

# Donau (Iller bis Lech) – Verbesserung Hochwasserschutz - Datenmanagement und Modelle

## Hydraulik - Modellkonzept

### Bericht

#### Anlage 4.1

1	Veranlassung und Aufgabenstellung .....	3
2	Modellausdehnung .....	3
3	Datengrundlage.....	4
3.1	Bestandsmodelle.....	4
3.2	Flussschlauch .....	5
3.2.1	Donau .....	5
3.2.2	Nebengewässer .....	5
3.3	Vorland .....	6
3.3.1	DGM .....	6
3.3.2	Landnutzungsdaten .....	7
3.3.3	Vermessungsdaten.....	8
3.4	Bauwerke .....	8
3.4.1	Staustufen .....	8
3.4.2	Brücken .....	9
3.4.3	Durchlässe.....	9
4	Verwendete Software .....	9
5	Allgemeine Festlegungen zur Modellerstellung .....	9
5.1	Flussschlauch .....	9
5.2	Vorland .....	10
5.2.1	Laser_As-2d .....	10
5.2.2	Materialbelegung .....	12
5.3	Modellierung von Bauwerken .....	13
5.3.1	Modellierung der Staustufen .....	13
5.3.2	Modellierung der Brücken .....	14

5.3.3	Modellierung von Durchlässen.....	14
6	Kopplung Hydrologie.....	14
7	Kopplung Grundwasserhydraulik.....	14

Anlagen:

- Anlage 4.1.1 Vermessene Stauhaltungs- und HWS-Anlagen
- Anlage 4.1.2 Brückendaten
- Anlage 4.1.3 W-Q-Beziehungen und Daten der Staustufen
- Anlage 4.1.4 Aufnahmedatum der Querprofile für das Modell 1999
- Anlage 4.1.5 Aufnahmedatum der Querprofile für das Modell 2013

## 1        **Veranlassung und Aufgabenstellung**

An der Donau zwischen Iller und Lech werden die Auswirkungen von sieben Rückhalteräumen, die die Hochwasserschutzziele unterstützen, anhand zweidimensionaler hydrodynamisch-numerischer Berechnungen untersucht.

Am WWA Donauwörth liegen diverse 2d-Modelle vor, welche das gesamte Projektgebiet abdecken. Für die Fragestellungen wurde aus den einzelnen Teilmodellen ein einheitliches, konsistentes und der Fragestellung angepasstes Gesamtmodell aufgebaut.

Das vorliegende Modellkonzept fasst die vorhandenen Grundlagen zusammen und dient der Festlegung der Vorgehensweise bei der Modellfortschreibung.

## 2        **Modellausdehnung**

Für die zu untersuchenden Rückhalteräume wird ein Modell benötigt, welches eine ausreichende Vorlaufstrecke zum in Fließrichtung gesehen ersten Standort Leipheim hat und Auswirkungen der Rückhalträume bis zur Ortslage Genderkingen abbilden kann. Daher reicht das Modell von der Donaubrücke der A7 unterstrom der Staustufe Oberelchingen (Donau-km 2575) bis zur Staustufe Bertoldsheim unterstrom der Lechmündung (Donau-km 2490). Das entspricht einer Fließlänge der Donau von 85 km.

Der unterstromige Modellrand der Donau ist mit der W-Q-Beziehung der Staustufe Bertoldsheim als Randbedingung belegt (siehe auch Punkt 3.4.1 und Anlage 4.1.3). Der Auslaufrand des Vorlandes ist mit einem Energieliniengefälle von 1,5 ‰ belegt, dies entspricht dem mittleren Energieliniengefälle des HQ<sub>100</sub> Bestandsmodells.

Die Ausdehnung des Modells quer zur Fließrichtung orientiert sich an der Ausdehnung der Überschwemmungsflächen bei HQ<sub>extrem</sub> gemäß HWGK 2013 zuzüglich eines Puffers. Damit ist sichergestellt, dass das gesamte Überschwemmungsgebiet vom Modell erfasst wird. Das Modell deckt eine Fläche von 362 km<sup>2</sup> ab.

