

Straßenbauverwaltung Baden-Württemberg

Regierungspräsidium Tübingen

Bundestraße B 27

von NK 7520 060 n NK 7420 003 Stat. 048 bis NK 7420 003 n NK 7420 062 Stat. 0 696

B 27 Tübingen (Bläsibad) – B 28, Schindhaubasistunnel

PROJIS-Nr.: 08 91 8082 00

Feststellungsentwurf

UNTERLAGE 19.8

Hydraulisches Gutachten Neckarrenaturierung

Aufgestellt:
Regierungspräsidium Tübingen
Abt. 4 - Mobilität, Verkehr, Straßen
Ref. 44 - Planung

Tübingen, den 28.06.2024

Regierungspräsidium Tübingen, Referat 44

Hydraulische Untersuchung
am Neckar im Zuge der Planung zur B 27 Tü-
bingen (Bläsibad) - B 28, Schindhaubasistunnel

16. Februar 2024

Erläuterungsbericht

Ingenieurbüro Winkler und Partner GmbH

Dipl.-Ing. Erhard Winkler · Dr.-Ing. Nina Winkler · Dipl.-Ing. Rüdiger Koch
Schloßstraße 59 A · 70176 Stuttgart
0711-66987-0 · www.iwp-online.de · info@iwp-online.de



Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|----------|
| 1. | Vorhabensträger | 4 |
| 2. | Anlass und Aufgabenstellung | 4 |
| 3. | Grundlagen | 5 |
| 3.1 | Verwendete Unterlagen | 5 |
| 3.2 | Hochwassergefahrenkarte (HWGK) | 5 |
| 3.3 | Mittel- und Niedrigwasserabflüsse | 6 |
| 3.4 | Vermessungsdaten und topographische Informationen..... | 7 |
| 3.5 | Höhensystem und Lagesystem | 7 |
| 4. | Örtliche Verhältnisse..... | 7 |
| 4.1 | Überflutungsgefährdung gemäß Hochwassergefahrenkarte | 7 |
| 4.2 | Landesstudie Gewässerökologie | 8 |
| 5. | Hydraulische Berechnungen | 8 |
| 5.1 | Modellausdehnung | 8 |
| 5.2 | Modellerstellung..... | 9 |
| 5.3 | Randbedingungen | 13 |
| 5.4 | Plausibilisierung des Modells..... | 13 |
| 5.5 | Berechnungsergebnisse Ist-Zustand | 13 |
| 5.6 | Berechnungsergebnisse Wasserspiegellagen Planungszustand | 13 |
| 5.7 | Berechnungsergebnisse der Schubspannungen | 15 |
| 5.8 | Weitegehende Fragestellungen..... | 15 |
| 5.8.1 | Brunnen Lauswiesen | 15 |
| 5.8.2 | Fischaufstiegsanlage | 16 |
| 5.8.3 | WKA Kirchentellinsfurt | 16 |
| 5.8.4 | Haldenbach | 16 |
| 5.8.5 | Dimensionierung der Buhnen | 16 |
| 5.8.6 | Auswirkungen auf landwirtschaftliche Flächen | 16 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|------------|---|----|
| Tabelle 1: | Hochwasserabflüsse Neckar gemäß HWGK [1] und [10] | 6 |
| Tabelle 2: | Wasserspiegellagen Neckar am unterstromigen Berechnungsbeginn | 6 |
| Tabelle 3: | Verwendete k_{Str} -Werte | 10 |
| Tabelle 4: | Maximale Wasserspiegelerhöhungen im Plan-Zustand gegenüber dem Istzustand | 14 |
| Tabelle 5: | Maximale Überflutungstiefe für landwirtschaftliche Flächen mit Neubetroffenheit im Planungszustand. | 18 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|--------------|---|----|
| Abbildung 1: | Ausschnitt aus der Hochwassergefahrenkarte [2] für das HQ ₁₀₀ | 8 |
| Abbildung 2: | Lage des hydraulischen Berechnungsmodells..... | 9 |
| Abbildung 3: | Berechnungsnetz als 3-dimensionale-Detailansicht im Ist- Zustand im Maßnahmenbereich | 10 |
| Abbildung 4: | Abgrenzung der Rauheitsbereiche. Oben: Übersicht, Unten: Maßnahmen im Detail. | 11 |
| Abbildung 5: | Ausschnitt aus Planungsnetz..... | 12 |

Anlagen

| | |
|-------------------|---|
| Anlage 1: | Übersichtskarte, Maßstab 1 : 10 000 |
| Anlage 2_1: | Lageplan Überflutungsflächen und Wasserspiegeldifferenzen MNQ, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 2_2: | Lageplan Schubspannungen MNQ, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 2_3: | Lageplan Schubspannungen MNQ, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 3_1: | Lageplan Überflutungsflächen und Wasserspiegeldifferenzen MQ, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 3_2: | Lageplan Schubspannungen MQ, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 3_3: | Lageplan Schubspannungen MQ, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 4_1: | Lageplan Überflutungsflächen und Wasserspiegeldifferenzen 10 m ³ /s, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 4_2: | Lageplan Schubspannungen 10 m ³ /s, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 4_3: | Lageplan Schubspannungen 10 m ³ /s, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 5_1: | Lageplan Überflutungsflächen und Wasserspiegeldifferenzen HQ ₀₀₂ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 5_2: | Lageplan Schubspannungen HQ ₀₀₂ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 5_3: | Lageplan Schubspannungen HQ ₀₀₂ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 6_1: | Lageplan Überflutungsflächen und Wasserspiegeldifferenzen HQ ₀₀₅ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 6_2: | Lageplan Schubspannungen HQ ₀₀₅ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 6_3: | Lageplan Schubspannungen HQ ₀₀₅ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 7_1: | Lageplan Überflutungsflächen und Wasserspiegeldifferenzen HQ ₀₁₀ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 7_2: | Lageplan Schubspannungen HQ ₀₁₀ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 7_3: | Lageplan Schubspannungen HQ ₀₁₀ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 8_1: | Lageplan Überflutungsflächen und Wasserspiegeldifferenzen HQ ₁₀₀ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 8_2: | Lageplan Schubspannungen HQ ₁₀₀ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 8_3: | Lageplan Schubspannungen HQ ₁₀₀ , Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 9_1 - 9_7: | Berechnete Wasserspiegellagen |
| Anlage 10: | Lageplan Landesstudie Gewässerökologie |
| Anlage 11_1: | Landwirtschaftliche Flächen mit Wasserspiegeländerungen bei HQ ₀₀₅ aufgrund der Maßnahmen, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 11_2: | Landwirtschaftliche Flächen mit Wasserspiegeländerungen bei HQ ₀₁₀ aufgrund der Maßnahmen, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 11_3: | Landwirtschaftliche Flächen mit Wasserspiegeländerungen bei HQ ₁₀₀ aufgrund der Maßnahmen, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 12_1: | Landwirtschaftliche Flächen mit Wasserspiegeländerungen bei HQ ₀₀₅ aufgrund der Maßnahmen mit Flurstücken, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 12_2: | Landwirtschaftliche Flächen mit Wasserspiegeländerungen bei HQ ₀₁₀ aufgrund der Maßnahmen mit Flurstücken, Maßstab 1 : 2 500 |
| Anlage 12_3: | Landwirtschaftliche Flächen mit Wasserspiegeländerungen bei HQ ₁₀₀ aufgrund der Maßnahmen mit Flurstücken, Maßstab 1 : 2 500 |

