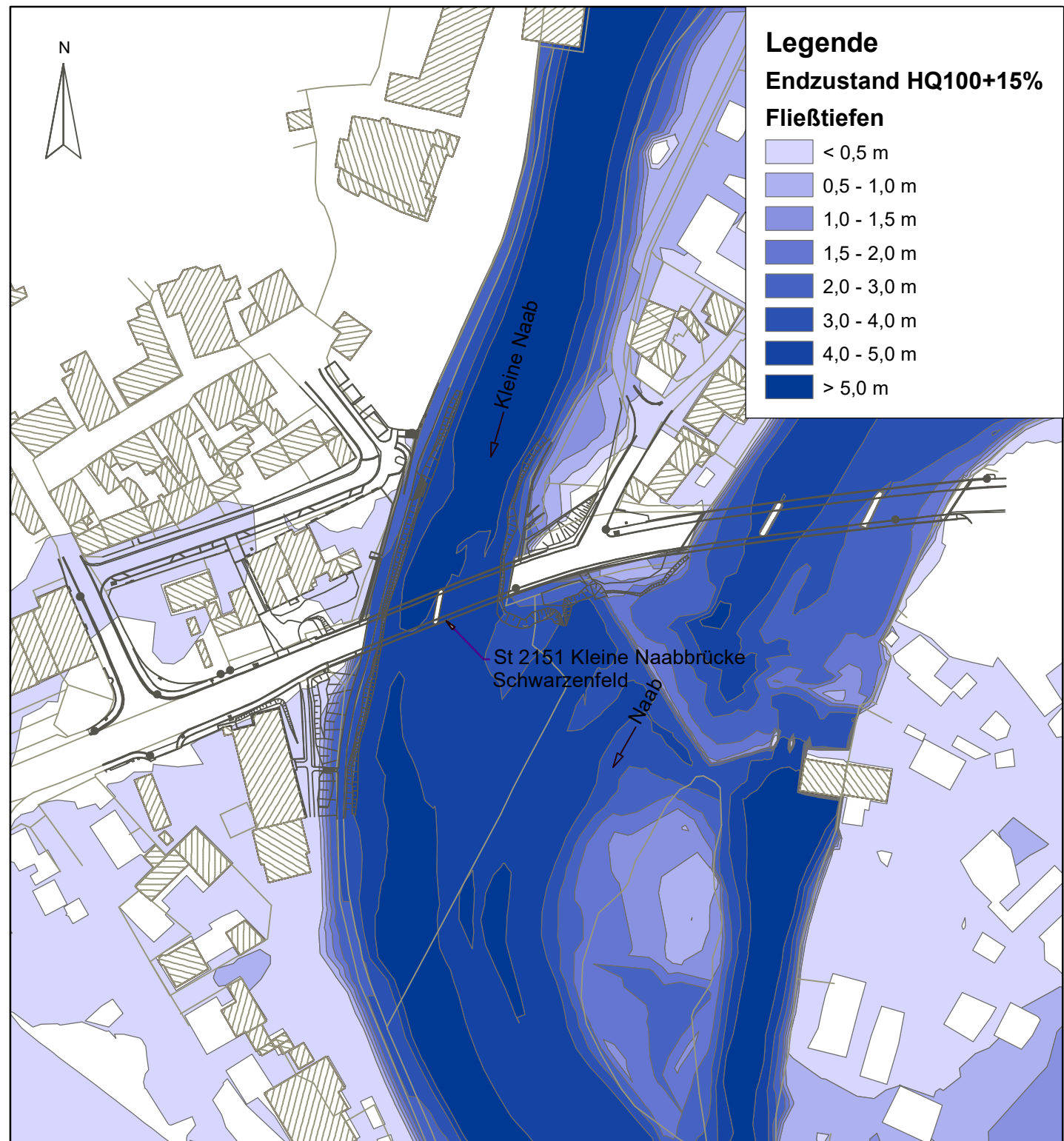
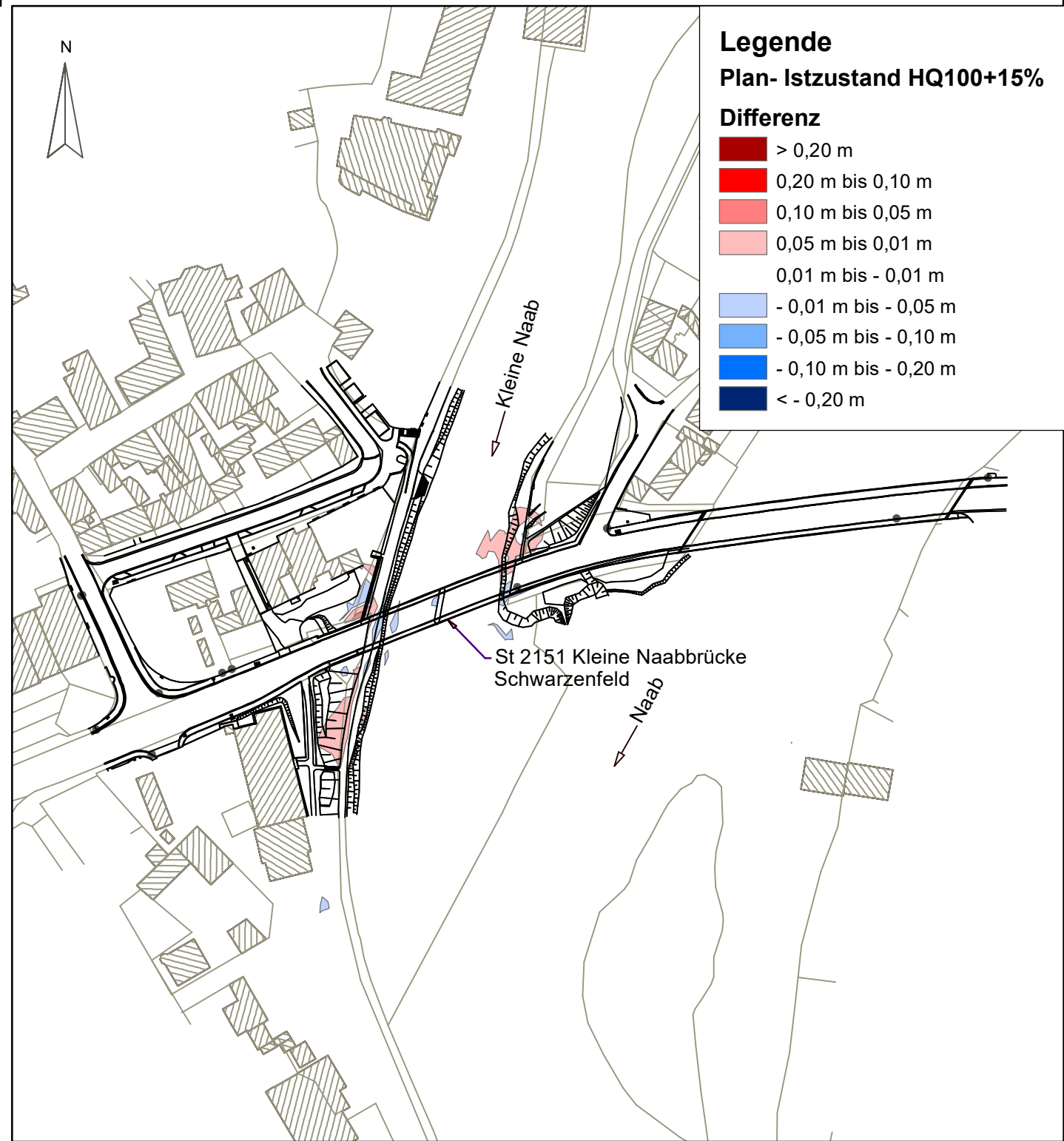
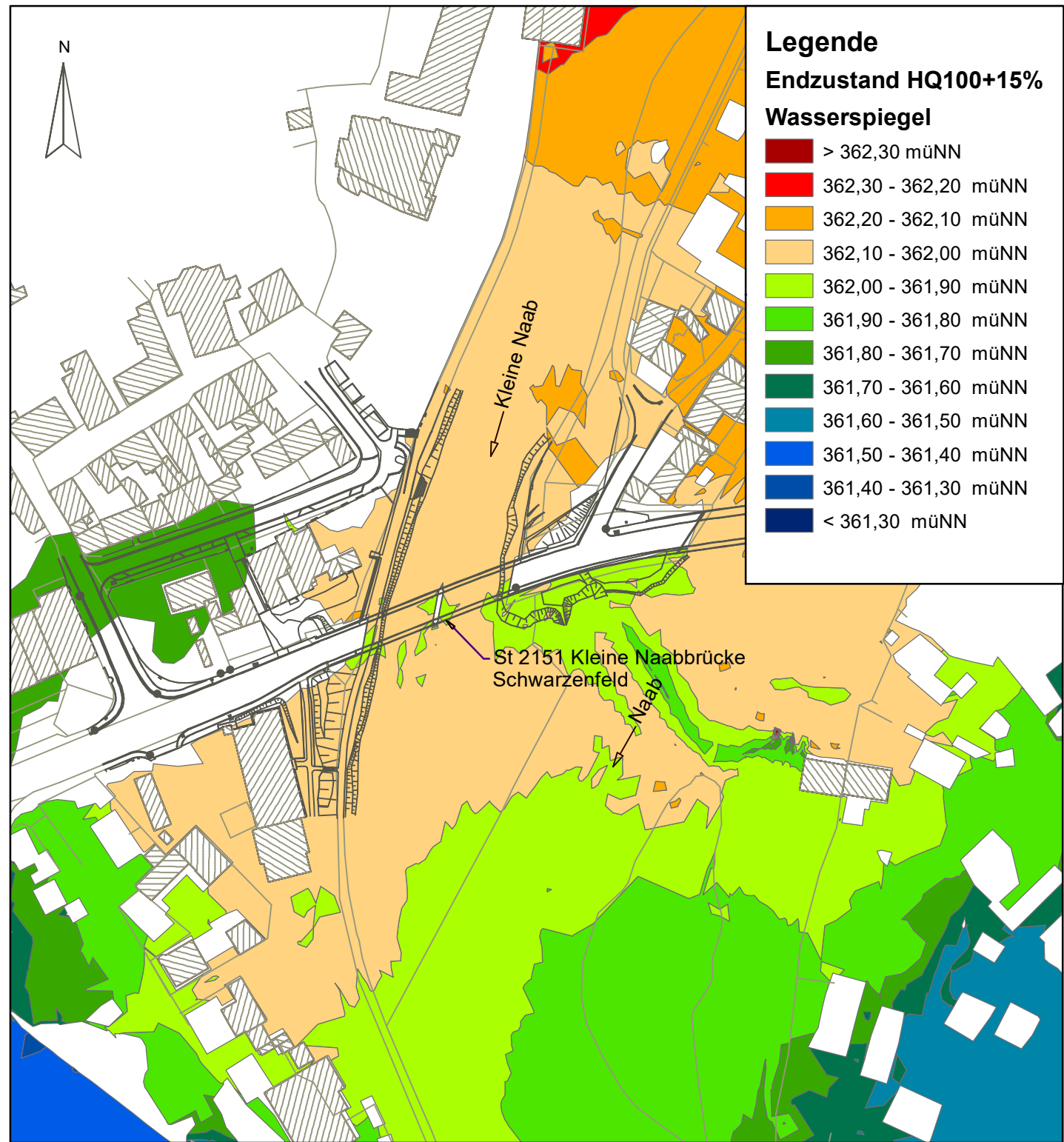
### **Anlagenverzeichnis**

- Anlage 1 Vergleich Ist- und Planzustand - Wasserspiegel und Fließtiefen,  $HQ_{100}$
- Anlage 2 Vergleich Ist- und Planzustand - Wasserspiegel und Fließtiefen,  $HQ_{100} + 15\%$  Klimazuschlag
- Anlage 3 Vergleich Ist- und Bauzustand
- Anlage 3.1 Wasserspiegel und Fließtiefen,  $Q = 65 \text{ m}^3/\text{s}$
- Anlage 3.2 Wasserspiegel und Fließtiefen,  $HQ_{20}$
- Anlage 3.3 Flurstücke mit Wasserspiegelanstieg,  $HQ_{20}$
- Anlage 3.4 Schubspannungen,  $HQ_{20}$
- Anlage 3.5 Schubspannungen,  $HQ_{100}$

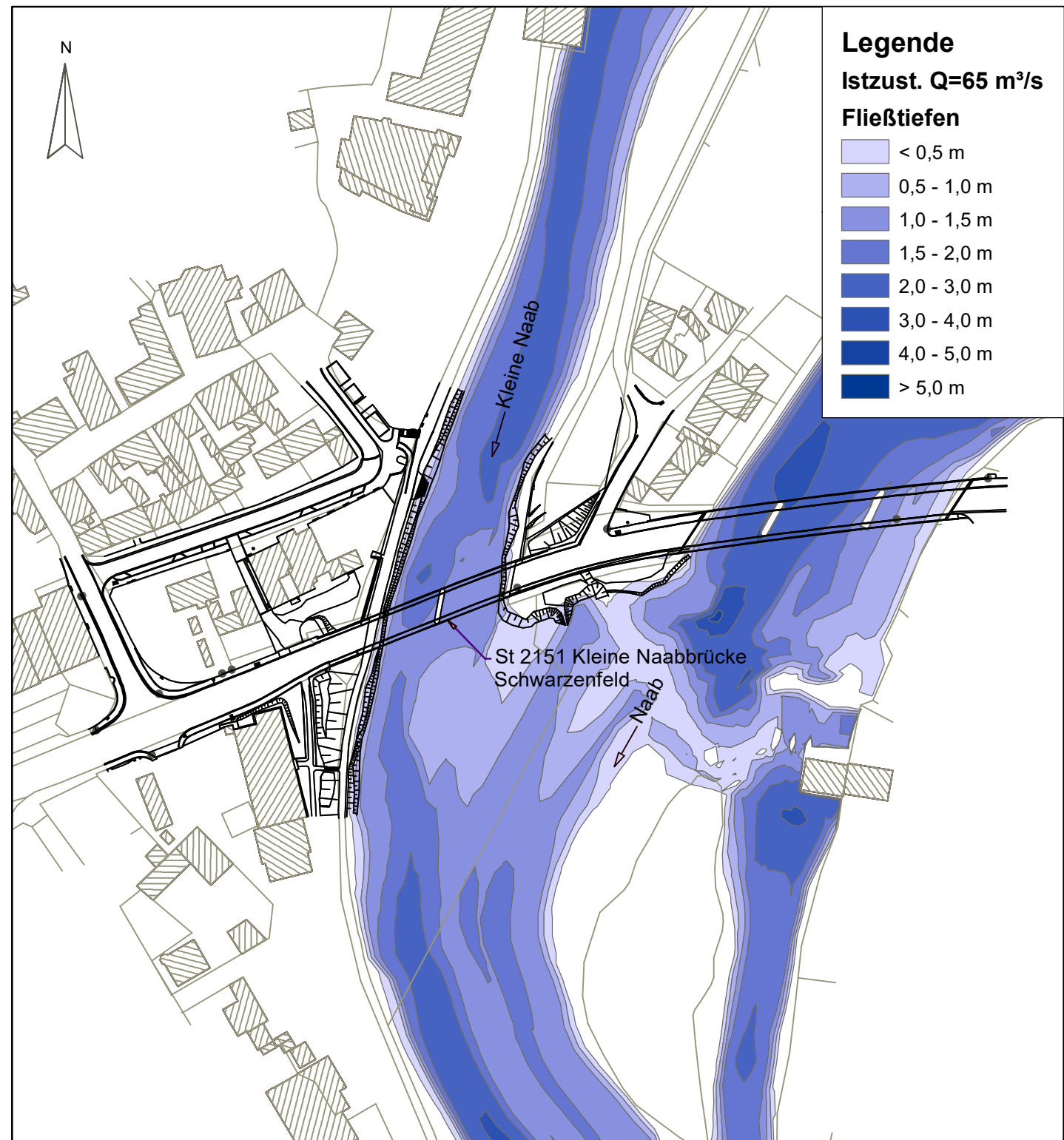
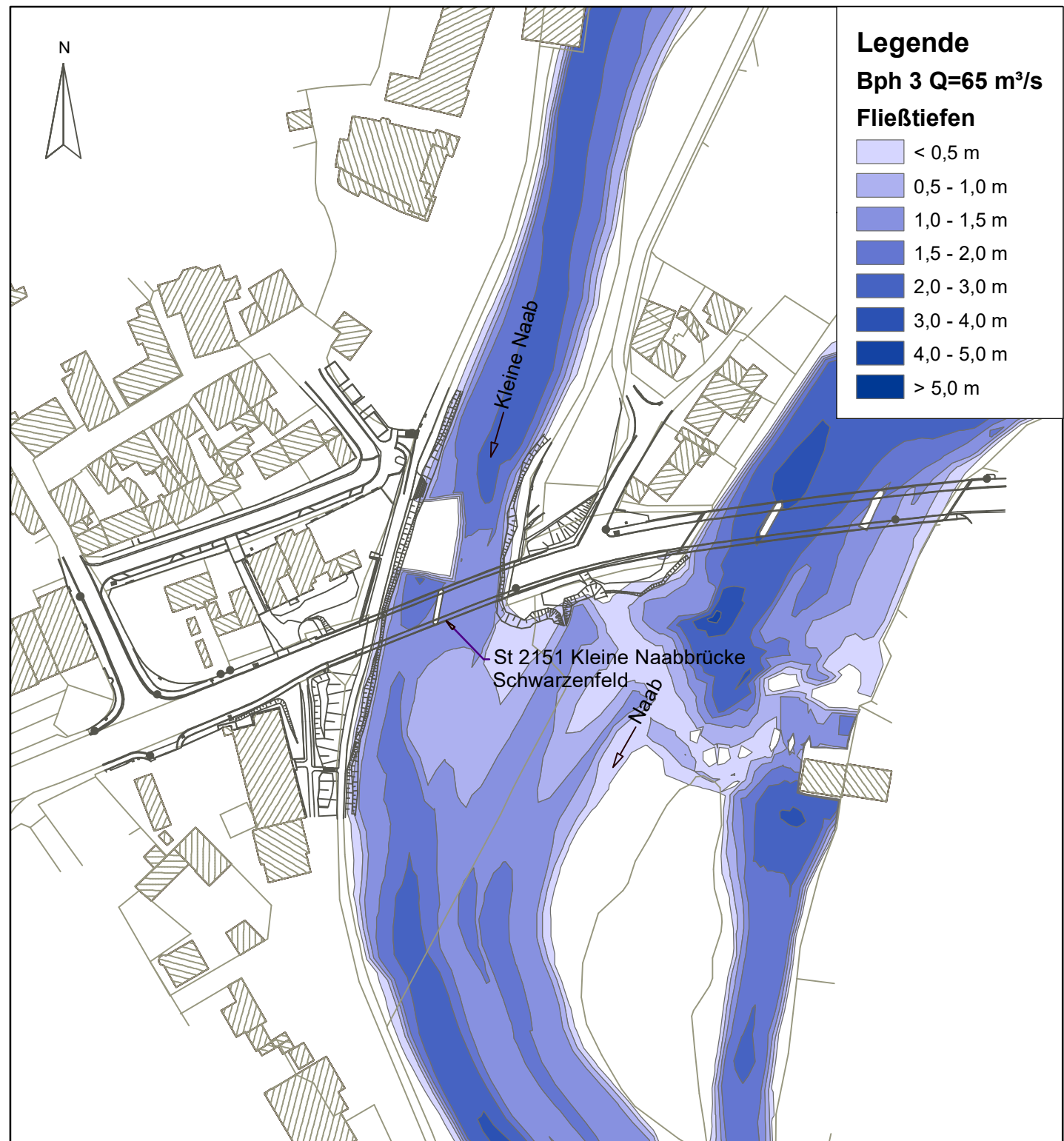
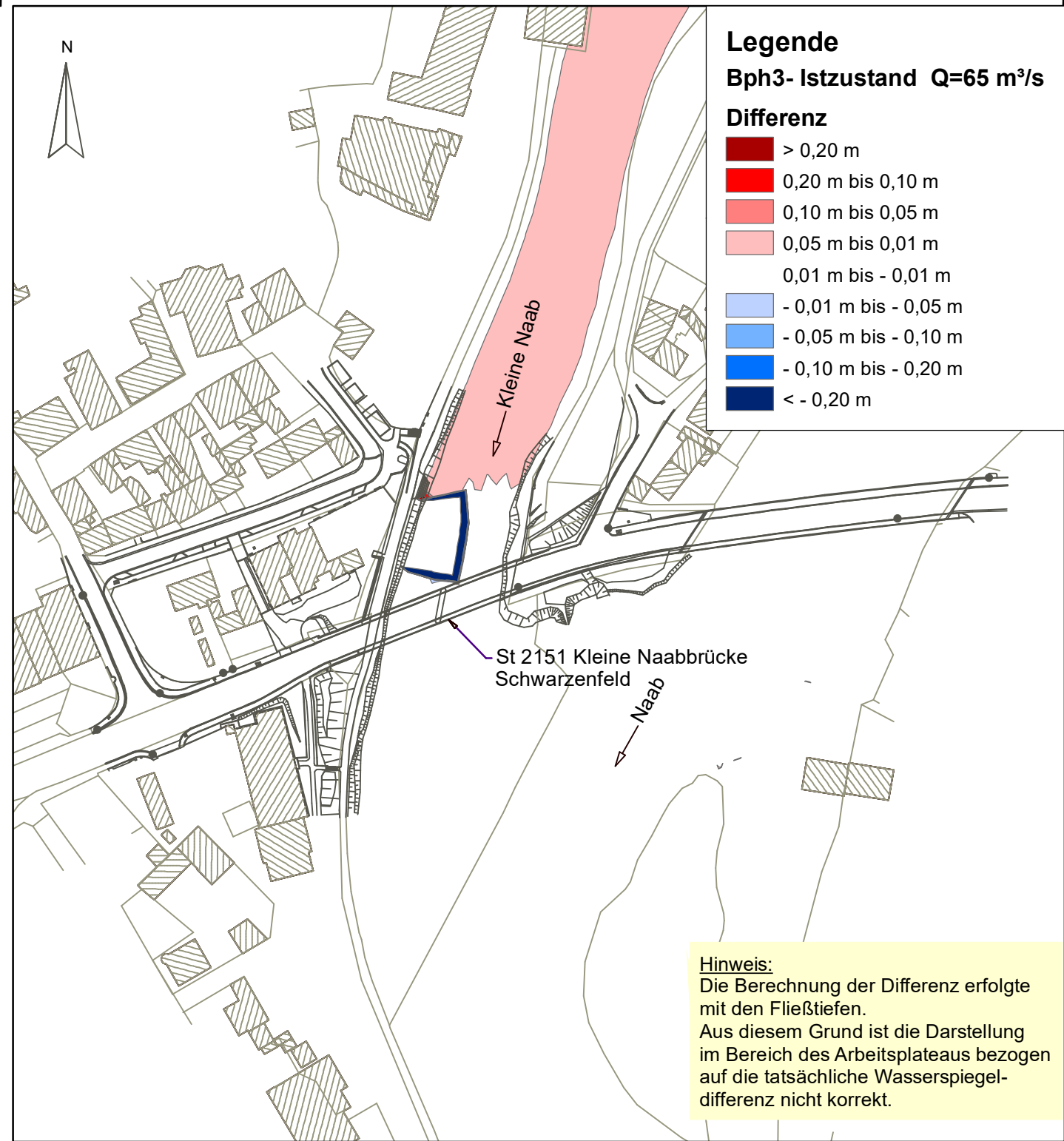
