

LOS 3 - Saar

Erstellung eines hydrodynamisch-numerischen Modells der Saar von Wittlingen (Frankreich) bis zur Mündung in die Mosel

in der Software Delft3D-Flexible Mesh (2D)

Leistungsbeschreibung

Inhaltsverzeichnis

1	Hintergrund.....	4
1.1	Der Auftraggeber (BfG).....	4
1.2	Einleitung	4
1.3	Zielsetzung.....	4
1.3.1	Modellaufbau.....	5
1.3.2	Modellanwendung	5
1.3.3	Modellauffähigkeit	5
2	Beschreibung des Modellgebiets und Datenbereitstellung durch die BfG	6
2.1	Modellgebiet.....	6
2.2	Modellrandbedingungen	9
2.3	Stauhaltung und Wehrsteuerung	11
2.4	Hochwasserschutzanlagen und weitere Bauwerke	13
2.5	Zusammenfassung der vom AG bereitgestellten Daten	14
3	Grundsätzliche Anforderungen an den Auftragnehmer und seine Bearbeitung	15
3.1	Kommunikation, Dokumentation und Qualitätssicherung	15
3.2	Fachliche Qualifikation.....	15
3.3	IT-technische Voraussetzungen	16
3.4	Qualitätsanforderungen bei der Modellkalibrierung	16
3.4.1	Stationäre Kalibrierung	16
3.4.2	Instationäre Kalibrierung	17
3.4.3	Stationäre und instationäre Validierung.....	17
3.5	Koordinaten- und Höhenbezugssysteme.....	18
3.6	Zeitraumen	18
4	Leistungspositionen im Detail.....	18
4.1	Ablaufplan und strukturierte Datenhaltung als Grundlage für die Datenplausibilisierung ..	18
4.1.1	Ablaufplan	18
4.1.2	Strukturierte Datenhaltung I als Grundlage für die Plausibilisierung der vom AG bereitgestellten Daten	19
4.2	Projektbezogenes DGM-W	20
4.2.1	Allgemeines.....	20
4.2.2	Bezugssystem und Ausgabeformate	20
4.2.3	Aufbereitung der amtlichen DGM1 Daten der Bundesländer	20
4.2.4	Aufbereitung amtlicher DGM-Daten der Nachbarstaaten	22
4.2.5	Aufbereitung der bereitgestellten Gewässerbodeninformationen.....	22
4.2.6	Aufbereitung der Wasserbauwerkinformationen.....	22
4.2.7	Einbindung der DBWK2-Daten	22
4.2.8	Einbindung bestehender DGM-W Daten der Bundesländer.....	22
4.2.9	Einbindung von Buhnen	22
4.2.10	Ableitung eines DGM-W Modells Typ A und Typ B	23
4.2.11	Bearbeitungsabschnitte	25
4.2.12	Metadaten und Bericht.....	25
4.3	Strukturierte Datenhaltung II als Grundlage für die Erstellung der FLYS-Datensätze und für das hydraulische Modell	25
4.4	Ableitung von Geodaten und modellrelevanten Fachdaten für den Flusshydrologischen Fachdienst der BfG (FLYS).....	27
4.4.1	Erstellung der Geobasisdaten für den FLYS-Datensatz.....	27

4.4.2	Zuschnitt von ESRI-TINs aus Kapitel 4.2	27
4.5	Erstellung des Delft3D-FM-Modells für die Saar	28
4.5.1	Delft3D-FM Modell: Konzeption, Abflussbilanzen und Kalibrierstrategie	28
4.5.2	Erstellung des Rechnernetzes	29
4.5.3	Zuweisung von Geländehöhen	30
4.5.4	Zuweisung von Rauheiten	30
4.5.5	Bauwerke und Bauwerkssteuerung	30
4.5.6	Stationäre hydraulische Kalibrierung	31
4.5.7	Instationäre hydraulische Kalibrierung.....	32
4.5.8	Stationäre und instationäre Validierung.....	32
4.6	Modellanwendungen des Delft3D-FM-Modells der Saar.....	33
4.6.1	Wasserspiegellagen und weitere Daten für den Fachdienst FLYS	33
4.6.2	Durchführung von stationären Modellberechnungen für n-1 Fall (inkl. Auswertung, Visualisierung und Dokumentation)	35
4.7	Projektbesprechungen	36
4.8	Abschlussbericht.....	36
5	Nachhaltigkeit.....	37
6	Anlagen	38
7	Literaturverzeichnis	39

1 Hintergrund

1.1 Der Auftraggeber (BfG)

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) ist eine im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Digitales und Verkehr (BMDV) eingerichtete Bundesoberbehörde mit Sitz in Koblenz. Als wissenschaftliches Institut des Bundes für Forschung auf den Gebieten Gewässerkunde, Wasserwirtschaft, Gewässerschutz sowie Ökologie berät sie die Bundesministerien und deren nachgeordneten Dienststellen in Grundsatz- und Einzelfragen. Die BfG berät gleichermaßen die Behörden der WSV gemäß § 45 Abs. 3 Bundeswasserstraßengesetz im Rahmen der Planung, des Aus- und Neubaus sowie des Betriebes und der Unterhaltung der Bundeswasserstraßen (BWaStr). Sie wertet die wissenschaftlichen Erkenntnisse und Erfahrungen des In- und Auslandes aus und arbeitet in nationalen und internationalen Organisationen und Gremien mit. Ergänzende Informationen: <https://www.bafg.de>.