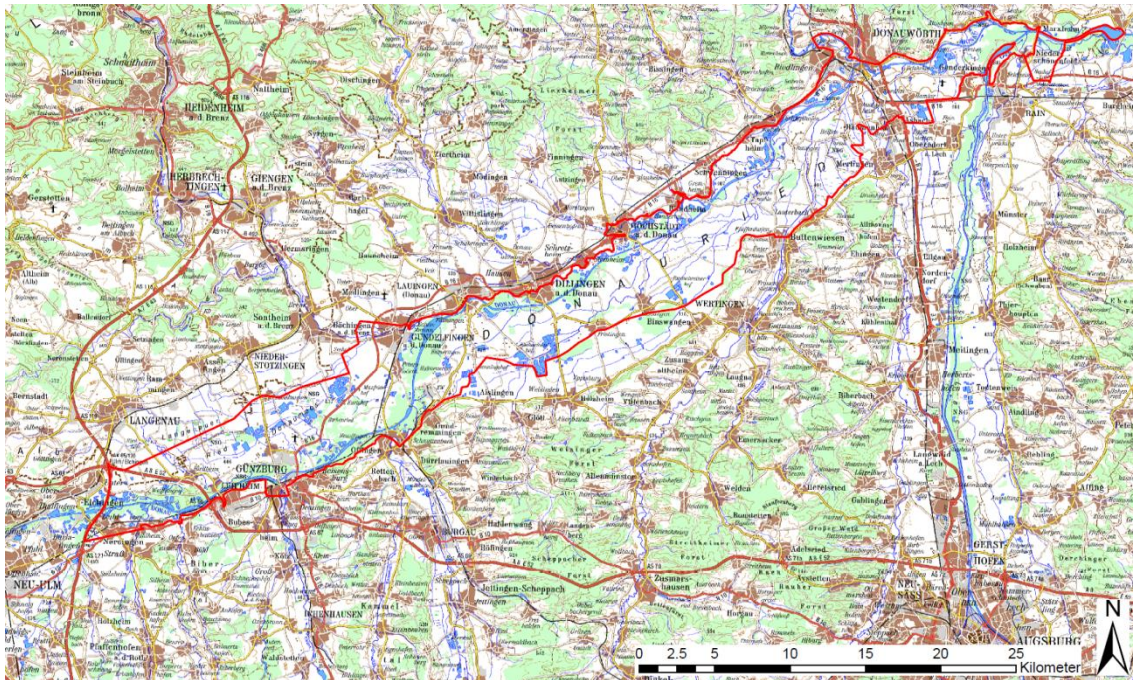


Abbildung 1: Übersichtslageplan (ohne Maßstab) mit Umgrenzung des 2d-Modells

Die Nebengewässer (siehe Punkt 3.2.2) wurden ab dem Eintritt in das Modellgebiet abgebildet und stellen die seitlichen Zuflüsse zur Donau dar.

### 3 Datengrundlage

Folgende Daten stehen für die Fortschreibung des 2d-Modells zur Verfügung.

#### 3.1 Bestandsmodelle

Für die Modellerstellung stehen diverse 2d-Modelle der Donau und ihrer Nebengewässer zur Verfügung.

Hauptbestandteil der Modellfortführung sind dabei die bestehenden Donaumodelle:

- 2d-Modell Günzburg
- 2d-Modell Dillingen
- 2d-Modell Donauwörth
- 2d-Modell Ingolstadt

Für das Modellgebiet liegt eine neuere, detailliertere Laserscanbefliegung (siehe Punkt 3.3.1) vor. Mit diesen Vorlandhöhen wurde das Vorlandnetz bis Marxheim fortgeschrieben und die Modelle zu einem Gesamtmodell zusammengefasst. Ab Marxheim wurde der Flussschlauch und das südliche Vorland des (erweiterten  $HQ_{\text{extrem}}$ ) Modells Ingolstadt bis zur Staustufe Bertoldsheim übernommen.