1. Vorhabensträger

Das Regierungspräsidium Tübingen beauftragte am 02.11.2022 die Ingenieurbüro Winkler und Partner GmbH mit der Durchführung hydraulischer Untersuchungen am Neckar im Bereich Lustnau im Zuge der Planung zur B27 Tübingen (Bläsibad) – B28, Schindhausbasisstunnel.

Auftraggeber:

Regierungspräsidium Tübingen
Referat 44 – Planung
Konrad-Adenauer-Str. 20
72072 Tübingen

Gutachter:

Ingenieurbüro Winkler und Partner GmbH (IWP)
Schloßstraße 59a
70176 Stuttgart

2. Anlass und Aufgabenstellung

Am Neckar wurde im Zuge der Landesstudie Gewässerökologie eine Rahmenplanung zur Verortung von notwendigen Strukturmaßnahmen zur Zielerreichung nach EG-Wasserrahmenrichtlinie erstellt.

Ein Teil des aus der Rahmenplanung hervorgegangenen Maßnahmenbereichs befindet sich zwischen der Wehranlage Kirchentellinsfurt und der B27-Neckarbrücke. In diesem Abschnitt waren schon vor Abschluss der Rahmenplanung Ausgleichsmaßnahmen für die Planung zur B 27 Tübingen (Bläsibad) – B28, Schindhausbasisstunnel angedacht. Die geplanten Maßnahmen liegen im rechtskräftigen Überschwemmungsgebiet des HQ₁₀₀. Bereits 5-jährliche Hochwasser führen zu Böschungsübertritt.

Im Rahmen der Projektbearbeitung werden stationäre, zweidimensionale Berechnungen im Ist- und im Plan-Zustand durchgeführt, um die Maßnahmevorschläge aus der Rahmenplanung hydraulisch zu untersuchen.

Das vorliegende Gutachten wurde im Zuge der Planung zur B 27 Tübingen (Bläsibad) - B 28, Schindhausbasisstunnel erstellt und umfasst die folgenden Strukturmaßnahmen aus der Landesstudie Gewässerökologie zwischen dem Haldenbachzufluss und der B 27-Neckarbrücke: 11 Raubäume, 2 Sichelbuhnen mit Kiesflächen und 4 Steinbuhnen (vgl. Anlage 10).

Diese dienen als Kompensationsmaßnahmen im Rahmen der Landschaftspflegerischen Begleitplanung (LBP). Weitere Ausführungen sind den Planfeststellungsunterlagen 9 und 19 zu entnehmen.

Für die Maßnahmen sollen jeweils die Betroffenheit Dritter, (Auffindbarkeit Fischaufstiegsanlage; Brunnen Lauswiesen, Haldenbachzufluss), das Hochwasserrisiko und die Funktion untersucht werden. Weiterhin wird eine Auswertung der Schleppspannungen durchgeführt.

3. Grundlagen

3.1 Verwendete Unterlagen

Für die Bearbeitung der hydraulischen Berechnungen standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [1] Regierungspräsidium Stuttgart, Referat 53.2: Hochwassergefahrenkarten (HWGK) im Einzugsgebiet des Neckars im TBG 400, erstellt von IWP 2011
- [2] Regierungspräsidium Stuttgart, Regierungspräsidium Tübingen, Anlassbezogene Fortschreibung der Hochwassergefahrenkarte Neckar in den Landkreisen Tübingen und Reutlingen, TBG 499, erstellt von IWP 2022
- [3] Pläne zu den Wehren, erhalten am 20.01.2023 vom Regierungspräsidium Tübingen
- [4] Laserscanningdaten des Untersuchungsgebietes, erhalten am 03.11.2022 vom Regierungspräsidium Tübingen
- [5] ALKIS-Daten des Untersuchungsbereichs, erhalten am 03.11.2022 vom Regierungspräsidium Tübingen
- [6] DOP des Untersuchungsbereichs, erhalten am 03.11.2022 vom Regierungspräsidium Tübingen
- [7] Daten zum Hochwasser Februar 1990, erstellt von IWP im Auftrag Gewässerdirektion Donau / Bodensee, Bereich Ulm, 2003
- [8] Lageplan Landesstudie Gewässerökologie, Maßnahmenabschnitt 0402-005 Kusterdingen, Lageplan Karte 1- 2, Stand 23.09.2021 – siehe. Anlage 10
- [9] Gestaltungsprofil M_0402_005, Stand 12.11.2021
- [10] Regionalisierte Abfluss-Kennwerte für Baden-Württemberg, Stand 2014/2016. Abgerufen im Juni 2023 unter udo.lubw.baden-wuerttemberg.de
- [11] Protokoll – Termin mit Ref. 53-2, LRA, IWP vom 07.08.2023

3.2 Hochwassergefahrenkarte (HWGK)

Die Erstellung der Hochwassergefahrenkarte Neckar im Teilbearbeitungsgebiet 400 wurden 2011 abgeschlossen [1].