1.2 Einleitung

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) beabsichtigt zur Wahrnehmung ihrer Aufgaben gegenüber der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), gegenüber dem Bundesministerium für Umwelt, Klimaschutz, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU-KN) im Rahmen des Nationalen Hochwasserschutzprogramms (NHWSP) und für Forschungszwecke die Erstellung, Kalibrierung und Anwendung eines hydrodynamischen 2D-Modells auf Basis der Software **Delft-3D-Flexible-Mesh** für die Bundeswasserstraße Saar von Wittringen (F) bis zur Mündung in die Mosel bei Konz zu beauftragen.

Die Station Wittringen am oberen Modellrand (~ 13 km oberhalb der deutsch-französischen Grenze) wird zwecks eines Überschneidungsbereichs für den Abgleich mit einem französischen Modell gewählt und erfolgt somit im Kontext der internationalen Zusammenarbeit. Das französische Modell für die Saar, das auf deutscher Seite bis Saarbrücken-St. Arnual reicht, wird aktuell im Auftrag des *Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle* im Rahmen eines Hochwasserschutzaktionsplans erstellt. Es wird in der Software HEC-RAS aufgebaut und besteht aus 19 Teilmodellen. Sieben dieser Teilmodelle sind ausschließlich 1D-Modelle, die restlichen 12 bestehen aus 2D- und 1D-Bereichen. Das HEC-RAS-Modell einschließlich Berichten wird dem AN im Rahmen des Aufbaus des Delft3D-FM-Modells für die Saar zur weiteren Verwendung zur Verfügung gestellt. Verschiedene Daten, Angaben und modelltechnische Umsetzungen im Bereich der grenznahen frz. Saar und Blies sind dem HEC-RAS-Modell zu entnehmen (siehe Ausführungen weiter unten).

Mit dem zu erstellenden Delft3D-FM-Modell für die Saar müssen u.a. stationäre Wasserspiegellagen für unterschiedliche Abflusszustände und Anwendungsfälle (gewässerkundliche Ist-Beschreibung, n-1-Fall) berechnet werden, die Bestandteile eines neu aufzubauenden Datensatzes der Saar für den Fachdienst FLYS der BfG werden.

1.3 Zielsetzung

Die zu erbringende Leistung besteht in der Erstellung eines anwendungsreifen Delft-3D-Flexible Mesh-Modells (D3D-FM-Modells) für die Saar zwischen Wittringen (Frankreich, ca. 13 km oberhalb der deutsch-französischen Grenze) und der Mündung in die Mosel bei Konz (Saar-km 0). Zur verlässlichen Abbildung der Abfluss- und Wasserstandsverhältnisse im Mündungsbereich beinhaltet das Modell zusätzlich auch den Abschnitt der Mosel zwischen km 203,7 und km 198,2 im Oberwasser der Moselstaustufe Trier. Das Modell muss den gesamten Abflussbereich von Niedrigwasser (NW) bis zu extremen Hochwassern (HW_{extrem}) beschreiben können. Alle abflussrelevanten Prozesse inkl.

bestehender Bauwerke und deren Betrieb sind in der 2D-Modellierung abzubilden. Es muss auf der gesamten Modellstrecke den Ansprüchen der unterschiedlichen stationär und instationär zu modellierenden Anwendungsfälle (u.a. gewässerkundliche Ist-Beschreibung und Szenarienrechnungen) genügen.

1.3.1 Modellaufbau

Neben Saar und Mosel (Mündungsbereich) sind im Modell die unteren Gewässerstrecken der Blies (ab Pegel Reinheim), der Prims (etwas unterhalb Pegel Nalbach) und der Nied (ab Rehlingen-Siersburg) sowie die Mündungsbereiche weiterer Saaruflüsse (z.B. Köllerbach, Rossel, Bist und Leuk) hydraulisch abzubilden. Das Modell umfasst somit eine Gewässerlänge von **ca. 169 km**. Hierbei entfallen ca. 118 km auf die Saar¹, knapp 6 km auf die Mosel, ca. 31 km auf die großen Nebenflüsse (Blies, Prims, Nied) und ca. 14 km auf Mündungsbereiche von kleineren Nebenflüssen.

Um strecken- und wasserstandsabhängige Fließwiderstände berücksichtigen zu können, ist die Abbildung des Bewuchses im Delft3D-FM Modell in Form von flächenhaften *trachytopes* (Zonen gleicher wasserstandsabhängiger Rauheitsansätze) vorgesehen.

Im Modell ist die aktuelle Stauzielregelung der Wehre an Saar und Blies abzubilden und Hochwasserschutzstrukturen (bspw. Deiche) sowie weitere, strömungsbeeinflussende Bauwerke (bspw. Leitwerke) in und an der Saar sowie in den Mündungsbereichen der Nebengewässer in ihrer Geometrie sowie Funktion zu berücksichtigen. Für die Steuerung der beweglichen Wehre an Saar und Blies ist die zu erstellende Delft3D-FM-Modellinstanz mit einem ebenfalls zu erstellenden Real-Time-Control-Modell (RTC-Modellinstanz) zu koppeln/erweitern².