Als weitere Datengrundlage stehen zudem folgende 2d-Modelle zur Verfügung:

- 2d-Modell der Brenz
- 2d-Modell der Egau (HWGK)
- 2d-Modell des Klosterbaches (HWGK)
- 2d-Modell der Glött
- 2d-Modell der Iller
- 2d-Modell der Kessel
- 2d-Modell des unteren Lechs
- 2d-Modell des Zwergbaches
- 2d-Modell der Schmutter
- 2d-Modell der Donau, Ingolstadt
- 2d-Modell der Wörnitz (HWGK)

## **3.2 Flussschlauch**

### **3.2.1 Donau**

Das Flussschlauchnetz der Donau wurde aus den Bestandsmodellen übernommen. Für die notwendigen Sohlhöhen stehen Querprofilaten der Donau aus verschiedenen Jahren im 200 m-Abstand zur Verfügung.

### **3.2.2 Nebengewässer**

Folgende modellierte Flussschläuche der Nebengewässer wurden aus den Bestandsmodellen übernommen:

- Binnenentwässerung Oberelchingen
- Binnenentwässerung Leipheim
- Leibi

- Roth
- Biber
- Nau
- Günz
- Binnenentwässerung Faimingen
- Binnenentwässerung Dillingen
- Binnenentwässerung Höchstätt
- Binnenentwässerung Schwenningen
- Mindel
- Brenz
- Glött
- Egau
- Klosterbach
- Landgraben/Glöttgraben
- Kessel
- Zusam
- Wörnitz
- Schmutter
- Egelseebach
- Lech

### **3.3 Vorland**

Für die Vorlandnetzerstellung stehen folgende Daten zur Verfügung.

#### **3.3.1 DGM**

Das neue Vorlandnetz bis Marxheim wurde auf Grundlage von Laserscandaten im 1 m Raster erstellt. Diese Daten liegen in der Projektion DHDN3, Gauss-Krüger Zone 4 (EPSG: 31468) vor.

Für das Projekt wurde zunächst das DHHN12 als zu verwendendes Höhensystem festgelegt. Die ursprünglichen Laserscandaten liegen im DHHN92 vor. Die Ursprungsdaten wurden vom WWA Donauwörth anhand der nächstgelegenen Höhenfestpunkte in das DHHN12 überführt und anschließend für den Modellaufbau verwendet.

Die Kalibrierung sowie die Validierung des Modells wurden im DHHN12 durchgeführt. Im Zuge der deutschlandweiten Einführung des DHHN2016 zum 30.06.2017 wurde anschließend das 2d-Modell durch das WWA vom DHHN12 in das DHHN2016 überführt und im Höhensystem DHHN2016 der Bezugszustand und die Planungszustände behandelt.

Die Aufnahmejahre der verschiedenen Datensätze sind in Abbildung 2 dargestellt.