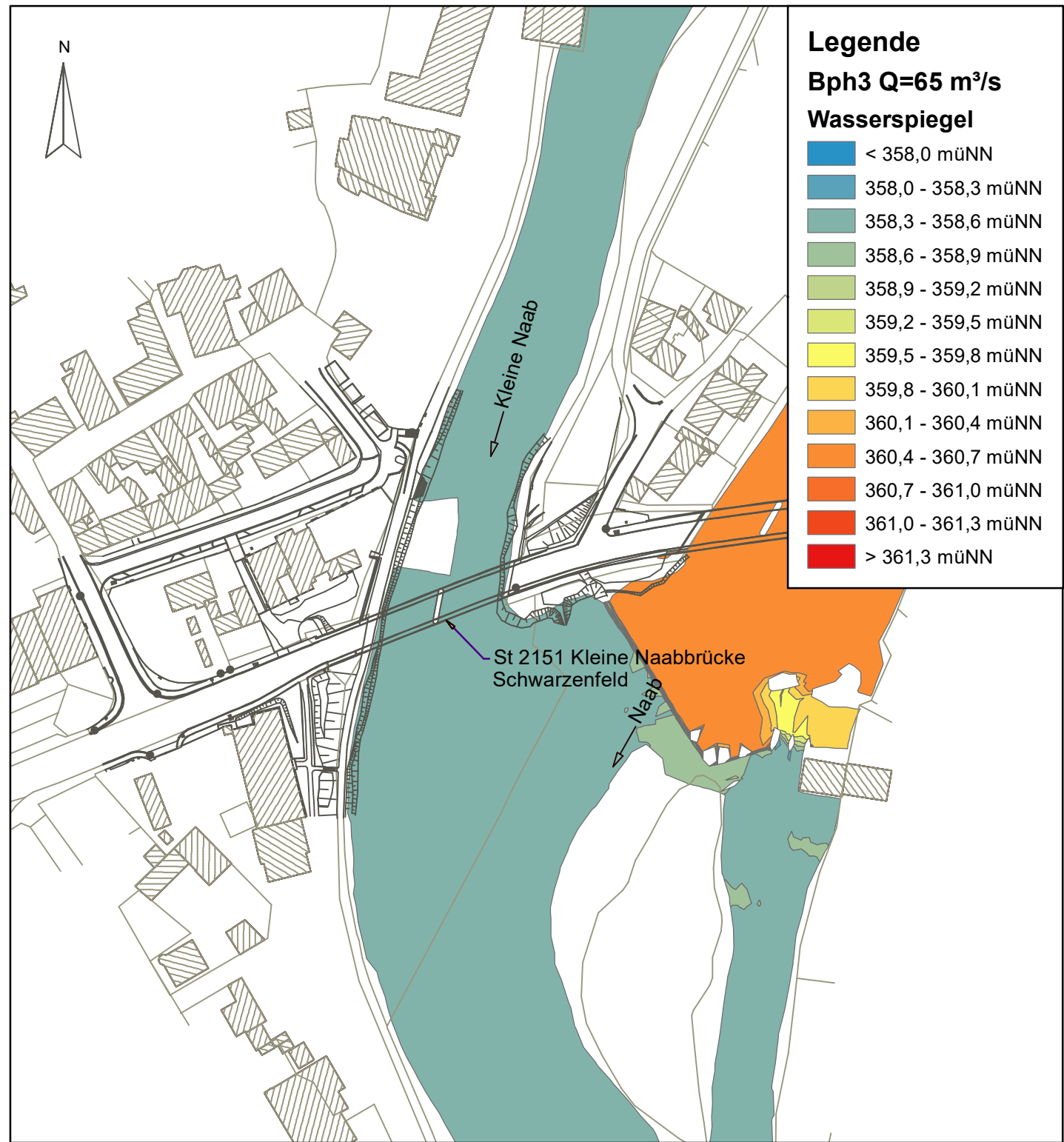




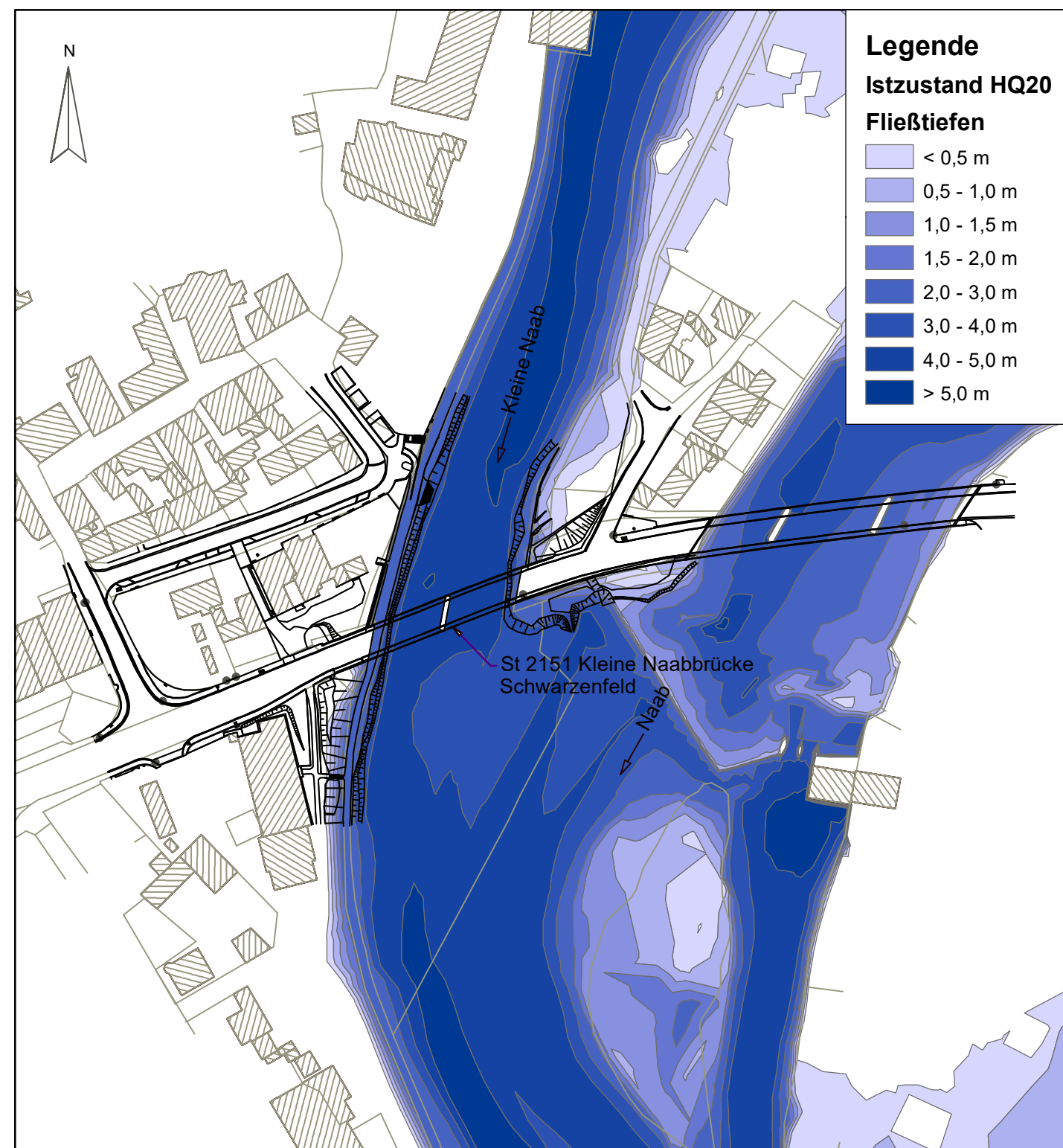
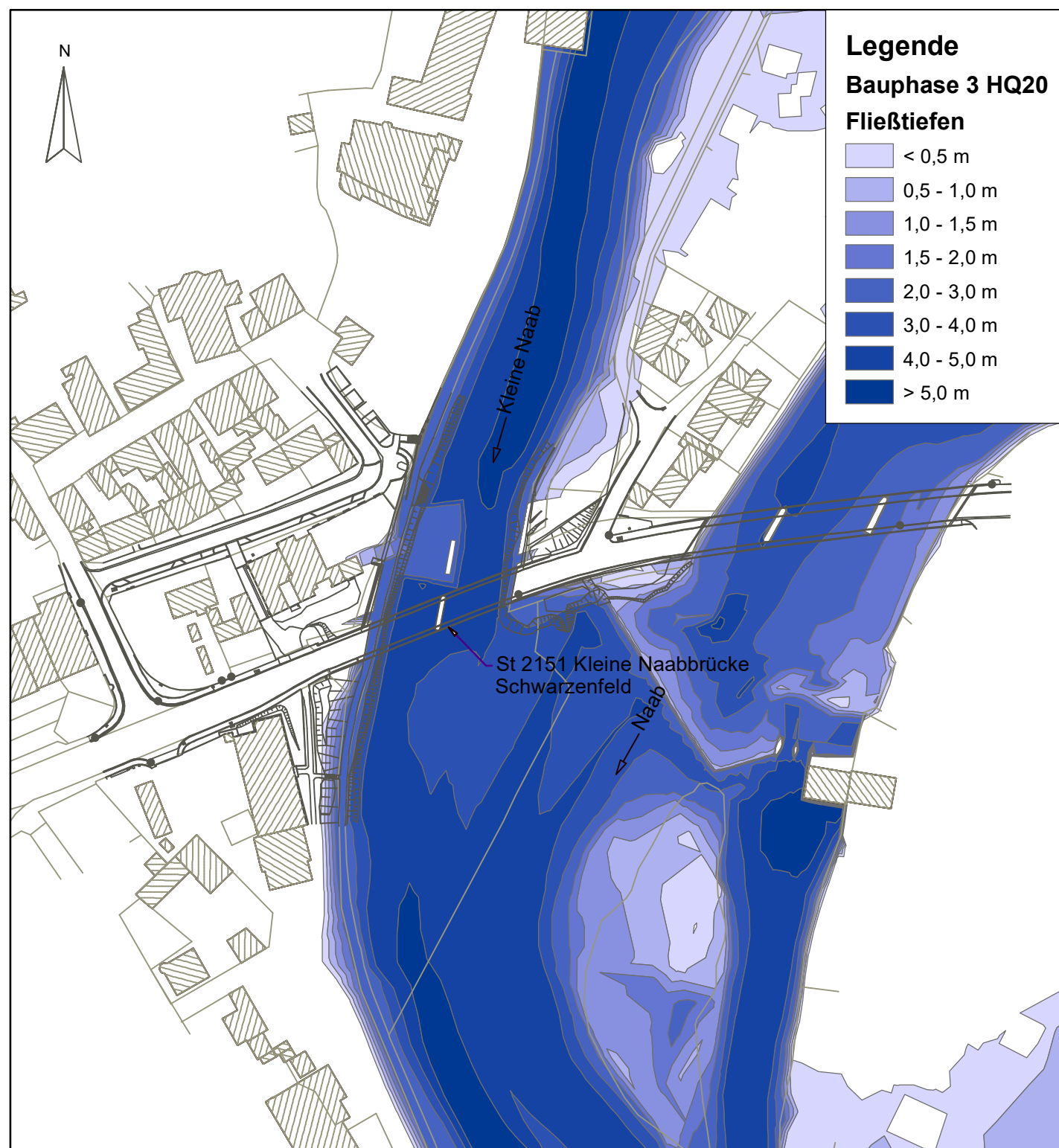
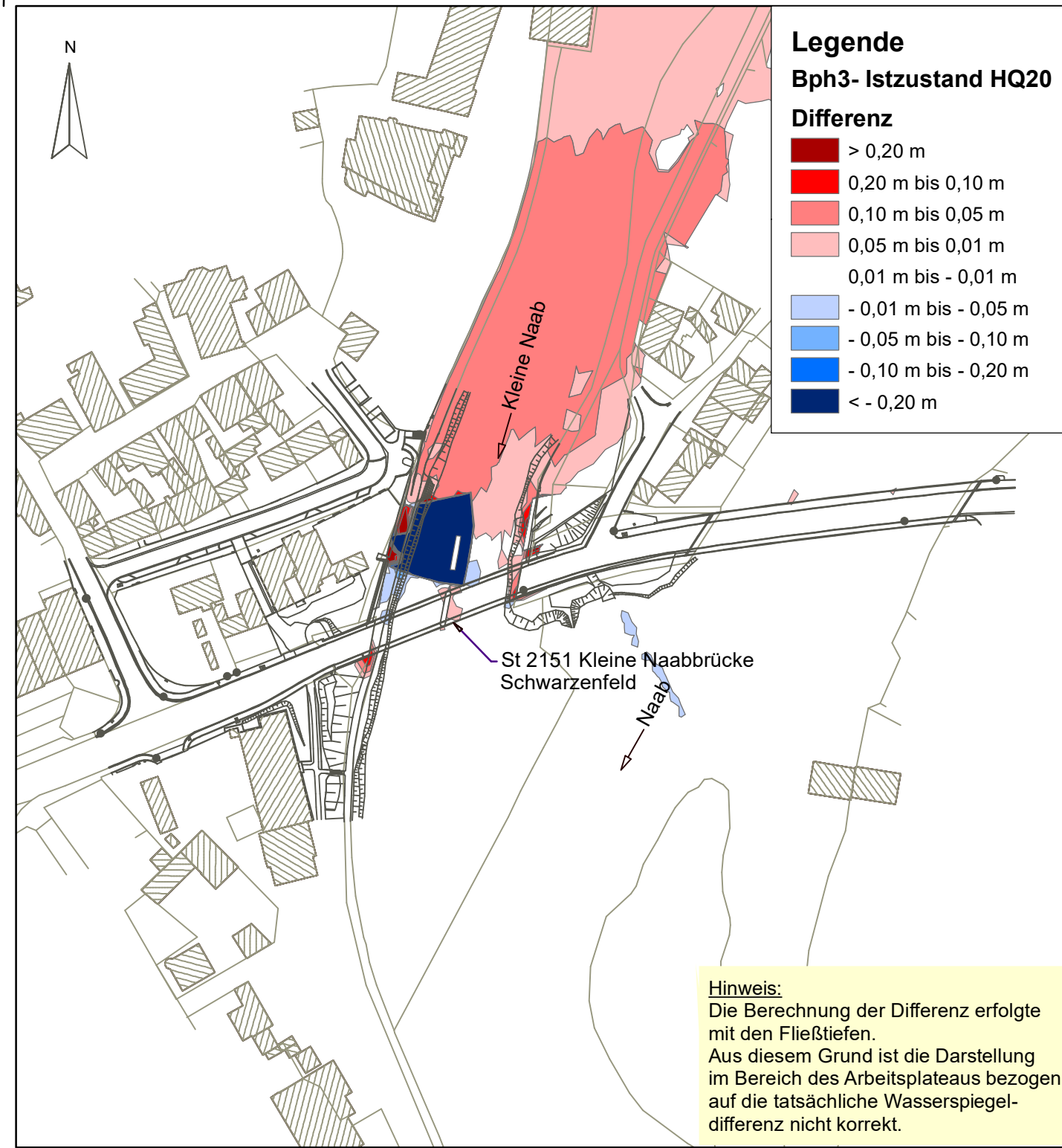
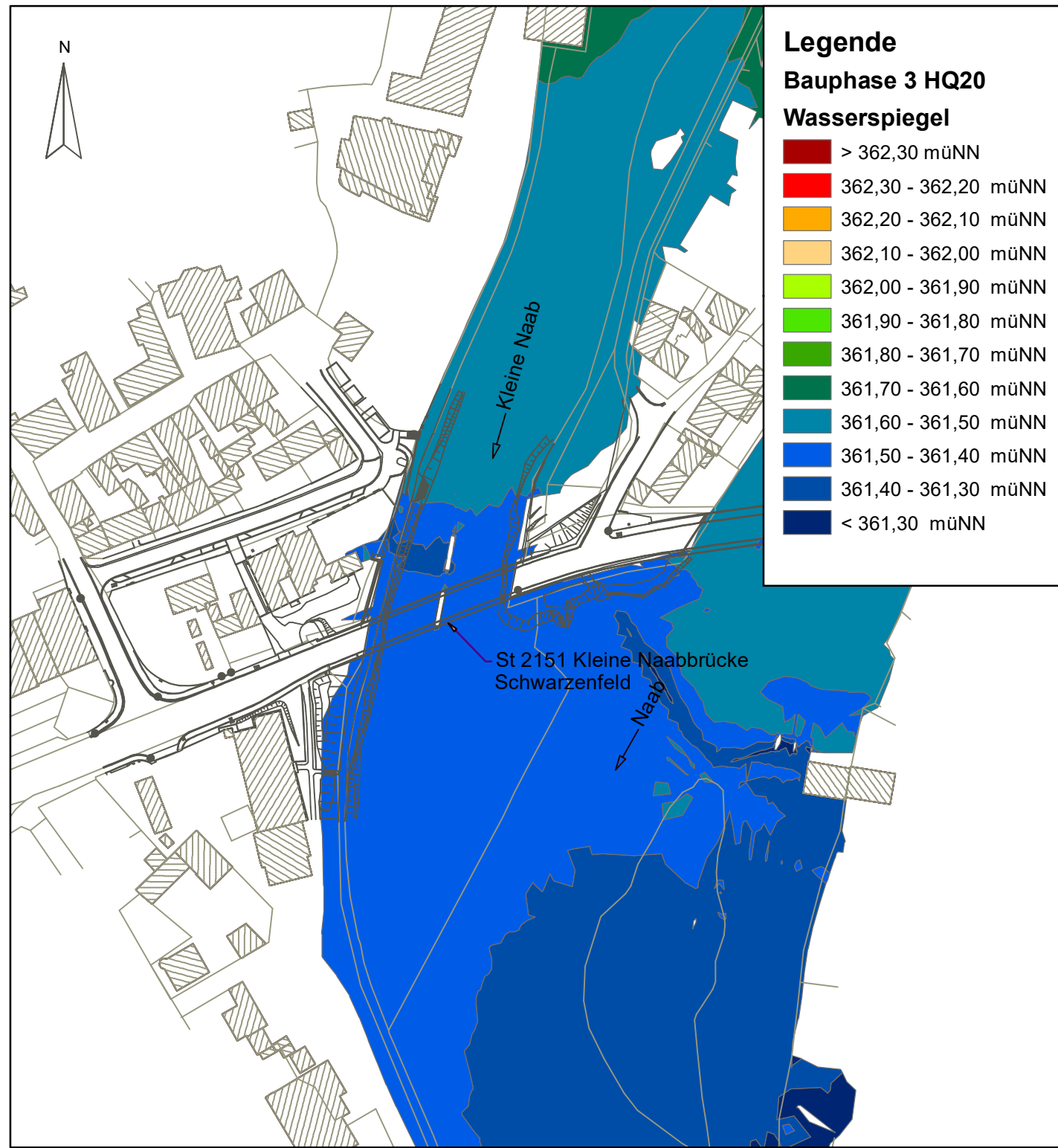
Index	Änderungen	geänd. am	Name	gepr. am	Name												
Projekt: St 2151, Erneuerung Kleine Naabbrücke Schwarzenfeld Hydraulische Berechnungen zur Entwurfsplanung		Anlage: 1															
Maßstab: 1: 1.000		Planinhalt: Vergleich Ist- und Planzustand Wasserspiegel und Fließtiefen, HQ <sub>100</sub>		<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Tag</th> <th>Name</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>entw.</td> <td>10.09.18</td> <td>Dehnz</td> </tr> <tr> <td>gez.</td> <td>10.09.18</td> <td>Dehnz</td> </tr> <tr> <td>gepr.</td> <td>10.09.18</td> <td>Spannring</td> </tr> </tbody> </table>			Tag	Name	entw.	10.09.18	Dehnz	gez.	10.09.18	Dehnz	gepr.	10.09.18	Spannring