Im Rahmen der Erstellung der Hochwassergefahrenkarten wurden die Überflutungsflächen für ein HQ_{10} , HQ_{50} , HQ_{100} und HQ_{Extrem} durch eine Verschneidung der berechneten Wasserspiegellagen mit dem auf Grundlage einer Befliegung erstellten Geländemodells erzeugt.

In Tabelle 1 sind für das Untersuchungsgebiet MNQ und MQ, sowie die Hochwasserabflüsse HQ_{002} , HQ_{005} , HQ_{10} , HQ_{50} , HQ_{100} und HQ_{Extrem} aufgelistet.

Tabelle 1: Hochwasserabflüsse Neckar gemäß HWGK [1] und [10]

| | Fluss [km] | MNQ [m³/s] | MQ [m³/s] | HQ ₀₀₂ [m³/s] | HQ ₀₀₅ [m³/s] | HQ ₀₁₀ [m³/s] | HQ ₀₅₀ [m³/s] | HQ ₁₀₀ [m³/s] | HQ _{Extrem} [m³/s] |
|-----------------------------|---------------|---------------|--------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|
| uh. Ammer (Modellbeginn) | 61+05 0 | 6,8 | 26,5 | 266 | 402 | 496 | 711 | 805 | 1210 |
| uh. Tiefenbach | 61+02 0 | | | | 405 | | | 809 | |
| uh. Ramslach | 61+00 5 | | | | 406 | | | 812 | |
| uh. Echaz | 50+38 0 | 7,9 | 29,5 | 278 | 407 | 522 | 746 | 841 | 1270 |
| uh. Schlierbach | 50+25 0 | | | | ~408 | | | 843 | |

Die durch die HWGK [1] berechneten Wasserspiegellagen an der unterstromigen Grenze des für die vorliegende Untersuchung festgelegten Untersuchungsgebietes und die abgeschätzten Abflüsse für die anderen, nicht in den HWGK enthaltenen, Abflüsse sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Tabelle 2: Wasserspiegellagen Neckar am unterstromigen Berechnungsbeginn

| Abflussereignis | WSPL ca. Fkm 239+223 [müNNH] |
|----------------------|------------------------------------|
| MQ | 299,38 (aus Vermessung) |
| HQ ₀₀₅ | 302,44 (Interpoliert) |
| HQ ₀₁₀ | 303,41 |
| HQ ₀₅₀ | 304,21 |
| HQ ₁₀₀ | 305,02 |
| HQ _{Extrem} | 305,93 |

3.3 Mittel- und Niedrigwasserabflüsse

Für die hydrologischen Werte für das rund 2.317 km² großen Einzugsgebiets wurden für den Mittelwasserabfluss (MQ) und den mittleren Niedrigwasserabfluss (MNQ) die regionalisierten Abfluss-Kennwerte Baden-Württemberg [10] zugrunde gelegt.

MNQ 6,8 m³/s
MQ 26,5 m³/s

Das Q182 wurde in Abstimmung mit dem RP Tübingen, Referat 53.2 mit 18 m³/s abgeschätzt. Jedoch wurde hier in Abstimmung mit dem RP Tübingen, Referat 53-2 auf die Berechnung für Q182 verzichtet, da bei einem Abfluss von 18 m³/s lediglich der Mindestwasserabfluss von 1,5 m³/s im Neckarbett belassen wird. Diese Abflussmenge wird bereits über die Berechnung für das MNQ (1,5 m³/s) abgedeckt.

Zudem wurde ein Abfluss von 10 m³/s berechnet. Bei einem Abfluss zwischen MNQ und Q182 müsste zwar eigentlich nur die Mindestwassermenge im Neckarbett belassen werden, jedoch hat das Referat 53.2 bei Ortsbegehung wiederholt festgestellt, dass in diesem Abflussspektrum eine deutlich höhere

Wassermenge im Neckarbett belassen wird. Deshalb wurde festgelegt für diesen Fall einen Wert zwischen MNQ und Q 182 zu untersuchen. Dieser Wert wurde auf 10 m³/s festgelegt.

Am Wehr Kirchentellinsfurt erfolgt gemäß Entscheidung RPT vom 02.08.1994 mit Änderung vom 06.10.1998 die Ausleitung der Ausleitungswassermenge von 23,5 m³/s [11]. Die Ausbauwassermenge wird erst am Wasserkraftwerk Kirchentellinsfurt kurz oberstrom des Pegels Kirchentellinsfurt wieder dem Neckar zugeleitet. Als Mindestwassermenge wird über das Umgehungsgerinne ein Abfluss von 1,5 m³/s im Bereich der Ausleitung abgegeben. Bis zu einem Abfluss von 23,5 m³/s herrscht im Bereich der geplanten gewässerökologischen Maßnahmen demnach ein Abfluss von 1,5 m³/s. Beim MQ liegt der Abfluss bei 3 m³/s.

3.4 Vermessungsdaten und topographische Informationen

Die erforderlichen Vermessungsarbeiten am Neckar wurden im Rahmen der Erstellung der HWGK [1] aufgenommen. Für die Höheninformationen außerhalb des Gewässers lagen die neuen Laserscanningdaten des Landesamts für Geoinformation und Landentwicklung Baden-Württemberg aus der Befliegung von 2017 und 2019/20 [4] vor. Des Weiteren konnte auf die ALKIS-Daten [5] und die digitalen Orthofotos [6] zurückgegriffen werden.

3.5 Höhensystem und Lagesystem

Für die vorliegende Untersuchung wurde das Höhensystem DHHN2016 (Höhenstatus 170) zugrunde gelegt. Für den Lagebezug wurde das System nach ETRS 89 UTM Zone 32N zugrunde gelegt.

4. Örtliche Verhältnisse

4.1 Überflutungsgefährdung gemäß Hochwassergefahrenkarte

Die Untersuchung der Auswirkungen der geplanten gewässer-ökologischen Maßnahmen am Neckar sind hier notwendig, da in diesem Bereich gemäß HWGK bereits bei HQ₀₁₀ Ausuferungen stattfinden. In Abbildung 1 ist ein Ausschnitt der Hochwassergefahrenkarte für das HQ₁₀₀ abgebildet.