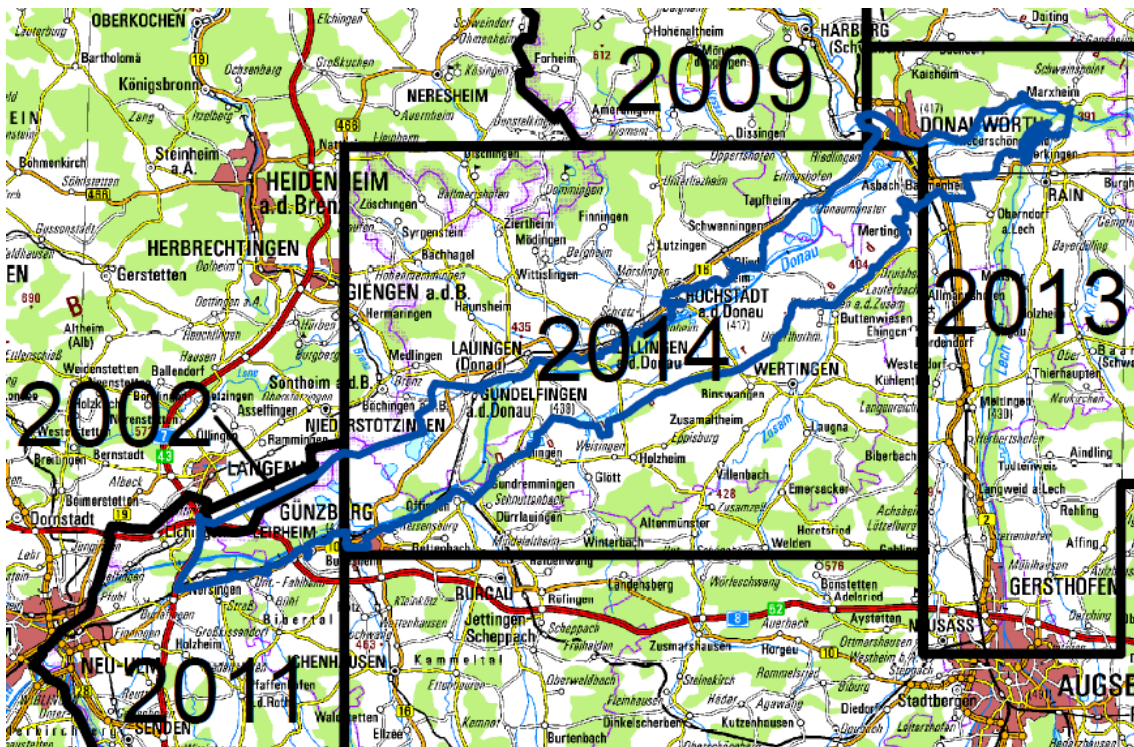


Abbildung 2: Kacheln und Aufnahmejahre der Laserscandaten, in blau die Umgrenzung des fortgeschriebenen 2d-Modells

### 3.3.2 Landnutzungsdaten

Für die Materialbelegung des 2d-Modells stehen die aktuellen ATKIS-Daten von Bayern zur Verfügung. Für den kleinen Modellbereich, der in Baden-Württemberg liegt, stehen keine aktuellen Daten zur Verfügung, dort wurde auf die Daten aus dem Bestandsmodell zurückgegriffen.



### 3.3.3 Vermessungsdaten

Von den relevanten Stauhaltungs- und HWS-Anlagen liegen linienförmige Vermessungen mit einem Punktabstand von in der Regel 20 m bis 50 m vor.

In Anlage 4.1.1 sind die vorhandenen Vermessungsdaten der Vorlandstrukturen (mit Aufnahmedatum falls vorhanden) zusammengestellt. Relevante Vorlandstrukturen, von denen keine Vermessungsdaten vorlagen, wurden in März und April 2017 terrestrisch vermessen.

### 3.4 Bauwerke

Folgende Bauwerksdaten sind für das 2d-Modell relevant.

#### 3.4.1 Staustufen

Im Modellgebiet (siehe Punkt 2) befinden sich folgende neun Staustufen der BEW und eine Staustufe der Uniper:

- Leipheim
- Günzburg
- Offingen
- Gundelfingen
- Faimingen
- Dillingen
- Höchstädt
- Schwenningen
- Donauwörth
- Bertoldsheim (Uniper)

Für diese Staustufen sind alle relevanten Daten (Bescheide, Stauziele, Überstauregelungen, Abflüsse  $HQ_{100}$  und  $HQ_{\text{extrem}}$ , Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastung) vorhanden (siehe Anlage 4.1.3). Damit konnten die für das 2d-Modell notwendigen Wasserstands-Abfluss-Beziehungen (im Folgenden als *W-Q-Beziehung* bezeichnet) für alle Staustufen aufgestellt werden. Die aufgestellten W-Q-Beziehungen wurden seitens der Betreiber bestätigt.



Aktuell gelten für die Staustufen Faimingen, Dillingen, Höchstädt und Bertoldsheim Überstauregelungen im Hochwasserfall.

### **3.4.2 Brücken**

Für die Modellierung der Brücken werden die Pfeilergeometrien, Widerlagergeometrien und Konstruktionsunterkanten benötigt.

Diese Daten wurden den Bestandsmodellen sowie ergänzend Bestandsplänen und be-  
maßten Bauwerksskizzen entnommen. Ergänzend wurden einige Brücken im März und  
April 2017 terrestrisch vermessen.

Die Brücken sowie die jeweiligen Datenquellen sind in Anlage 4.1.2 zusammengestellt.

### **3.4.3 Durchlässe**

Die Daten der Durchlässe sind in den Bestandsmodellen hinterlegt und wurden aus  
diesen übernommen.