1.3.2 Modellanwendung

Das Modell muss im Rahmen der Beauftragung angewendet werden, um für 30 gleichwertige Abflusslängsschnitte stationäre Wasserspiegellagen der Saar zu berechnen und darauf basierend die Abflusskurven der wichtigsten Saarpegel zu plausibilisieren. Ebenso ist es Bestandteil des Projekts, resultierende Wasserspiegellagen für n-1-Fälle für alle Stauhaltungen der Saar zu berechnen. Diese Modellergebnisse gehen in einen Fachdatensatz für den Flusshydrologischen Fachdienst FLYS der BfG ein, der ebenfalls im Rahmen des ausgeschriebenen Auftrags abzuleiten ist. Für ausgewählte Haupt- und Extremwerte des Abflusses müssen die resultierenden Überschwemmungsflächen, Wassertiefen und Strömungsverhältnisse kartografisch bereitgestellt und ausgewertet werden. Ergänzende Informationen zu FLYS finden sich unter: <https://www.bafg.de/FLYS>.

1.3.3 Modelltauglichkeit

Das Delft3D-FM-Modell muss beim AG sowohl auf einem Windows-PC mit 4 Rechenkernen als auch auf einem Rechencluster mit bis zu 7 Knoten zu je 48 Rechenkernen und LINUX-Betriebssystem betrieben werden können. Aufgrund des großen Umfangs des Modellgebietes und der vielfältigen Nachnutzungsbedarfe ist auf die Strukturiertheit der Datenhaltung ein besonderes Augenmerk zu legen.

In der vorliegenden Leistungsbeschreibung werden Zielsetzung und Umfang des Auftrags im Detail beschrieben. Kapitel 2 stellt das Modellgebiet mit Randbedingungen, Stauhaltungsbauwerken und sonstigen, strömungsrelevanten Strukturen (bspw. HWS-Anlagen, Durchlässe) vor. In Kapitel 3

¹ Ausgewiesene Fließstrecke bezieht sich auf einfachen Fließweg; zusätzlich sind parallel verlaufende Gewässerstrecken zu berücksichtigen, darunter besonders der Saarkanal in Frankreich (ca. 12 km) und der Wiltinger Bogen bei Schoden (ca. 8 km).

² Das RTC-Modell ist als Modul direkt in der Delft3D-FM-Suite enthalten.

werden grundlegende fachliche und IT-technische Anforderungen an den Auftragnehmer benannt. Kapitel 4 erläutert die zu erbringenden Leistungen strukturiert in ihren wesentlichen Merkmalen. Kapitel 5 geht auf Nachhaltigkeitsaspekte ein. Kapitel 6 enthält eine Übersicht zu den Anlagen und Kapitel 7 das Literaturverzeichnis.

2 Beschreibung des Modellgebiets und Datenbereitstellung durch die BfG

2.1 Modellgebiet

Das Modellgebiet der 2D-Modellierung an der Saar erstreckt sich von Wittringen (Frankreich, ca. 13 km oberhalb der deutsch-französischen Grenze) über rd. 118 km bis zur Mündung in die Mosel bei Konz (Abbildung 2-1). Angeschlossene Alt- bzw. Nebenarme, angeschlossene Seen, Häfen und potentielle Überschwemmungsflächen hinter Strukturen wie bspw. Hochwasserschutzanlagen sind im Modell entsprechend der vorliegenden Datenbasis zu berücksichtigen. Die Gesamtfläche des Modells beträgt ca. 134 km².

Die bedeutendsten Nebenflüsse der Saar sind auf größeren Strecken (Blies, ca. 20 km) bzw. kurzen Strecken (Nied, Prims, ca. 4-6 km) hydraulisch im Modell zu berücksichtigen. Kleinere Nebenflüsse werden nur direkt im Saarmündungsbereich hydraulisch abgebildet (Saarbach, Rohrbach, Sulzbach, Fischbach, Köllerbach, Rossel, Bist, Ellbach, Seffersbach, Leuk). Weitere Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet sind als punktuelle bzw. diffuse laterale Zuflüsse zu implementieren (siehe Tabelle 1).

In Abbildung 2-1 ist die räumliche Ausdehnung des zu modellierenden Gebietes in einer Kartenansicht mit den Staats- und Bundeslandgrenzen dargestellt. Ebenfalls sind die Staustufen der Saar, die bedeutendsten Zuflüsse und die wichtigsten Pegel dargestellt.