	Tag	Name															
entw.	10.09.18	Dehnz															
gez.	10.09.18	Dehnz															
gepr.	10.09.18	Spannring															
Auftraggeber: Freistaat Bayern Städtliches Bauamt Amberg-Weizsach		Entwurfsverfasser:  SKI GmbH+Co.KG Lessingstraße 9 80336 München www.ski-ing.de															
..... (Datum)		..... (Unterschrift)		..... (Datum) ..... (Unterschrift)													






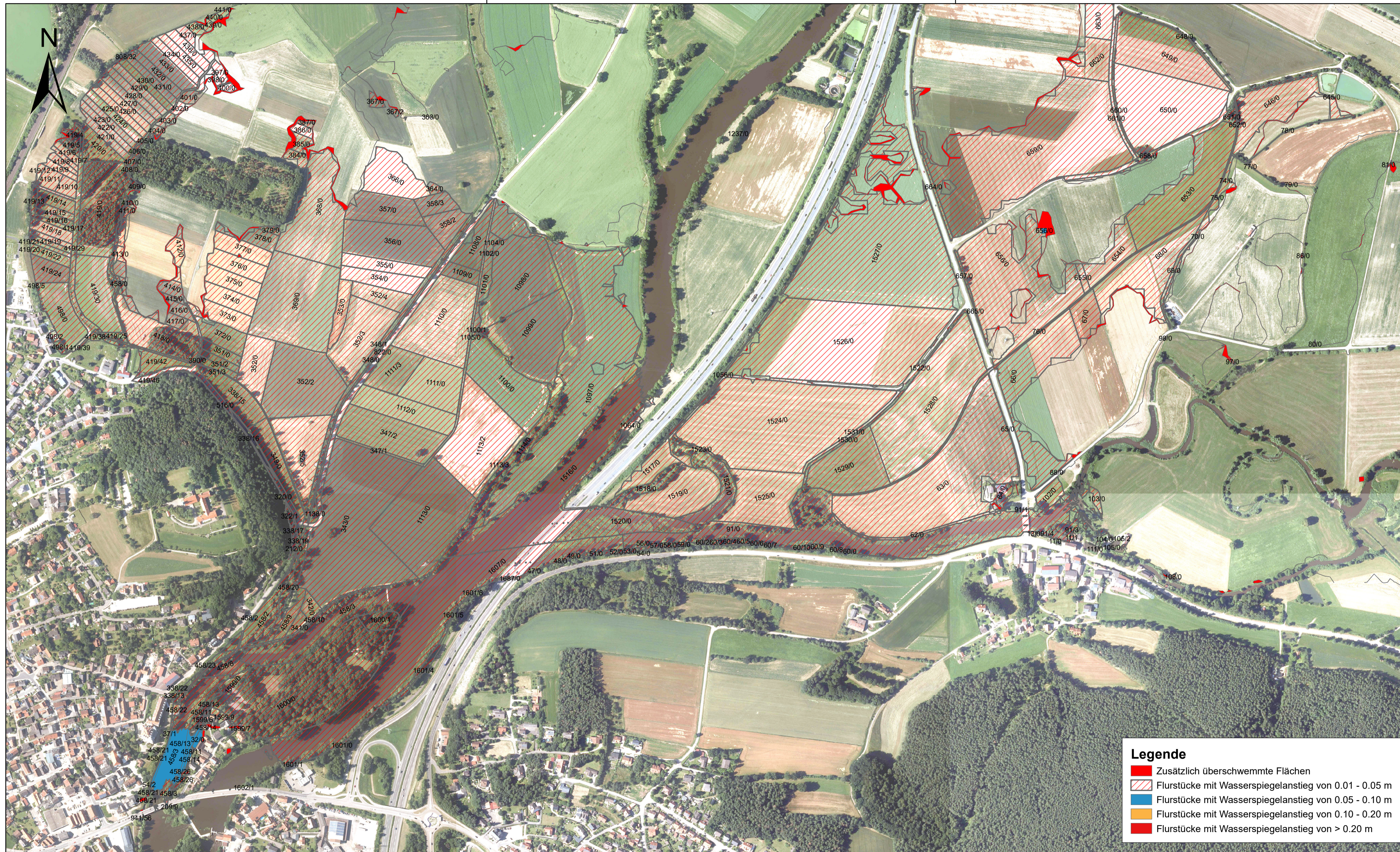
Index	Änderungen	geänd. am	Name	gepr. am	Name
Projekt:			Anlage: 2		
St 2151, Erneuerung Kleine Naabbrücke Schwarzenfeld Hydraulische Berechnungen zur Entwurfsplanung			Plan-Nr.:		
Maßstab:	Planinhalt:	entw.	Tag	gepr.	Name