Abbildung 1: Ausschnitt aus der Hochwassergefahrenkarte [2] für das HQ₁₀₀



4.2 Landesstudie Gewässerökologie

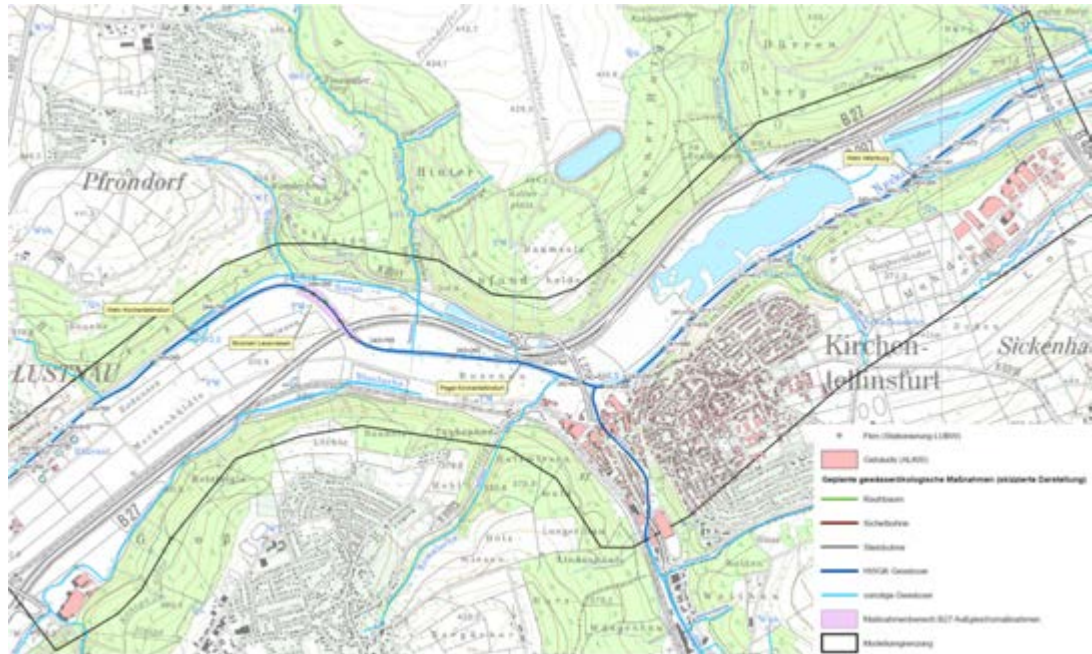
Zwischen dem Wehr Kirchentellinsfurt und der B27-Neckarbrücke sollen gemäß Maßnahme Kusterdingen (Nr. 0402-005) der Landesstudie Gewässerökologie Lenk- und Deckungsstrukturen (Buhnen, Strömungsteiler, Raubäume) eingebracht werden und dadurch eine Tiefenrinne initiiert werden. Zudem sind Kieszugaben zur Schaffung von Laichhabitaten; Totholz als Strukturbildner und Gewässerrandstreifen/Beschattung geplant. Die Ausführungen hierzu sind der Landesstudie Gewässerökologie zu entnehmen [8] und [9]. Für die zugrundeliegende Planung wurden die Maßnahmen innerhalb des Gewässers entsprechend der Landesstudie Gewässerökologie berücksichtigt. Im Bereich des Gewässerrandstreifens sind keine Maßnahmen vorgesehen.

5. Hydraulische Berechnungen

5.1 Modellausdehnung

Im Zuge der Projektbearbeitung wurde ein 2-dimensionales hydraulisches Berechnungsmodell aufgestellt, welches einen rund 7,5 km langen Gewässerabschnitt des Neckars von unterhalb der Ammer bis unterhalb des Schlierbachs umfasst. Mit der gewählten Modellumgrenzung ist sichergestellt, dass mögliche Einflüsse von Oberstrom und Unterstrom (Einschwingbereich des hydraulischen Modells) nicht zu erwarten sind. Die von der Stadt Tübingen umgesetzte Maßnahme zur Aktivierung von Retentionsraum im rechten Vorland im Bereich der Kläranlage Gemarkung Lustnau wurde im Modell berücksichtigt.

Abbildung 2: Lage des hydraulischen Berechnungsmodells



5.2 Modellerstellung

Die Modellerstellung erfolgte mit dem Programm SMS 13.1 (Surface-Water Modelling-System). Die anschließenden hydraulischen Berechnungen erfolgten mit dem Programm HydroAS 5.5.0.

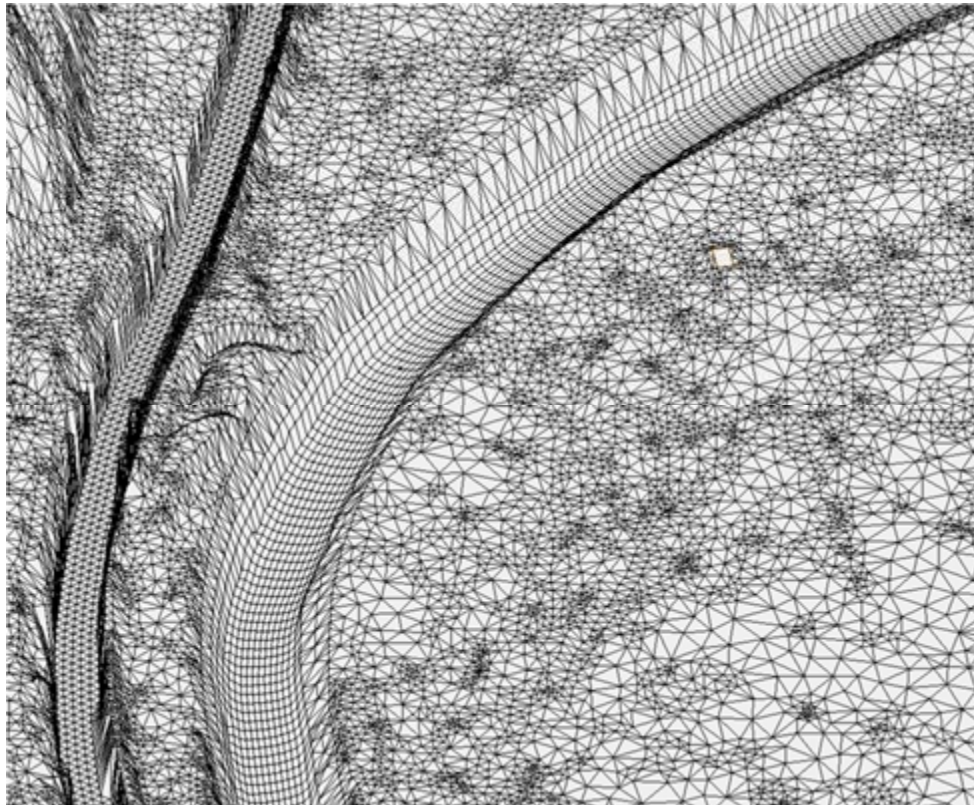
Für die Erzeugung des Gewässernetzes wurden die terrestrisch vermessenen Querprofile des Neckars aus der Erstellung der HWGK des Neckars [1] verwendet. Im Flussschlauch wurde ein lineares Netz mit einer rechteckigen Vermaschung mit einem Seitenverhältnis (Länge zu Breite) von 2:1 generiert, wobei eine Elementgröße zwischen 5 m² und 13 m² gewählt wurde.