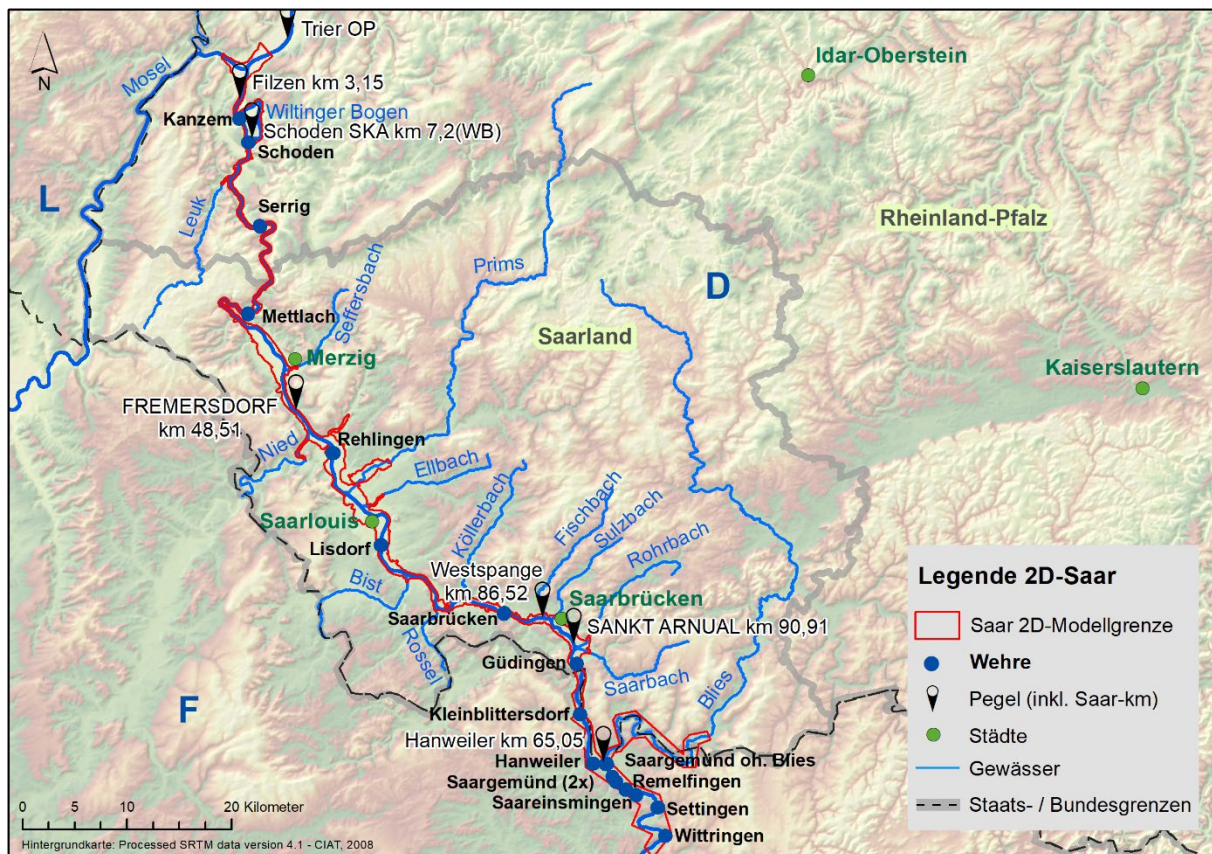


Abbildung 2-1: Räumliche Ausdehnung des Saar-Modellgebiets und wichtige Eigenschaften

Das vorläufige, als Produkt des Auftrags zu aktualisierende bzw. neu zu erstellende Modellschema in Abbildung 2-2 zeigt die wichtigsten Modellknoten (Pegel, Wehre und Nebengewässermündungen).