1: 1.000	Vergleich Ist- und Planzustand Wasserspiegel und Fließtiefen, HQ <sub>100</sub> + 15 %	10.09.18	Dehnz	10.09.18	Dehnz
		gepr.	10.09.18	Spannring	
Auftraggeber: Freistaat Bayern Städtliches Bauamt Amberg-Weizsach		Entwurfsverfasser: SKI GmbH+Co.KG Lessingstraße 9 80336 München www.ski-ing.de			
(Datum)	(Unterschrift)	(Datum)	(Unterschrift)	(Datum)	(Unterschrift)



Index	Änderungen	geänd. am	Name	gepr. am	Name
Projekt:			Anlage: 3.1		
St 2151, Erneuerung Kleine Naabbrücke Schwarzenfeld			Plan-Nr.:		
Hydraulische Berechnungen zur Entwurfsplanung			Tag	Name	
Maßstab:	Planinhalt:	entw.	10.09.18	Dehnz	
1: 1.000	Vergleich Ist- und Bauzustand	gez.	10.09.18	Dehnz	
	Wasserspiegel und Fließtiefen, Q = 65 m³/s	gepr.	10.09.18	Spannring	
Auftraggeber:		Entwurfsverfasser:		SKI	
Freistaat Bayern		SKI GmbH+Co.KG		Lessingstraße 9	