## **4 Verwendete Software**

Für die Netzerstellung und die Berechnungen kommt folgende Software zum Einsatz:

- Laser\_As-2d, Version 1.0 (Netzerstellung)
- Flussschlauchgenerator, Version 1.0 (Netzerstellung)
- SMS, Version 11.2.16 (Pre- und Postprocessing)
- Hydro\_As-2d, Version 4.2.7 (Solver)

## **5 Allgemeine Festlegungen zur Modellerstellung**

### **5.1 Flussschlauch**

Das Flussschlauchnetz der Donau und der in den Bestandsmodellen modellierten Ne-  
bengewässer wurde aus den Bestandsmodellen übernommen. Anpassungen des Net-  
zes erfolgten nur im Zuge der Modellierung der Brücken (Einbau von Widerlager- und  
Pfeilergeometrien sowie Konstruktionsunterkanten).

Für das Modell zur Kalibrierung (HW2013) wurden die Querprofilaufnahmen aus den Jahren 2013 und 2014 auf das Flussschlauchnetz interpoliert. Die genauen Aufnahmedaten sind in Anlage 4.1.5 aufgelistet. Die Querprofile wurden nach dem Hochwasserereignis 2013 aufgenommen. Für den Abschnitt von der Staustufe Donauwörth bis zur Brücke der B2 wurde eine flächige Fächerecholotaufnahme aus dem Jahr 2013 (aufgenommen im Juli 2013 nach dem Hochwasserereignis) verwendet. An der Brücke der Augsburgers Straße in Donauwörth wurde ein am 23.02.2010 aufgenommenes Querprofil eingebaut, da dieses einige Hochpunkte in der Sohle abbildet.

Für das Modell zur Validierung (HW1999) wurden die Sohllagen von 2001/2002 verwendet. Die genauen Aufnahmedaten sind in Anlage 4.1.4 aufgeführt. Zusätzlich wurden auch hier die Hochpunkte in der Sohle bei der Augsburgers Straße in Donauwörth über das oben genannte Profil von 2010 berücksichtigt.

Für das Modell des Bezugszustandes wurden die gleichen Sohllagen wie für das Modell zur Kalibrierung verwendet, da dies die aktuellsten Sohlaufnahmen waren.

Für die Prognoserechnungen der Planzustände wurden ebenfalls die Sohllagen aus dem Modell der Kalibrierung bzw. des Bezugszustandes verwendet. Maximale Anlandungshöhen in den Stauräumen sind nicht bekannt und konnten daher nicht berücksichtigt werden.

Die Materialbelegung und die Stricklerwerte wurden in einem ersten Schritt aus den Bestandsmodellen übernommen. Sofern erforderlich, wurden die Stricklerwerte zur Modellkalibrierung angepasst.

Das fortgeschriebene 2d-Modell wurde im Bereich der Brenz erweitert. Das Flussschlauchnetz der Brenz wurde aus dem Bestandsmodell der Brenz übernommen.

In Donauwörth wurde die Insel Ried mit zugehörigem Seitenarm der Wörnitz sowie den Ufermauern unverändert aus dem HWGK-Modell der Wörnitz übernommen.

## **5.2 Vorland**

### **5.2.1 Laser\_As-2d**

Das Vorlandnetz wurde mit dem Programm Laser\_As-2d neu vermascht. Bis auf die Vermessungsbruchkanten wurden keine weiteren Bruchkanten, wie z.B. Gebäudeumgriffe, Nutzungsgrenzen, Straßenbruchkanten etc. in das Modell aufgenommen. Ge-

bäudeumgriffe wurden nicht berücksichtigt. Bebaute Bereiche wurden über eine entsprechende Materialbelegung berücksichtigt. Straßenbruchkanten und Nutzungsgrenzen wurden nicht berücksichtigt.

Mit dem WWA Donauwörth wurden die in Tabelle 1 dargestellten Parameter der Datei „Laser-in.dat“ abgestimmt. Zusätzlich wurde die maximale Elementgröße auf 1000 m<sup>2</sup> erhöht. Diese Einstellungen entsprechen im Wesentlichen denen des Bestandsmodells Dillingen.