Für die Erzeugung des Vorlandnetzes wurden die Höheninformationen der Laserscanningdaten verwendet. Die Bruchkanten wurden im Modell als feste Linien übernommen. Des Weiteren wurden die Gebäudeumrisse als feste Linien im Modell integriert.

Ergänzend wurden die Wehre separat geprüft und nach Plänen, erhalten am 20.01.2023, eingebaut [3].

Das Berechnungsnetz ist der nachfolgenden Abbildung zu entnehmen. Das Gesamtnetz umfasst eine Fläche von ca. 8,5 km² und besteht aus rund 742.000 Knotenpunkten und rund 1,4 Mio. Elementen.

Abbildung 3: Berechnungsnetz als 3-dimensionale-Detailansicht im Ist-Zustand im Maßnahmenbereich



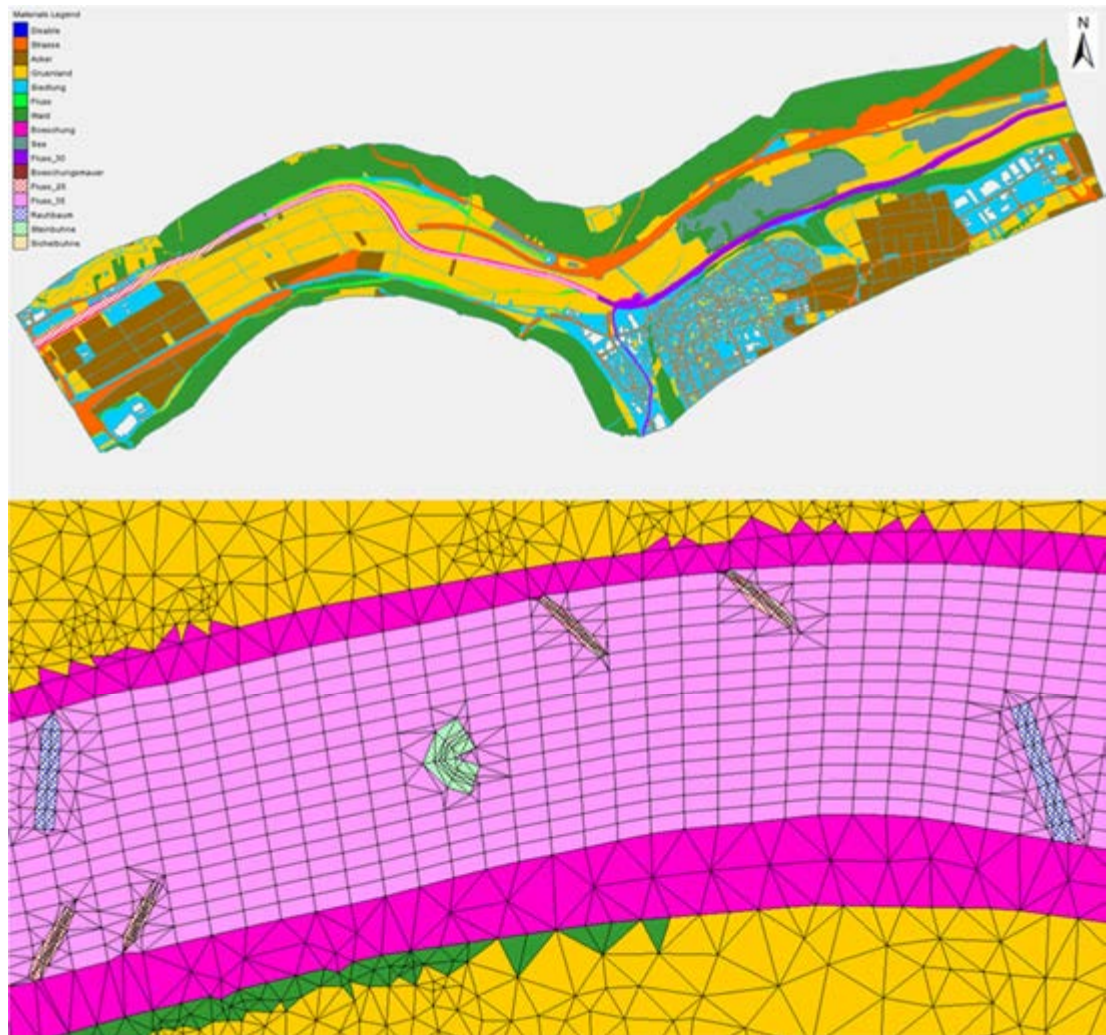
Bei der Berechnung wurde der Rauheitsansatz von *Gauckler-Manning-Strickler* ($k_{Str.}$ -Werte) verwendet. Die Abgrenzung der $k_{Str.}$ -Werte für das Vorland erfolgte über die ALKIS-Daten. Tabelle 3 zeigt die verschiedenen Nutzungsarten mit den verwendeten $k_{Str.}$ -Werten. Die Gebäudeflächen wurden ausgeschnitten.