Städtliches Bauamt Amberg-Weizsach		80336 München		www.ski-ing.de	
(Datum)	(Unterschrift)	(Datum)	(Unterschrift)	(Datum)	(Unterschrift)



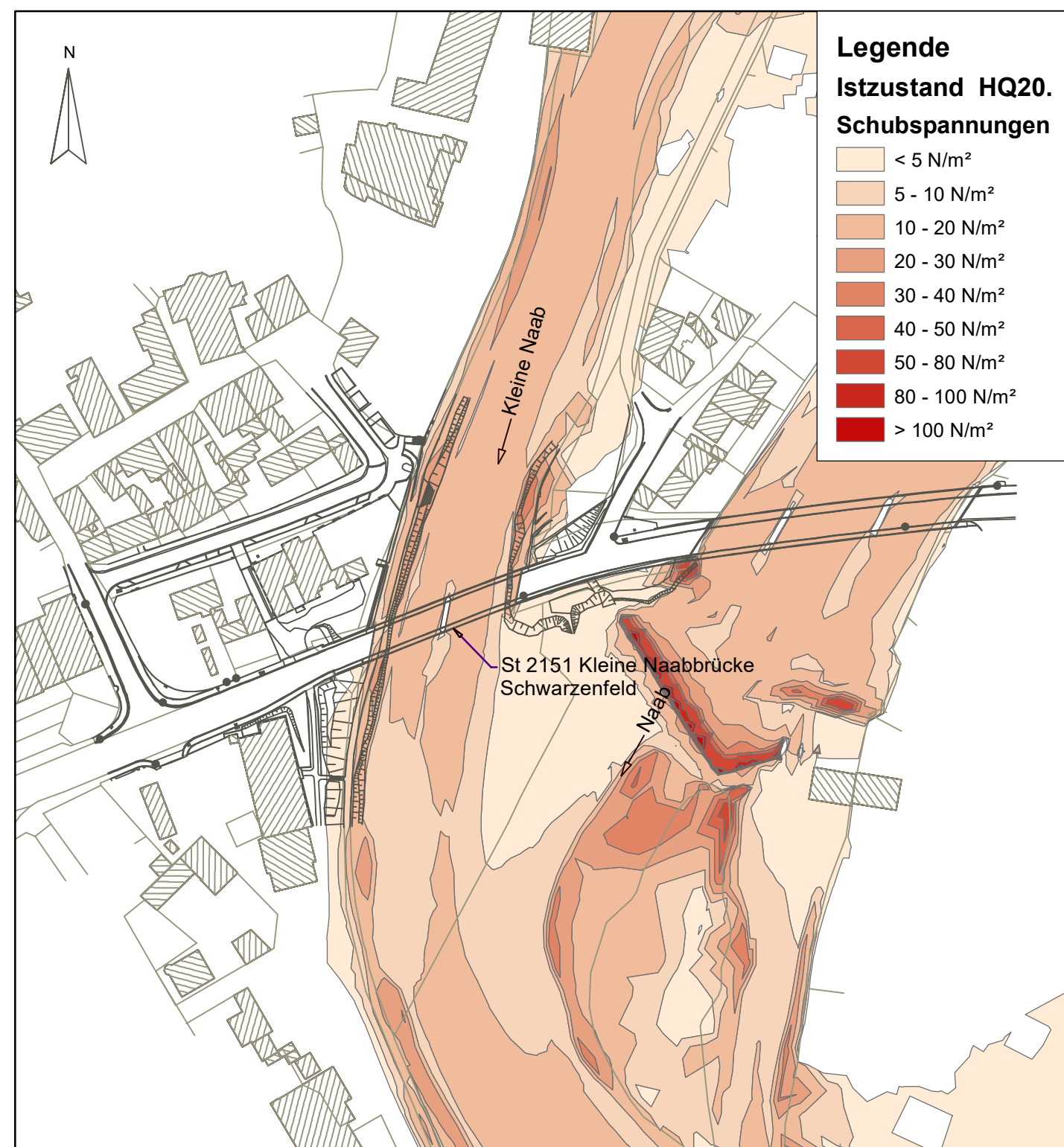
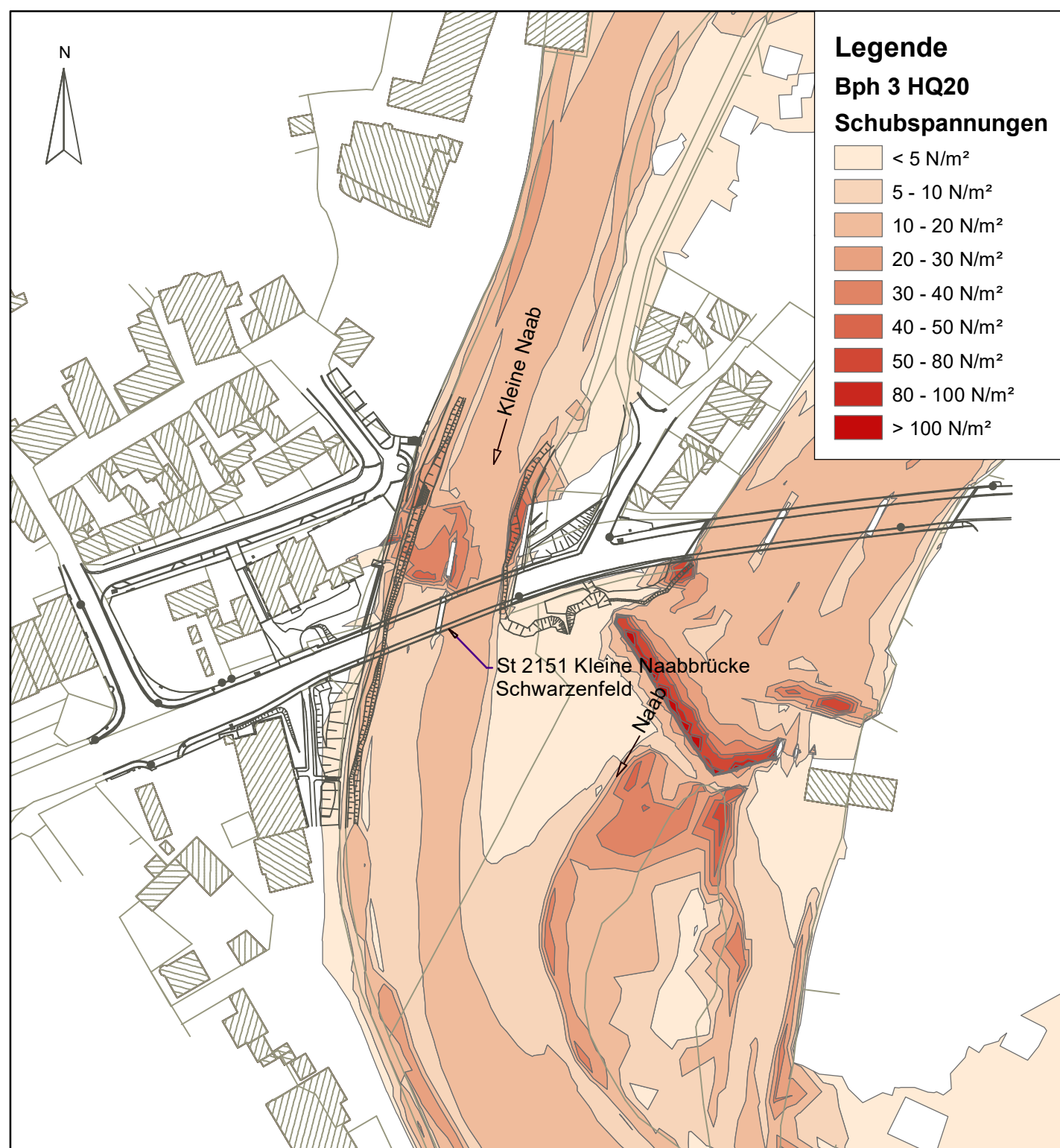
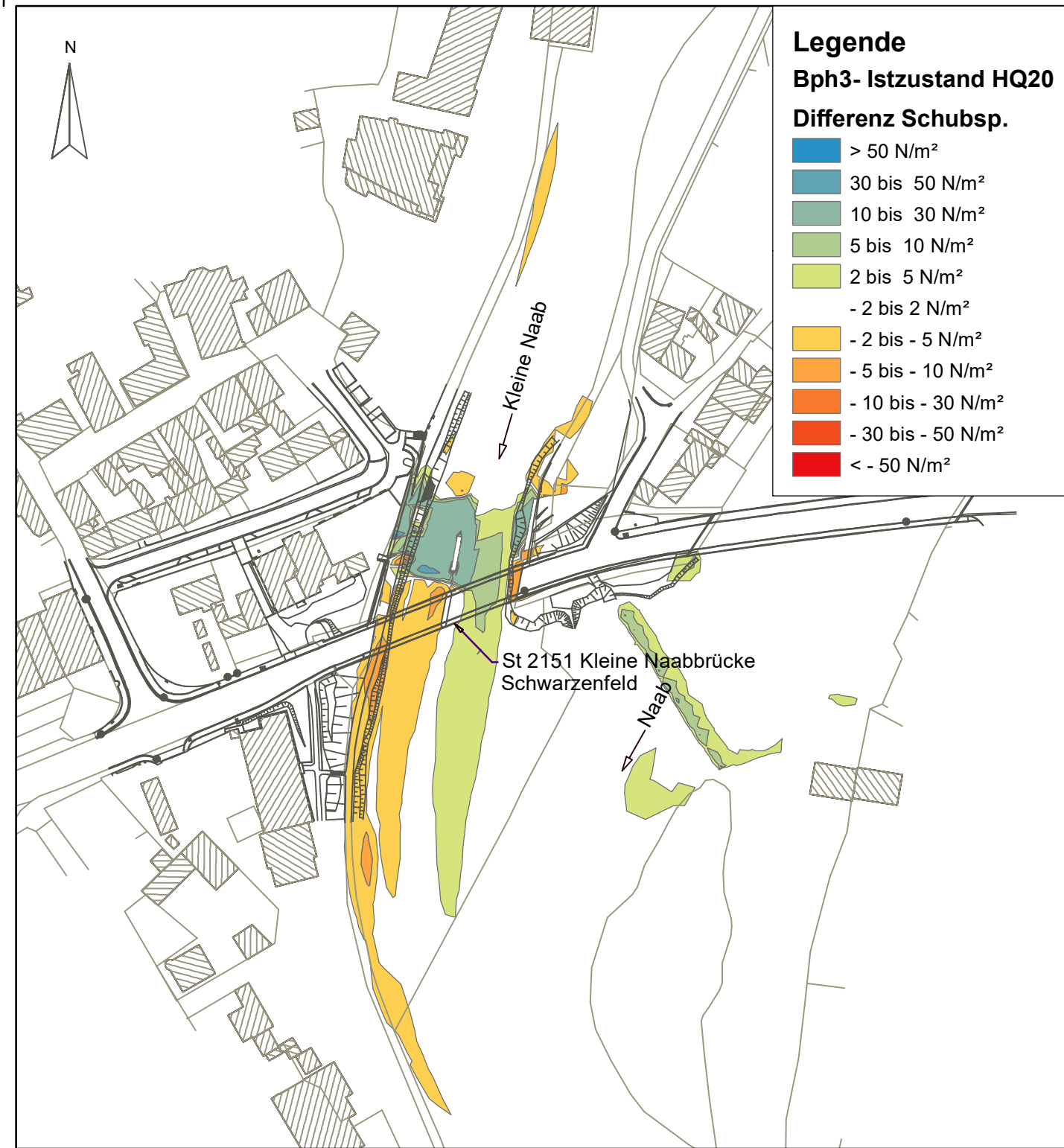
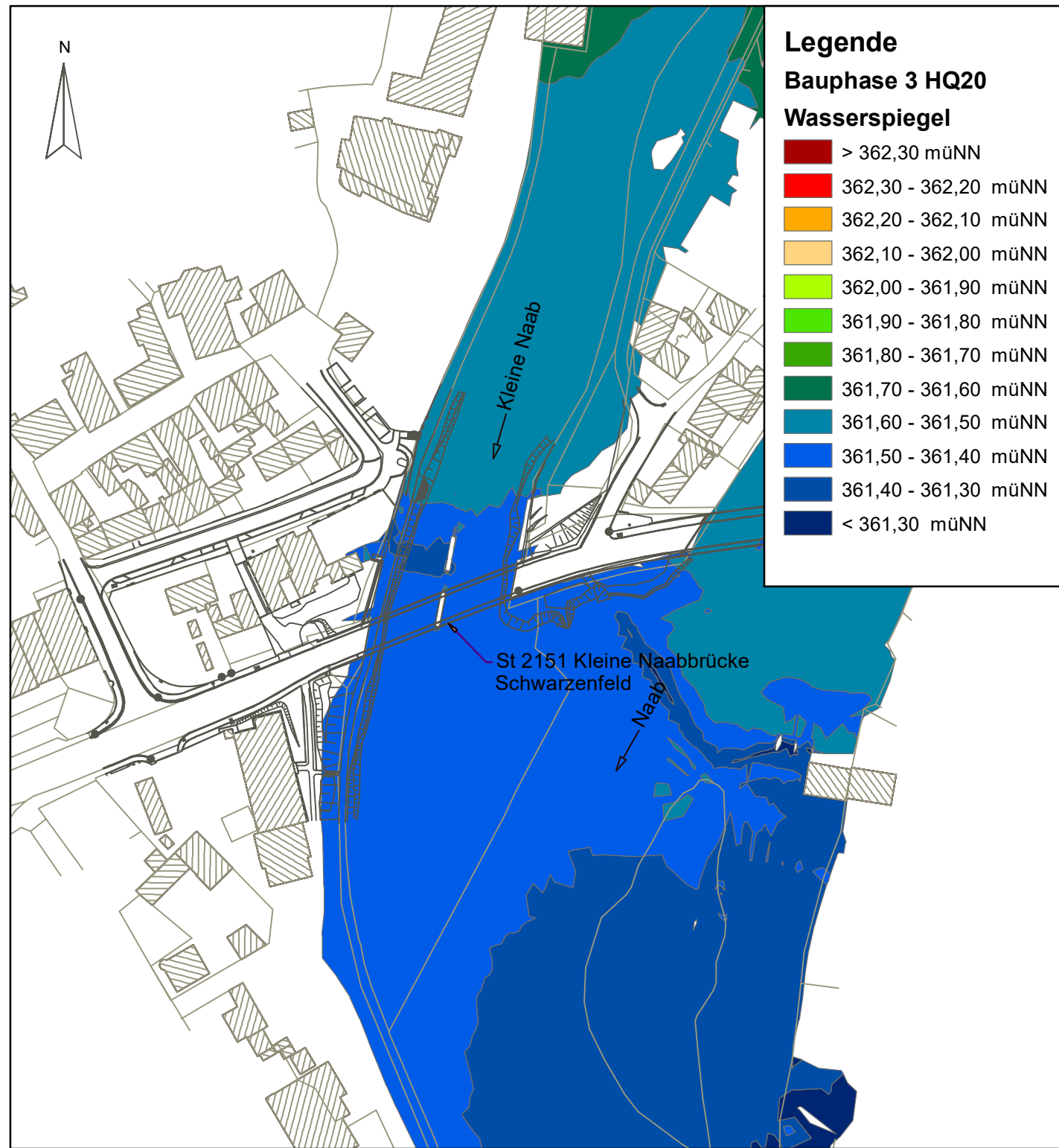
Index	Änderungen	geänd. am	Name	gepr. am	Name
Projekt:			Anlage: 3.2		
St 2151, Erneuerung Kleine Naabbrücke Schwarzenfeld			Plan-Nr.:		
Hydraulische Berechnungen zur Entwurfsplanung			Tag	Name	
Maßstab:	Planinhalt:	entw.	10.09.18	Dehnz	
1: 1.000	Vergleich Ist- und Bauzustand Wasserspiegel und Fließtiefen, HQ <sub>20</sub>	gez.	10.09.18	Dehnz	
		gepr.	10.09.18	Spannring	
Auftraggeber:		Entwurfsverfasser:		 SKI GmbH+Co.KG Lessingstraße 9 80336 München www.ski-ing.de	