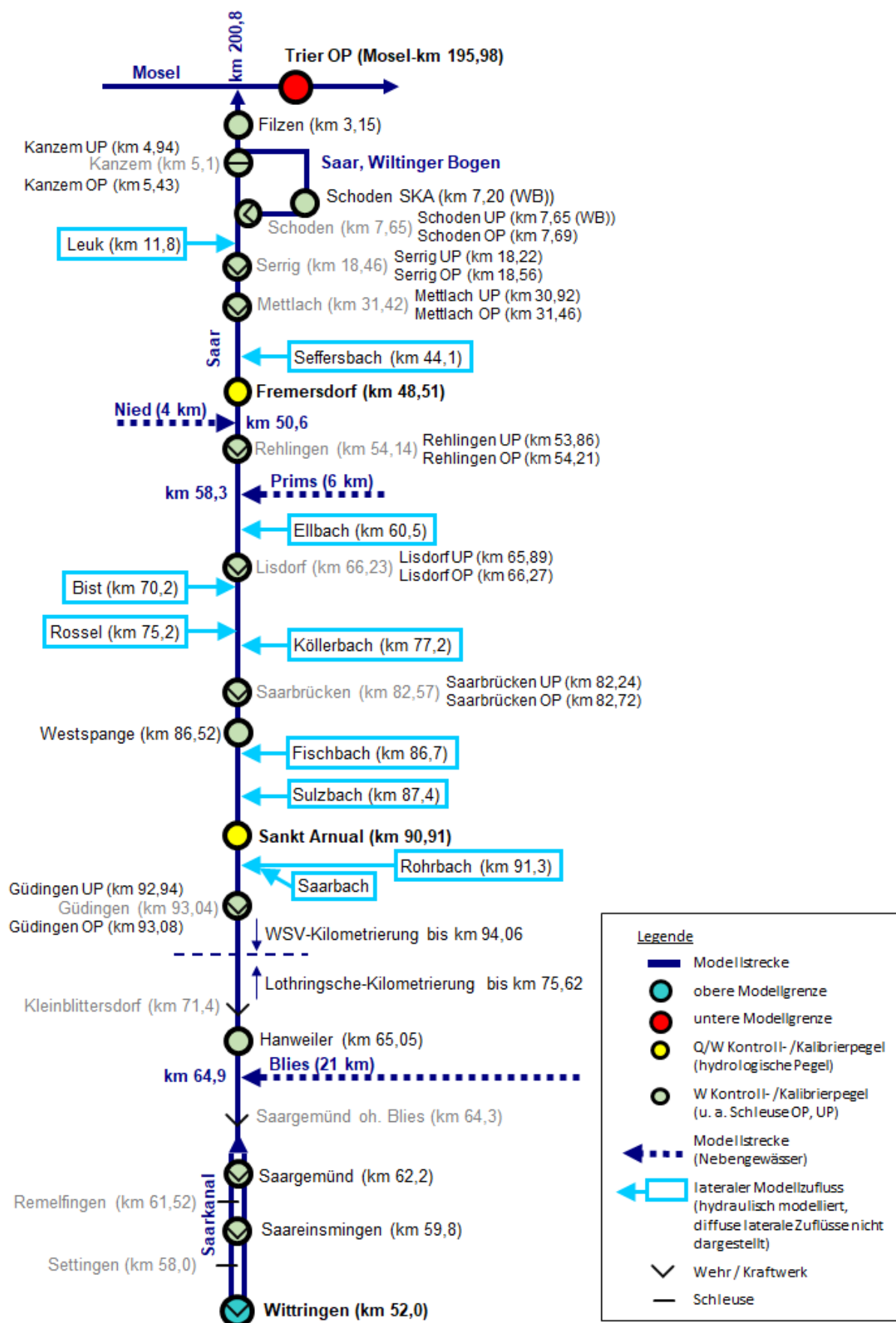


Abbildung 2-2: Basis-Modellschema des zu erzeugenden 2D-Modells

2.2 Modellrandbedingungen

Die Eingangspegel, auch an den Nebengewässern, die im Delft3D-FM-Gesamtmodell zu berücksichtigen sind, sind in Tabelle 1 aufgeführt. Nebenflüsse, für die Abflusszeitreihen und auch Peildaten für die Gewässersohle vorliegen, werden im Bereich der Modellgrenze hydraulisch modelliert. Hierzu zählen Blies, Prims, Nied (die größten Zuflüsse) sowie Saarbach, Rohrbach, Sulzbach, Fischbach, Köllerbach, Rossel, Bist, Ellbach, Seffersbach und Leuk. Sonstige Zuflüsse, für die zwar Pegelzeitreihen, aber keine Gerinnetdaten vorliegen, werden als punktueller lateraler Zufluss (*sources*) im Modell abgebildet. Hierzu zählen auf deutscher Seite nur der Kohlenbrucher Bach (unterhalb Merzig) und der Mandelbach (Zufluss der Blies)³. Die auf französischer Seite mündenden Zuflüsse zur Saar (z.B. Achen, Flattwiesergraben, Schwarzbach, Lach) sind entsprechend der Umsetzung im HEC-RAS-Modell entweder punktuell oder diffus zu berücksichtigen (siehe Abschnitt 1.2).

Soweit für die kleineren Nebengewässer keine hydrologischen Messdaten an Pegeln vorliegen, sind in Abstimmung zwischen AG und AN sinnvolle Annahmen zu treffen und diese dann als sog. diffuse laterale Zuflüsse (*sources*) über den jeweiligen Gewässerabschnitt zu berücksichtigen. Die zeitliche Translation des Abflusses sowie die Abflusszunahme vom Eingangspegel bis zum Modellknoten sind für die nicht hydraulisch abgebildeten Nebenflüsse bzw. Nebenflussabschnitte mit Hilfe einer Abflussbilanz zwischen den Saarpegeln bzw. weiterer fachlich anerkannter Vorgehensweisen vom AN abzuschätzen und mit dem AG abzustimmen. Dies betrifft in gleicher Weise auch diffuse Abflüsse aus nicht durch Pegel erfasste, unmittelbar an die Saar angrenzende Einzugsgebiete, die bei Bedarf und nach Abstimmung mit dem AG im Modell zu implementieren sind. Als Grundlage hierfür stellt der AG neben Abflussganglinien an den Saarpegeln auch ältere Modellberichte (siehe Anlage 1) bereit, in denen die damals verwendeten Translationsfaktoren dokumentiert sind.

Tabelle 1: Vorgesehene hydrologische Randbedingungen des Delft3D-FM-Modells der Saar inkl. Blies

Pegel / ZWEZG	Gewässer	Entfernung zur Mündung [km]	Zufluss [Saar-km]	Typ der Randbedingung
Wittringen (F)	Saar		ca. 13 km oh. Staatsgrenze ⁴	ORB, Q
ZWEZG 1	u.a. Achen, Flattwiesergraben, Schwarzbach, Lach			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss bzw. Implementierung wie in HEC-RAS ⁵
Reinheim	Blies	20,69	65,1 (lothr. km)	Q
ZWEZG 2	u.a. Mandelbach, Heuwiesbach, Schellbach, Bübinger Mühlenbach			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Fechingen	Saarbach	2,95	91,3	Q
Schafbrücke	Rohrbach	2,30	91,3	Q
ZWEZG 3	u.a. Tabaksmühlenbach, Kieselbach			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Jägersfreude	Sulzbach	4,04	87,4	Q
Rußhütte	Fischbach	2,84	86,7	Q

³ Für den Kohlenbrucherbach sowie den Mandelbach liegen zwar Pegelmessreihen vor; aufgrund der geringen Abflussmengen (MQ=0,1 m³/s bzw. 0,2 m³/s) müssen sie jedoch nicht zwangsläufig punktuell dargestellt werden, sondern können auch als Teil des diffusen Zwischenabflusses implementiert werden (Vorschlag siehe Tabelle 1).