Tabelle 3: Verwendete $k_{Str.}$ -Werte

| Nutzungsart | $k_{Str.}$ -Wert |
|------------------|------------------|
| Fluss | 25-35 |
| Böschung | 16 |
| Siedlungsflächen | 20 |
| Ackerflächen | 14 |
| Wald | 10 |
| Straße | 35 |
| See | 22 |
| Grünland | 20 |

In nachfolgender Abbildung sind die Abgrenzungen der verwendeten Rauheitsbereiche für das Berechnungsnetz dargestellt.

Abbildung 4: Abgrenzung der Rauheitsbereiche. Oben: Übersicht, Unten: Maßnahmen im Detail.



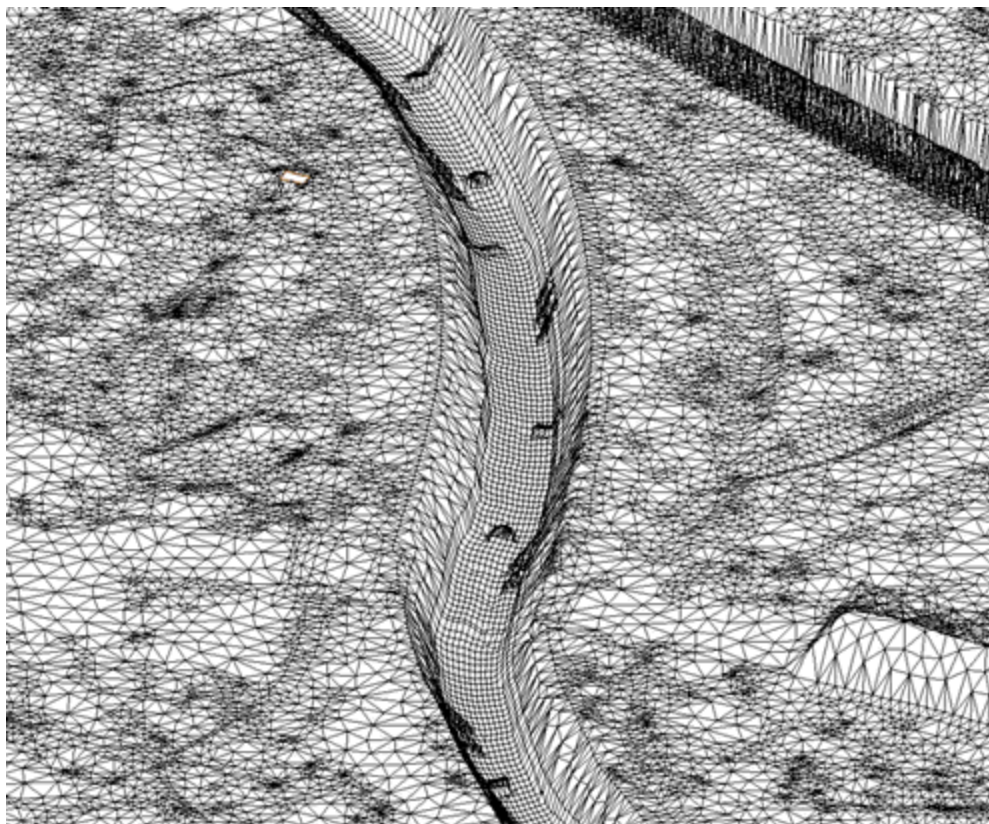
Für den Planungszustand wurden die Ausgleichsmaßnahmen zur B 27 Tübingen (Bläsibad) - B 28, Schindhaubasistunnel aus dem am 12.10.2022 übergebenen Lageplan (erstellt von der ARGE REVITAL-blattfisch, Stand 23.09.2021, Anlage 10), zugrunde gelegt. Folgende Maßnahmen wurden im Modell abgebildet:

- Steinbuhnen
- Raubäume
- Sichelbuhnen

Für die Abbildung der Maßnahmen wurden folgende Annahmen getroffen:

- Steinbuhnen: Als Oberkante wurde die Höhe des Mittelwasserstandes angesetzt. Gemäß Kapitel 3.3 herrscht bei Mittelwasser ein Abfluss von $3 \text{ m}^3/\text{s}$ im Planungsbereich. Als Rauheitsbeiwert wurde $k_{\text{Str}} = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gewählt (Festlegung der Rauheitsbeiwerte erfolgte nach Abstimmung mit dem Regierungspräsidium Tübingen, Referat 53-2.). Die Buhnen wurden mit einer Kronenbreite von 2 m abgebildet.
- Raubäume: Als Durchmesser für die Raubäume wurden 0,5 m angenommen. Als Rauheitsbeiwert wurde $k_{\text{Str}} = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gewählt.
- Sichelbuhne: Als Oberkante wurde die Höhe des Mittelwasserstandes angesetzt. Gemäß Kapitel 3.3 herrscht bei Mittelwasser ein Abfluss von $3 \text{ m}^3/\text{s}$ im Planungsbereich. Als Rauheitsbeiwert wurde $k_{\text{Str}} = 20 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ gewählt. Die Buhnen wurden mit einer Kronenbreite von 1 m abgebildet.
- Gemäß einer gemeinsamen Abstimmung mit dem Regierungspräsidium Tübingen (Referat 53-2) Berücksichtigung von Kolken in Bereichen bei denen im Anschluss an die geplanten Buhnen erhöhte Schubspannungen zu erwarten sind.
Bei Schubspannungen von $5\text{-}10 \text{ N/m}^2$ Kolkiefen von 0,1 m
Bei Schubspannungen von $10\text{-}15 \text{ N/m}^2$ Kolkiefen von 0,25 m
Bei Schubspannungen von $>15 \text{ N/m}^2$ Kolkiefen von 0,5 m

Abbildung 5: Ausschnitt aus Planungsnetz



Im Zuge der Bearbeitung wurden für folgende Abflüsse hydraulische Berechnungen durchgeführt:

- MNQ (1,5 m³/s)
- MQ (3 m³/s)
- 10 m³/s
- HQ₀₀₂
- HQ₀₀₅
- HQ₀₁₀
- HQ₁₀₀

5.3 Randbedingungen

Als unterwasserseitige Randbedingung wurden die im Rahmen der Hochwassergefahrenkarte berechneten bzw. aus der Vermessung ermittelten Wasserstände am Modellende angesetzt (s. Tabelle 2). Für die Abflüsse MNQ, MQ, 10 m³/s, HQ₀₀₂ und HQ₀₀₅ lagen keine Informationen aus der HWGK vor. Für den Mittelwasserabfluss wurde die Wasserspiegellage zum Zeitpunkt der Vermessung als Referenz verwendet. Der Wasserstand am Modellende für ein HQ₀₀₅ wurde mittels einer polynomischen Interpolation ermittelt. Für die weiteren berechneten Abflüsse MNQ, 10 m³/s und HQ₀₀₂ werden die unterwasserseitigen Wasserstände programmintern interpoliert und zugeordnet.