Freistaat Bayern		 Städtisches Bauamt Amberg-Weizsach		 SKI GmbH+Co.KG Lessingstraße 9 80336 München www.ski-ing.de	
(Datum)	(Unterschrift)	(Datum)	(Unterschrift)	(Datum)	(Unterschrift)



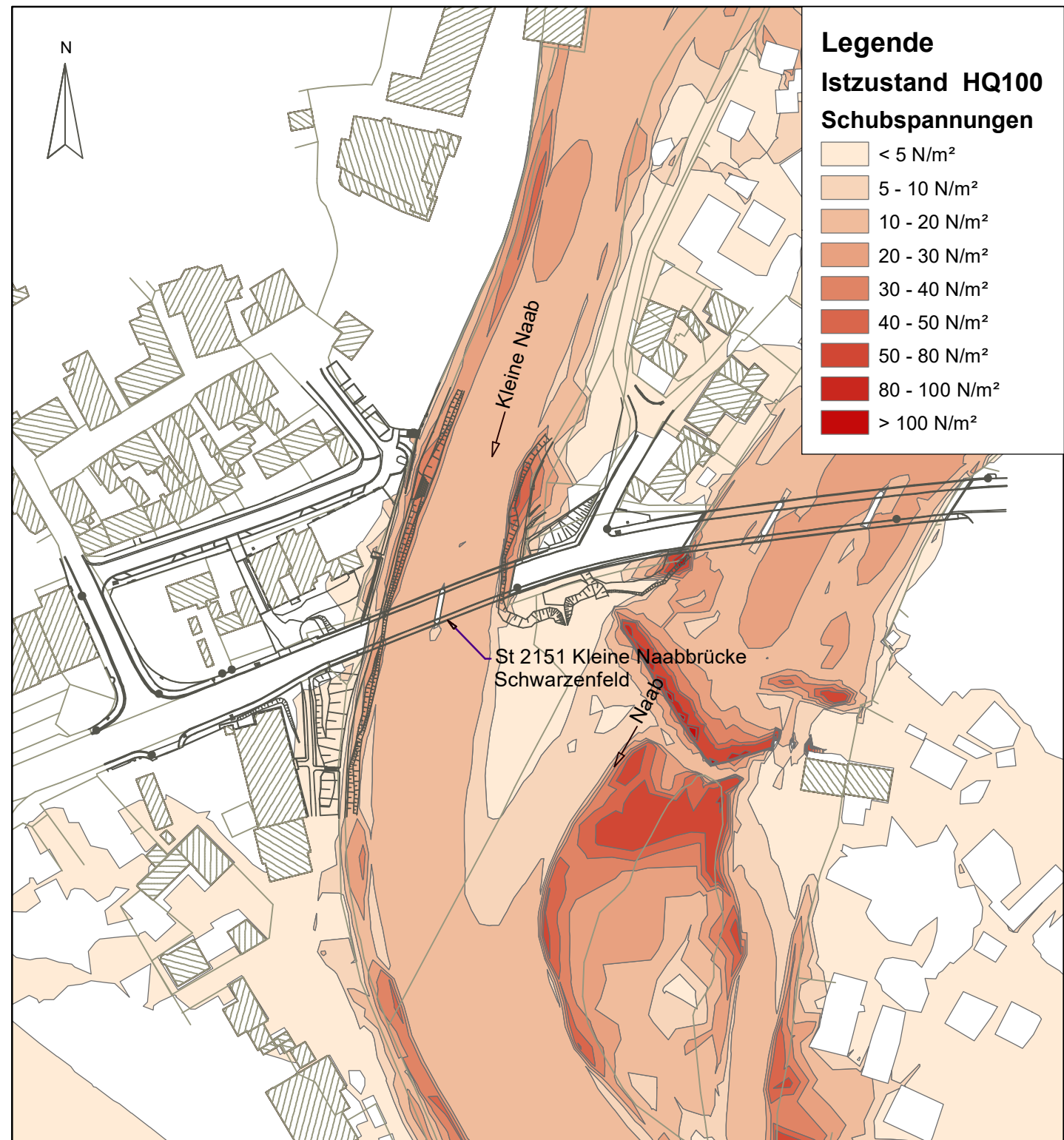
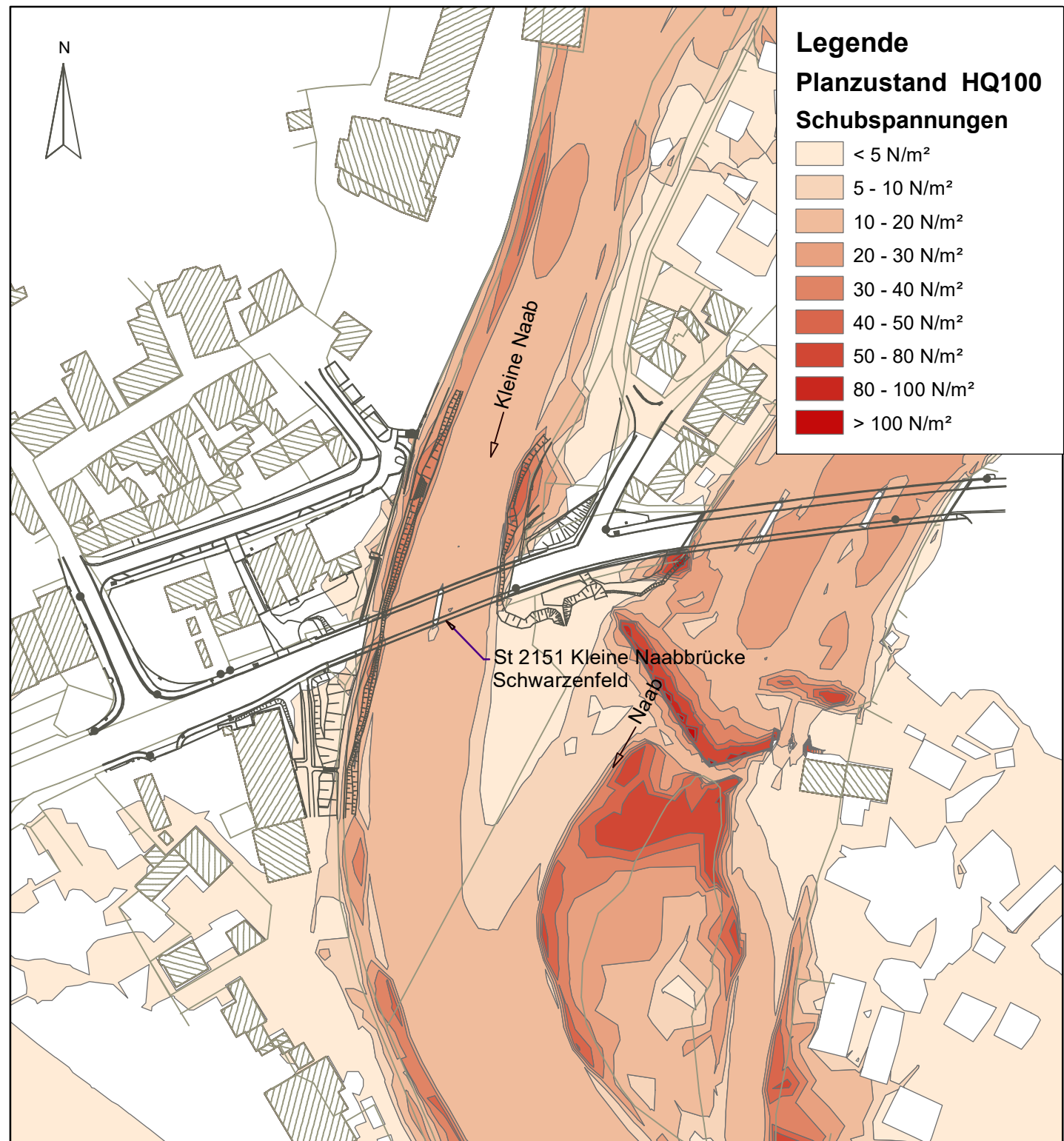
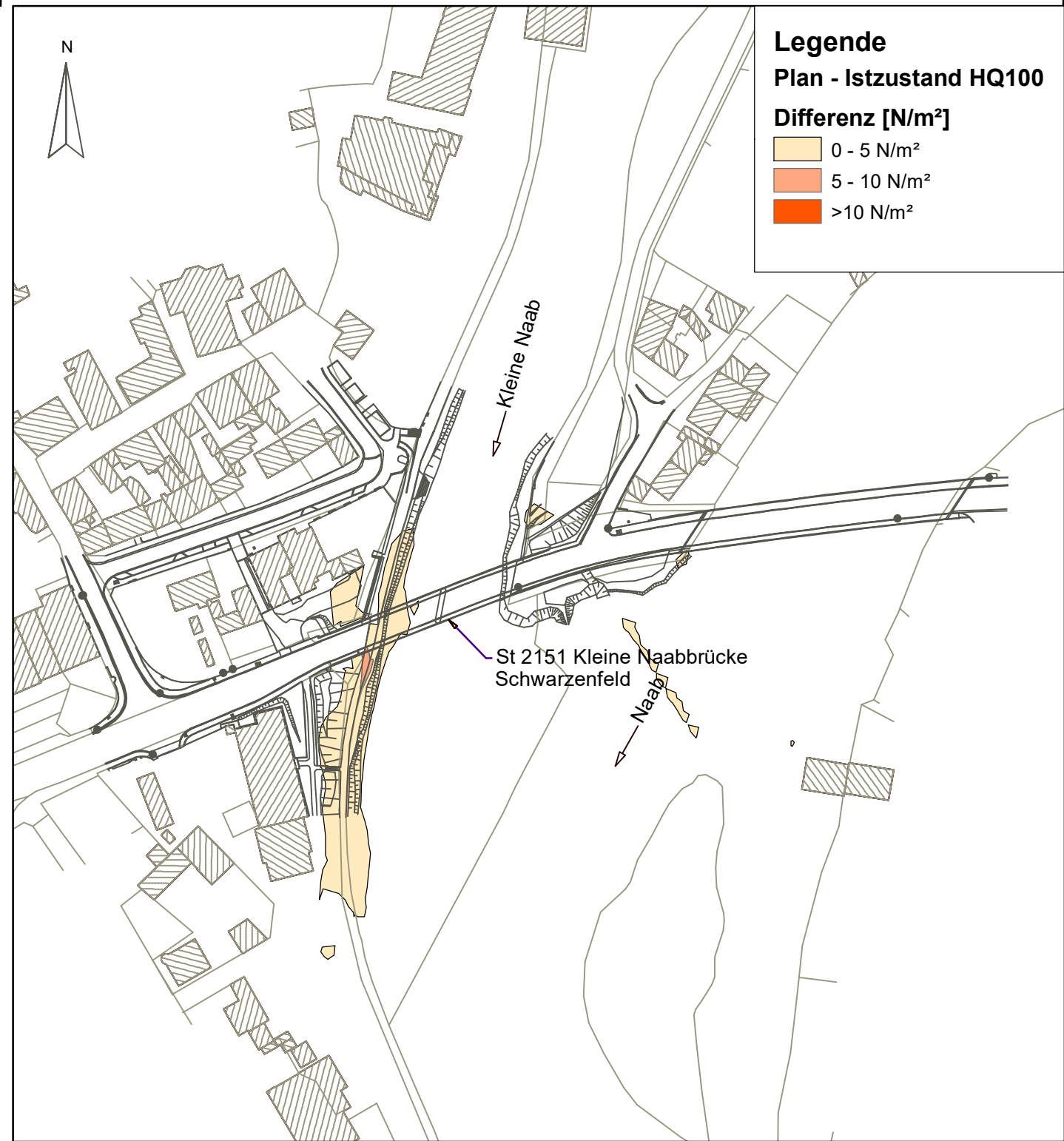
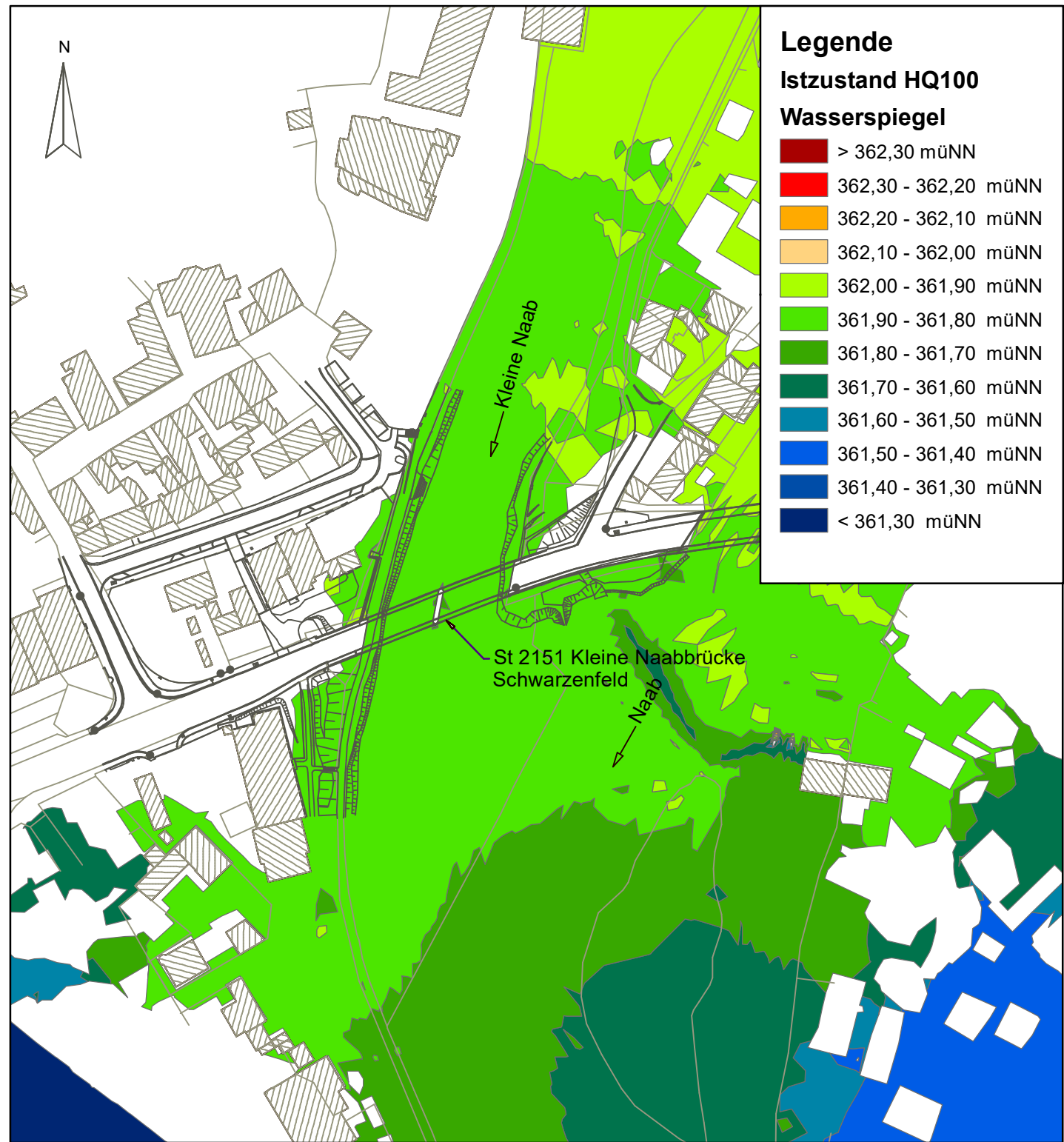
**Legende**

- Zusätzlich überschwemmte Flächen
- Flurstücke mit Wasserspiegelanstieg von 0.01 - 0.05 m
- Flurstücke mit Wasserspiegelanstieg von 0.05 - 0.10 m
- Flurstücke mit Wasserspiegelanstieg von 0.10 - 0.20 m
- Flurstücke mit Wasserspiegelanstieg von > 0.20 m

Index	Änderungen	geänd. am	Name	gepr. am	Name
Projekt: St 2151, Erneuerung Kleine Naabbrücke Schwarzenfeld Hydraulische Berechnungen zur Entwurfsplanung			Anlage: 3.3		
			Plan-Nr.:		
		Tag	Name		