Tabelle 1: Parameter Laser-in.dat

1.0	Rasterabstand (dxy) [m]
0.50, 0.50	Höhentoleranz [m] (dz1: Standardwert, dz2: für mit Tol_z.map definierte Bereiche)
8.0	Redistribute (dl) [m]
1	Radius für die Ermittlung der Maximalwerte (in Hinblick auf Deichkrone), vgl. Handbuch Wichtig: Radius bezieht sich auf den Rasterabstand, z.B. 2 bedeutet Radius = 2 x dxy [m]
1	Koeffizient, kann 0 oder 1 sein 0 = Die Nachbarn - Bruchkantenpunkte wurden für die Bestimmung der Maximalwerte nicht verwendet 1 = Die Nachbarn - Bruchkantenpunkte wurden für die Bestimmung der Maximalwerte verwendet
0.15	Filterungsgrad (0 = keine Filterung; 0.25 = maximale Filterung)
8., 30	Redistribute - Punktabstand [m], (dl) + Winkeländerung für Bruchkanten (Bruch-terrestrisch.map)
6., 30	Redistribute - Punktabstand [m], (dl) + Winkeländerung für Gebäude (Gebäude.map)
15., 30	Redistribute - Punktabstand [m], (dl) + Winkeländerung für Umgrenzung (Umgrenzung.map)
200.	
-----	
Flag	Definiert Qualität des resultierenden DGMS
2, 2	DGM_Qualität = (1...4), dl_min = (1...4) 1 = geringere Genauigkeit, weniger Netzpunkte 4 = höhere Genauigkeit, mehr Netzpunkte

## 5.2.2 Materialbelegung

Die Materialbelegung des Vorlandes erfolgte anhand von ATKIS Daten. Dabei wurden die Material-IDs und Stricklerwerte entsprechend dem Projekt „Hochwassergefahrenkarten Bayern“ vergeben (siehe Tabelle 2).

Tabelle 2: Materialbelegung Vorland

Materialname SMS	Material-ID	kst [m <sup>1/3</sup> /s]	Klassenzugehörigkeit ATKIS
Fliessgewaesser	10	25	Fliessgewässer, Schiffsverkehr
Stehendes_Gewaesser	20	30	Stehendes Gewässer
Bebauung	30	10	Wohnbaufläche (geschlossene Bebauung einschl. Hofflächen, Hausgärten, Ein- und Auffahrten)
Gewerbegebiet	31	12	Industrie- und Gewerbefläche
Sonstige_Siedlungsflaeche	32	12	Fläche gemischter Nutzung bzw. Fläche besonderer funktionaler Prägung (Krankenhaus, Universität etc.)
Siedlungsfreiflaeche	33	16	Sport, Freizeit und Erholung; Friedhof
Abbauflaeche	34	30	Tagebau, Grube, Steinbruch
Verkehrsflaeche	40	40	Platz, Rollbahn, Bahnhofsanlage, Flughafen, Flugplatz, Hafen
Strasse_Weg	41	40	Weg, Straßenverkehr
Ackerland	50	15	Landwirtschaft
Gruenland	51	20	Unkultivierte Fläche
Wald	54	10	Wald (Nadelwald, Laubwald, Mischwald, Forst)
Gehoelz	55	10	Gehölz (Gebüsch, Strauchbewuchs, Baumreihe, Baumgruppe)
Heide_Moor	53	18	Heide, Moor (Moos)
Sumpf_Ried	58	11	Sumpf (Ried, Nasser Boden, Röhricht, Schilf)

Für jedes Nebengewässer wurde ein eigenes Material angelegt. Die Stricklerwerte wurden aus den jeweils aktuellsten Modellen der Nebengewässer übernommen.

Tabelle 3: Materialbelegung Nebengewässer

Materialname SMS	Material-ID	kst [m <sup>1/3</sup> /s]
Leibi	151	29
Roth	152	29
Biber	153	29
Günz	154	30
Nau	155	30
Mindel	156	30
Brenz	157	29
Egau	158	30
Glött Ost	159	29
Glött West	160	29
Klosterbach	161	33
Landgraben	162	29
Kessel	163	30
Zusam	164	30
Schmutter	165	30
Wörnitz	166	35
Egelseebach oberstrom	167	33
Egelseebach unterstrom	168	30
Lech	169	40
Friedberger Ache	170	25
Entwässerungsgräben	171	25

## 5.3 Modellierung von Bauwerken

### 5.3.1 Modellierung der Staustufen

Alle Staustufen wurden über eine W-Q-Beziehung modelliert. Dabei liegt der Auslaufnodestring und der Wiedereinlaufnodestring direkt an den „disable“-Elementen der Staustufe.