⁴ Französische Kilometrierung oberhalb der Bundesgrenze bei Saareguemines unbekannt.

⁵ Pegeldatenverfügbarkeit unklar; Umsetzung entsprechend dem frz. HEC-RAS-Modell (siehe Kap. 1.2).

Pegel / ZWEZG	Gewässer	Entfernung zur Mündung [km]	Zufluss [Saar-km]	Typ der Randbedingung
ZWEZG 4	u.a. Pulverbach, Burbach, Aschbach			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Völklingen	Köllerbach	1,64	77,2	Q
Geislaubern	Rossel	3,28	75,2	Q
ZWEZG 5	3 Zuflüsse (Wahlenbach, Rittersbach, Heiligenborn)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Überherrn	Bist	11,23	70,2	Q
ZWEZG 6	u.a. Brommersbach, Schwalbach, Fraulaubenerbach			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Roden	Eilbach	1,19	60,5	Q
ZWEZG 7	1 Zufluss (Wallerfanger Bach)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Nalbach	Prims	7,51	58,3	Q
ZWEZG 8	u.a. Haienbach, Itzbach, Kondeler Bach, Mühlenbach			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Niedaltdorf	Nied	14,28	50,6	Q
ZWEZG 9	u.a. Hombach, Harlungerbach, Kleiner Monbach			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Merzig	Seffersbach	1,24	44,1	Q
ZWEZG 10	u.a. Schinkenlochbach, Kohlenbrucherbach, Salzbach, Serrigerbach			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Saarlouis 2	Leuk	1,20	11,8	Q
ZWEZG 11	Ockfenerbach, Langwiesbach			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Randbedingung: Trier OP -W Ganglinien bzw. W-Q-Beziehung	Mosel		Mosel-km 195,98	URB, W oder WQ
Randbedingung: Ableitung aus 1D Modell Mosel (stationär) bzw. Ableitung aus Pegel Sauer und Perl (instationär)	Mosel		Mosel-km 203,60	ORB, Q

[ZWEZG = Zwischeneinzugsgebiet, ORB = obere Randbedingung, Q = Abfluss, URB = untere Randbedingung, W = Wasserstand, W/Q = Abflusskurve]

Für die Abflussbilanz sind die bereitgestellten Datenreihen der in Tabelle 2 dokumentierten Saar-Abflussmessstellen zu verwenden. Hauptpegel der Saar mit Abflusskurven sind die Pegel Sankt Arnual und Fremersdorf (frz. Pegel derzeit noch unklar). Des Weiteren liegen langjährige Abflusszeitreihen ortsfester Abflussmessanlagen für die Pegel Saarbrücken-Westspange und Filzen sowie der Seilkrananlage (SKA) in Schoden vor, die jedoch im Jahr 2022 außer Betrieb genommen wurde. Die übrigen Messstellen sind reine Betriebspegel der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung (WSV) an den

Stauanlagen, für die nur die Wasserstände kontinuierlich aufgezeichnet werden. Für diese Stauanlagen liegen teilweise aber für einzelne Zeiträume der jüngeren Vergangenheit zusätzlich auch Abflussganglinien (ungeprüfte Rohdaten, in Klammern gesetztes „x“ in Tab. 2) vor sowie vom WSA vorgegebene Kraftwerksabflüsse (Q_KW). Diese können dem AN bei Bedarf zur Verfügung gestellt werden.

Tabelle 2 listet die Pegel an der Saar auf, wobei in Spalte 4 und 5 Informationen zur Art der Aufzeichnungsdaten (Wasserstand: W, Abfluss: Q) genannt werden.

Tabelle 2: Pegel mit W- und Q-Zeitreihen an der Saar (WB = Wiltinger Bogen)

Station ⁶ [Saar-km (WSV bzw. lothr. km)]	PNP [m+ NHN; DHHN2016] ⁷	Pegel	W	Q	Betreiber
~52,00	200,965	Wittringen (F)	x	x	Frankreich
59,80	195,380	Saareinsmingen (F) ⁸	x	x	Frankreich
62,20	191,510	Saargemünd (F) ⁹	x	x	Frankreich
65,05	189,731	Hanweiler	x		WSA Mosel Saar Lahn
93,084	183,093	Güdingen OP	x		WSA Mosel Saar Lahn
92,940	183,237	Güdingen UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
90,906	183,227	Sankt Arnual	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
86,516	183,211	Saarbr.-Westspange	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
82,715	183,203	Saarbrücken OP	x	(x)	WSA Mosel Saar Lahn
82,242	177,253	Saarbrücken UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
66,269	177,254	Lisdorf OP	x	(x)	WSA Mosel Saar Lahn
65,885	173,457	Lisdorf UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
54,207	173,481	Rehlingen OP	x	(x)	WSA Mosel Saar Lahn
53,861	165,479	Rehlingen UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
48,514	165,491	Fremersdorf	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
31,464	165,495	Mettlach OP	x	(x)	WSA Mosel Saar Lahn
30,917	154,494	Mettlach UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
18,557	154,501	Serrig OP	x	(x)	WSA Mosel Saar Lahn
18,223	140,002	Serrig UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
7,689	140,010	Schoden OP	x	(x)	WSA Mosel Saar Lahn
7,660 (WB)	133,009	Schoden UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
7,197 (WB)	133,007	Schoden SKA		x	WSA Mosel Saar Lahn
5,427	140,015	Kanzem OP	x	(x)	WSA Mosel Saar Lahn
4,940	128,263	Kanzem UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
3,150	128,260	Filzen	x	x	WSA Mosel Saar Lahn