Maßstab: 1: 5.000	Planinhalt: Ermittlung Betroffenheiten im Bauzustad Vergleich Ist- und Bauzustand HQ <sub>20</sub> Übersicht Flurstücke mit Wasserspiegelanstieg	entw.	10.09.18	Dehnz	
		gez.	10.09.18	Dehnz	
		gepr.	10.09.18	Spanning	
Auftraggeber: Freistaat Bayern Städtliches Bauamt Amberg-Weizsach				Entwurfsverfasser: SKI GmbH+Co.KG Lessingstraße 9 80336 München www.ski-ing.de	
..... (Datum)		..... (Unterschrift)		..... (Datum)	
..... (Datum)		..... (Unterschrift)		..... (Datum)	



Index	Änderungen	geänd. am	Name	gepr. am	Name
Projekt:			Anlage: 3.4		
St 2151, Erneuerung Kleine Naabbrücke Schwarzenfeld Hydraulische Berechnungen zur Entwurfsplanung			Plan-Nr.:		
Maßstab:	Planinhalt:		Tag	Name	
1: 1.000	Vergleich Ist- und Bauzustand Schubspannungen, HQ <sub>20</sub>		entw. 10.09.18	Dehnz	
			gez. 10.09.18	Dehnz	
			gepr. 10.09.18	Spannring	
Auftraggeber: Freistaat Bayern Städtisches Bauamt Amberg-Weizsach		Entwurfsverfasser: SKI GmbH+Co.KG Lessingstraße 9 80336 München www.ski-ing.de			
..... (Datum)		..... (Unterschrift)		..... (Unterschrift)	



Index	Änderungen	geänd. am	Name	gepr. am	Name
Projekt: St 2151, Erneuerung Kleine Naabbrücke Schwarzenfeld Hydraulische Berechnungen zur Entwurfsplanung			Anlage: 3.5		
Maßstab: 1: 1.000			Planinhalt: Vergleich Ist- und Planzustand Schubspannungen, HQ <sub>100</sub>		
		entw.	10.09.18	Dehnz	
		gez.	10.09.18	Dehnz	
		gepr.	10.09.18	Spannring	
Auftraggeber: Freistaat Bayern Städtisches Bauamt Amberg-Weizsach		Entwurfsverfasser: SKI GmbH+Co.KG Lessingstraße 9 80336 München www.ski-ing.de			
..... (Datum)		..... (Unterschrift)		..... (Unterschrift)	