Hydro\_As-2d - Version 4.2 bietet neben der bisherigen W-Q-Randbedingung (Bezeichnung: *Auslauf W-Q / Wehr*) eine neue Randbedingung zur abflussabhängigen Wehrsteuerung (Bezeichnung: *H-Wehr (Steuerung)*) und eine Randbedingung zur zeitabhängigen Wehrsteuerung (Bezeichnung *H-Wehr (Zeit)*). Mit der Randbedingung *H-Wehr (Steuerung)* kann eine einfache W-Q-Beziehung ebenso wie eine komplexere Steuerung, etwa mit einer Vorabsenkung und anschließendem Überstau, abgebildet

werden. Zudem muss die W-Q-Beziehung nicht mehr streng monoton steigen, wodurch auch ein konstantes Stauziel vorgegeben werden kann. Mit der Randbedingung H-Wehr (Zeit) kann eine Pegelganglinie, etwa aus einer Pegelaufzeichnung eines vergangenen Ereignisses eingegeben und in der Berechnung exakt abgebildet werden.

Für die Berechnungen kamen wegen der deutlichen Vorteile (konstantes Stauziel, exakte Steuerung) die beiden H-Wehr Randbedingungen für die zehn Staustufen zum Einsatz.

Die W-Q-Beziehungen der Staustufen befinden sich in Anlage 4.1.3 zusammen mit allen relevanten Daten zu den Staustufen.

### **5.3.2 Modellierung der Brücken**

Die Pfeiler und Konstruktionsunterkanten wurden aus den Bestandsmodellen in das fortzuschreibende Modell übernommen.

Weiterhin wurden die Brückenansätze anhand von Planunterlagen und Vermessungsdaten aus März und April 2017 ergänzt. Brückenpfeiler wurden über „disable“-Elemente modelliert. Konstruktionsunterkanten wurden grundsätzlich eingebaut, da somit direkt aus dem Modell und den Ergebnisdaten hervorgeht, ob eine Brücke eingestaut ist oder nicht.

### **5.3.3 Modellierung von Durchlässen**

Durchlässe unter Straßen und Überfahrten etc. wurden aus den Bestandsmodellen übernommen. Die Modellierung erfolgt wie in den Bestandsmodellen mit Nodestrings auf Basis eines eindimensionalen Ansatzes.

## **6 Kopplung Hydrologie**

Die Zuflussganglinien der Donau und Ihrer Nebengewässer wurden grundsätzlich am Eintritt des jeweiligen Flusses in das Modellgebiet angesetzt. Die anzusetzenden Ganglinien wurden ausgehend vom jeweiligen, oberstromigen Pegel mit dem hydrologischen Programm LARSIM durch das WWA Kempten berechnet und übergeben.

## **7 Kopplung Grundwasserhydraulik**

Die Berechnungsergebnisse des fortgeschriebenen 2d-Modells dienen auch als Eingangsdaten für das Grundwassermodell (siehe hierzu Anlage 5).

Die W-Q-Beziehung der Nebengewässer wird über stationäre Berechnungen der Nebengewässer im 2d-Modell ermittelt und das Ergebnis in das Grundwassermodell übernommen. Diese Wasserstands-Abfluss-Beziehungen sind insbesondere für die Kalibrierung des Grundwassermodells wichtig.

Für die Berechnung der Grundwassersituation bei Hochwasser (Nachrechnung von vergangenen Hochwasserereignissen oder auch Prognoserechnungen) wurden auch die (zeitabhängigen) Wasserspiegelhöhen des gesamten Überschwemmungsgebietes übergeben. Diese dienen im Grundwassermodell als Randbedingung an der Geländeoberfläche.



Abbildungsverzeichnis:

Abbildung 1: Übersichtslageplan (ohne Maßstab) mit Umgrenzung des 2d-Modells

Abbildung 2: Kacheln und Aufnahmejahre der Laserscandaten, in blau die  
Umgrenzung des fortgeschriebenen 2d-Modells

Tabellenverzeichnis:

Tabelle 1: Parameter Laser-in.dat

Tabelle 2: Materialbelegung Vorland