2.3 Stauhaltung und Wehrsteuerung

Im Zuge des Ausbaus der Saar zur Großschifffahrtsstraße **zwischen Saarbrücken und der Mündung** wurden zwischen 1973 und 1999 insgesamt sechs Stauanlagen, bestehend aus Wehr und Schleuse, errichtet (Saarbrücken, Lisdorf, Rehlingen, Mettlach, Serrig und Schoden). Abbildung 2-3

⁶ Die Kilometrierung der Saar oberhalb von Güdingen, wo die Saar erst Grenzfluss und dann frz. Gewässer ist, erfolgt in der sog. „lothringischen Kilometrierung“ (grau-kursiv dargestellt).

⁷ Die drei aufgeführten frz. Pegelnulldpunkte (für Wittringen, Saareinsmingen und Saargemünd) liegen im Höhenbezugssystem NGF-ING 1969 vor (Nivellement Générale de la France; EPSG: 5720) (dunkelrot dargestellt).

⁸ Pegelzeitreihen von 1964–2021 verfügbar auf: <https://www.hydro.eaufrance.fr/stationhydro/A931108050/fiche>.

⁹ Pegelzeitreihen von 2007–2022 verfügbar auf: <https://www.hydro.eaufrance.fr/stationhydro/A931108060/fiche>.

zeigt beispielhaft einen Lageplan mit den wesentlichen Elementen und Abmessungen der Stautufen an der Saar. Alle Stauanlagen bestehen aus zwei Schleusen, einem beweglichen Wehr und einer Wasserkraftanlage mit je zwei Rohrturbinen (Schluckfähigkeit der Kraftwerke zwischen 26 m³/s und 102 m³/s). Oberhalb und unterhalb der Stauanlage wurden Vorhäfen errichtet.

Die Steuerung erfolgt für gewöhnlich auf ein definiertes Stauziel im Oberwasser (Stautoleranzbereich von $\pm 15\text{--}20\text{ cm}$). Eine Ausnahme bildet das Wehr Saarbrücken, dessen Steuerung auf Basis des Wasserstands am oberhalb gelegenen Pegel Westspange erfolgt. Im Hochwasserfall wird an den Stauanlagen Lisdorf, Rehlingen, Mettlach, Serrig und Schoden eine Vorentlastung vorgenommen, die sich nach dem Pegelwert in Fremersdorf richtet (HKV-HYDROKONTOR, 2010). Die Wehre und ihre wesentlichen Merkmale sind in Tabelle 3 aufgelistet. Detaillierte Angaben sind der aktuellen Abfluss- und Stauzielregelung (ASR) für die Saar vom 01.01.2022 zu entnehmen (WSA-MSL, 2022a, siehe Anlage 3).

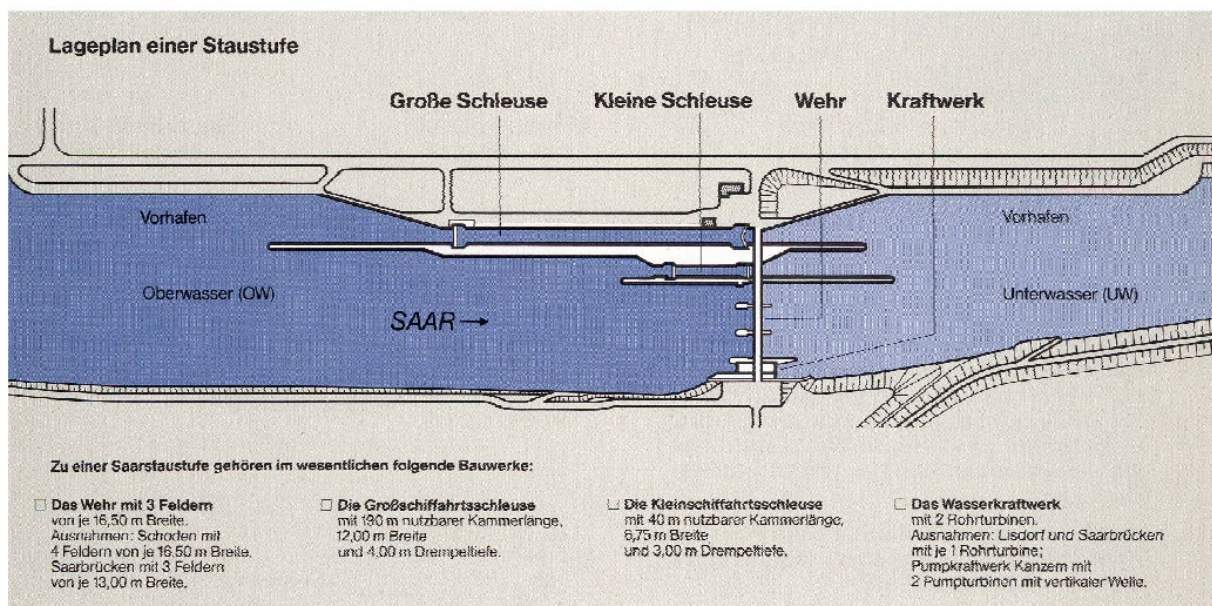


Abbildung 2-3: Beispielhafter Lageplan der Stautufen an der Saar von Saarbrücken bis zur Mündung (WSA-Saarbrücken, 1987)