5.4 Plausibilisierung des Modells

Zur Plausibilisierung des Modells lagen Daten des Hochwassers im Februar 1990 vor [7]. Ein Vergleich zwischen den berechneten Wasserspiegelhöhen des 2D-Modells und den Hochwassermarken im Februar 1990 wurde durchgeführt. Es konnte eine gute Übereinstimmung zwischen berechneten und aufgezeichneten Wasserständen erzielt werden.

5.5 Berechnungsergebnisse Ist-Zustand

In der Anlage 9_1 bis 9_7 sind die berechneten Wasserspiegellagen in Gewässerachse für alle berechneten Abflüsse für den Ist-Zustand dargestellt. Die zugrunde liegende Stationierung kann Anlage 1 entnommen werden.

Zur Bestimmung der Überflutungsausdehnung wurde mit dem Programm SMS eine Verschneidung der berechneten Wasserspiegel mit dem zugrunde liegenden Geländemodell durchgeführt. Die berechnete Überflutungsausdehnung für MNQ, MQ, 10 m³/s, HQ₀₀₂, HQ₀₀₅, HQ₀₁₀ und das HQ₁₀₀ sind in den Anlagen 2_1, 3_1, 4_1, 5_1, 6_1, 7_1 und 8_1 dargestellt

5.6 Berechnungsergebnisse Wasserspiegellagen Planungszustand

Die berechneten Wasserspiegellagen in Gewässerachse für alle berechneten Abflüsse im Plan-Zustand sind der Anlage 9_1 bis 9_7 zu entnehmen.

Die berechnete Überflutungsausdehnung für MNQ, MQ, 10 m³/s, HQ₀₀₂, HQ₀₀₅, HQ₀₁₀ und das HQ₁₀₀ sind den Anlagen 2_1, 3_1, 4_1, 5_1, 6_1, 7_1 und 8_1 zu entnehmen.

Durch die gewässerökologischen Maßnahmen ergeben sich Wasserspiegelerhöhungen durch die Einschränkung des Fließquerschnitts durch die Buhnen und die Erhöhung der Rauheit aufgrund der Buhnen und der Raubäume. In nachfolgender Tabelle sind die maximalen Wasserspiegelerhöhungen in Gewässerachse aufgeführt.

Tabelle 4: Maximale Wasserspiegelerhöhungen im Plan-Zustand gegenüber dem Istzustand

| Abfluss | Delta WSP (Plan- Ist) [m] |
|----------------------|---------------------------|
| MNQ | 0,03 |
| MQ | 0,06 |
| 10 m ³ /s | 0,10 |
| HQ ₀₀₂ | 0,15 |
| HQ ₀₀₅ | 0,12 |
| HQ ₀₁₀ | 0,09 |
| HQ ₁₀₀ | 0,05 |

Bei MNQ, MQ und 10 m³/s ergeben sich maximale Wasserspiegelerhöhungen in der Gewässerachse ≤ 10 cm (vgl. Tabelle 4).

Die höchsten maximalen Wasserspiegelanstiege im Flussschlauch ergeben sich beim HQ₀₀₂ mit bis zu 0,15 m. Bei zunehmendem Hochwasserabfluss, werden die Wasserspiegeldifferenzen immer geringer (HQ₀₀₅ = 0,12 m, HQ₀₁₀ = 0,09 m, HQ₁₀₀ = 0,05 m). Dass beim HQ₁₀₀ die maximalen Wasserspiegelanstiege im Flussschlauch am geringen sind, ist darauf zurückzuführen, dass die anteilige Abflussmenge im rechten Vorland bei kleineren Hochwasserabflüssen (z.B. HQ₀₀₂) deutlich geringer ist als beim HQ₁₀₀.

Im Bereich der Wasserspiegelerhöhungen befinden sich keine Gebäude. Es ist demnach mit keinen nachteiligen Auswirkungen auf den Hochwasserabfluss zu rechnen. Beim HQ₁₀₀ liegen die Wasserspiegelerhöhungen im Bereich der Modellgenauigkeit.

Erst ab HQ₀₀₅ kommt es zu Überschwemmungen und damit zu möglichen Auswirkungen auf landwirtschaftliche Flächen.

Wasserspiegeländerungen oberhalb des Wehr Kirchentellinsfurt treten ab HQ₀₀₂ auf. Diese treten auf, da das Wehr in den Berechnungen zum Hochwasser als offen angenommen wird. Die eingebrachten Einzelstrukturen können Einfluss auf den Wasserspiegel oberhalb des Wehres haben, wenn dieses geöffnet ist.

In den Anlagen 2_1, 3_1, 4_1, 5_1, 6_1, 7_1 und 8_1 sind die Differenzen der berechneten Wasserspiegellagen zwischen dem Plan- und dem Ist-Zustand im Lageplan dargestellt (flächige Darstellung).

5.7 Berechnungsergebnisse der Schubspannungen

Für alle Abflussszenarien wurden für den Ist- und den Planungszustand die maximal zu erwartenden Schubspannungen (Schleppspannungen) ausgewertet. Die Auswertungen der Schubspannungen im Untersuchungsbereich sind den Anlagen 2_2 / 2_3 bis 8_2 / 8_3 zu entnehmen.

Durch die geplanten gewässerökologischen Maßnahmen kommt es zu einer Veränderung der Schubspannungen im Flussschlauch. Damit wird die geplante ökologische Aufwertung durch die sich dann einstellende Veränderungen der Gewässermorphologie erzielt.

Die maximalen Schubspannungen ergeben sich beim HQ_{100} . Außerhalb des Flussschlauch sind keine signifikanten Unterschiede in den Schubspannungen zu erwarten.

Im Flussschlauch liegen die maximalen Schubspannungen teilweise über 200 N/m^2 . Hohe Schubspannungen ergeben sich insbesondere im Bereich der geplanten Buhnen. Auf der Grundlage der berechneten Schubspannungen können notwendige Sicherungsmaßnahmen geplant werden.

Durch den Einbau der Buhnen kommt es zu einer Veränderung der Schubspannungen und der Fließgeschwindigkeiten. An der gegenüberliegenden Seite der Buhnen kommt es zu erhöhten Fließgeschwindigkeiten und damit zur Ausbildung von Fließrinnen. Durch die wechselseitige Anordnung (linkes und rechtes Ufer) kann sich eine pendelnde Niedrigwasserrinne ausbilden. Durch die Varianz der Schubspannungen kommt es zu unterschiedlich tief ausgebildeten Kolken.

Im Unterwasser der Buhne kommt es zu einer Verringerung der Schubspannungen und der Fließgeschwindigkeiten. In diesen Bereichen können sich Kiesbänke und Flachwasserbereiche ausbilden. Damit ist eine Entwicklung von Laichhabitaten zu erwarten. Weiterhin ist das Ufer im Unterwasser der Buhnen weniger erosionsgefährdet.

Durch den Einbau der Buhnen und der Raubäume ist eine Erhöhung der Strukturvielfalt zu erwarten.

5.8 Weitergehende Fragestellungen

5.8.1 Brunnen Lauswiesen

Im Untersuchungsgebiet befindet sich der Brunnen Lauswiesen. Dessen Lage ist Anlage 1 zu entnehmen. Dieser wird ab einem HQ_{100} eingestaut. Beim HQ_{100} liegt die berechnete Wasserspiegelerhöhung bei $0,04 \text{ m}$ am Brunnen. Die geringen Wasserspiegelerhöhungen liegen im Bereich der Modellgenauigkeit. Nachteilige Auswirkungen auf den Brunnen durch die geplanten Maßnahmen sind demnach nicht zu erwarten.

Eine signifikante Erhöhung der Schubspannungen durch die geplanten Maßnahmen im Bereich des Brunnens Lauswiesen ist gemäß den durchgeführten Berechnungen nicht zu erwarten.

5.8.2 Fischaufstiegsanlage

Den Berechnungsergebnissen nach ist aufgrund der gewässerökologischen Maßnahmen keine signifikante Verbesserung der Auffindbarkeit der Fischaufstiegsanlage zu erwarten.

5.8.3 WKA Kirchentellinsfurt

Oberhalb des Wehres (Querprofil 245+265) ergeben sich für die berechneten Abflüsse geringe Wasserspiegeländerungen (z.B. HQ_{010} 2 cm, vgl. Anlage 9_6). Beim HQ_{100} findet keine Änderung statt (vgl. Anlage 9_7). Es ist demnach mit keinen nachteiligen Auswirkungen auf die Hochwassersicherheit im Bereich des Wehres zu rechnen.

Eine signifikante Erhöhung der Schubspannungen durch die geplanten Maßnahmen im Bereich des Wehres ist gemäß den durchgeführten Berechnungen nicht zu erwarten.

Für die Wasserkraftnutzung ist der Wasserspiegel im Bereich der Einmündung der Ausbauwassermenge am Wasserkraftwerk Kirchentellinsfurt kurz oberstrom des Pegels Kirchentellinsfurt maßgebend. Dieser Wasserstand wird durch die geplanten Maßnahmen nicht verändert.

5.8.4 Haldenbach

Im Bereich der Einmündung des Haldenbachs am Querprofil 244+265 kommt es zu einer Veränderung der Wasserstände und Schubspannungen durch die geplanten gewässerökologischen Maßnahmen. Im Mündungsbereich des Haldenbachs befindet sich keine Bebauung. Eine negative Auswirkung der geplanten Maßnahmen auf den Hochwasserabfluss sind demnach nicht zu erwarten.

5.8.5 Dimensionierung der Buhnen

Im Bereich der geplanten Buhnen kommt es beim HQ_{100} bereichsweise zu Schubspannungen größer 200 N/m^2 . Die hohen Schubspannungen sind bei der Dimensionierung und der Umsetzung der strömungslenkenden Strukturen zu berücksichtigen, um die Standsicherheit und langfristige Funktion erfüllen zu können. Eine weitere Detailierung erfolgt im Zuge der Ausführungsplanung.

5.8.6 Auswirkungen auf landwirtschaftliche Flächen

Ab HQ_{005} sind landwirtschaftliche Flächen (Grünland, Acker) betroffen. Die Analyse der Auswirkungen der Maßnahmen auf diese landwirtschaftlichen Flächen erfolgt in zwei Aspekten. Zum einen werden neu betroffene Bereiche betrachtet (Neubetroffenheit) und zum anderen Gebiete in welchen der Wasserspiegel im Vergleich zum Ist-Zustand angestiegen ist (Mehr Betroffenheit).

Wasserspiegelveränderungen kleiner 0,03 m liegen im Rahmen der Rechengenauigkeit des hydraulischen Modells und werden als nicht signifikant eingestuft. Daher werden Wasserspiegeldifferenzen von $< 0,03$ m für die Auswertung nicht betrachtet.

Es gibt ab HQ_{005} landwirtschaftliche Flächen, die nur im Plan-Zustand überschwemmt werden (Neubetroffenheit, siehe rot schraffierte Fläche in Anlage 11_1, 11_2 und 11_3 bzw. 12_1, 12_2 und 12_3). Die Flächen befinden sich im linken und rechten Vorland des Neckars. Bei HQ_{005} und HQ_{100} handelt es sich größtenteils um eine Erweiterung der bereits bestehenden Überflutungsflächen. Bei HQ_{010} ergeben sich neue Überflutungsbereiche im Bereich Lauswiesen. Für die neubetroffenen Flächen ist die minimale und maximale Überflutungstiefe für die jeweiligen Hochwasserabflüsse in Tabelle 5 angegeben.

Die Überflutungsausdehnungen in den Planfällen für das HQ_{005} , HQ_{010} und HQ_{100} liegen innerhalb der Abgrenzung des Überschwemmungsgebietes für das HQ_{100} .