Bei Saarkilometer 93,04 liegt die **Stautufe Güdingen**. Sie ist nach dem Ausbau der Saar zur Großschiffahrtsstraße die einzige deutsche Stautufe des ursprünglichen Ausbaus von 1863. Die Schleuse ist für kleine Binnenschiffe, bzw. Sportboote und handbetriebene Boote geeignet, damit stellt sie auch den Übergang von der Großschiffahrt zur Freizeitschiffahrt dar. Die Stautufe besteht aus einer Schleuse und einem von der Schleuse getrennten, zweifeldrigen Wehr. Die Schleuse wurde 1863 erbaut und 1895 um 4,63 m verlängert. Sie hat eine Gesamtlänge von 51,15 m und eine Breite von 5,21 m. Die Wehranlage wurde ebenfalls 1863 als Nadelwehr erbaut. Im Jahr 1937 wurde das vorhandene Nadelwehr durch eine Fischbauchklappe ersetzt. Die Wehranlage besteht aus zwei Wehrfeldern, diese haben jeweils eine Breite von 25,1 m (WSA-MSL, 2022b).

Oberhalb der Stautufe Güdingen, d.h. außerhalb der Großschiffahrtsstraße, gibt es weitere neun Schleusen/Wehre an der Saar (Wölferdingen (Schleuse), Kleinblittersdorf (Wehr) bzw. Großblittersdorf (Schleuse), 4 x Saargemünd, Remelfingen, Saareinsmingen, Settingen und Wittringen) sowie weitere vier Schleusen/Wehre an der Blies (Frauenberg, Bliesmengen-Bolchen, Bliesschweyen und Saargemünd) im deutsch-französischen Grenzgebiet bzw. auf französischem Staatsgebiet. Diese sind alle in dem hydraulischen HEC-RAS-Modell abgebildet, das derzeit im Auftrag des *Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle* finalisiert wird und dem AN im Rahmen dieses Projekts zur weiteren Verwendung übergeben wird. Die erforderlichen Angaben zu den Bauwerken und ihrer Steuerung

(z.B. Wehrtyp, Wehrfeldbreite, Schleusengeometrie, ...) sind dem HEC-RAS-Modell zu entnehmen und entsprechend im Delft3D-FM-Modell zu implementieren.

An allen Wehren, an denen Wasserkraftanlagen und Schleusen betrieben werden, sind diese ebenfalls in die Modelle zu implementieren. Insbesondere bei den Kraftwerken und den Schleusen ist auf deren Bauwerkshöhen zu achten, da diese ggf. bei Hochwasser überströmt werden können und damit abflusswirksam sind. Hierzu ist die Geometrie der Staustufenanlagen, welche in umfangreichen Plänen in Anlage 3 vom AG bereitgestellt werden, zu berücksichtigen.

Tabelle 3: Übersicht der Wehranlagen und Stauziele an Saar und Blies [DHHN 2016]

Saar				
Wehranlage	Saar-km (WSV bzw. lothr. km)	Normalstauziel	Wehrfeldbreite [m]	Fallhöhe [m]
Wittringen (F)	52,00	zu übernehmen aus HEC-RAS-Modell		
Settingen (F)	58,00			
Saareinsmingen (F)	59,80			
Remelfingen (F)	61,52			
Saargemünd (F)	62,20			
Saargemünd oh. Bliesmündung (F)	64,30			
Kleinblittersdorf	71,40			
Güdingen	93,04	187,65	2 x 25,1	2,41
Saarbrücken	82,57	185,24	3 x 13,0	5,95
Lisdorf	66,23	179,14	3 x 16,5	3,80
Rehlingen	54,14	175,19	3 x 16,5	8,00
Mettlach	31,42	165,49	3 x 16,5	11,00
Serrig	18,46	156,50	3 x 16,5	14,50
Schoden	7,65	142,01	4 x 16,50	5,70
Blies				
Wehr/Schleuse	Blies-km	Normalstauziel	Wehrfeldbreite [m]	Fallhöhe [m]
Frauenberg (F)	zu übernehmen aus HEC-RAS-Modell			
Bliesmengen-Bolchen (F)				
Bliesschweyen (F)				
Saargemünd (F)				

2.4 Hochwasserschutzanlagen und weitere Bauwerke

Der AG stellt ein ESRI-Linien-Shape mit Verortung und Höhenangaben (z-Werte) der als Bauwerksstrukturen zu berücksichtigenden Hochwasserschutzanlagen in Anlage 2 bereit. Die 56 hier als "Hochwasserschutzanlagen" bezeichneten Strukturen sind nicht ausschließlich Deiche, es sind auch Bahndämme, Mauern, etc. enthalten. Die Strukturen enthalten Bauwerke der Größen von 13 m bis zu 4,9 km bei einer Gesamtlänge von insgesamt ca. 40 km. Im bereitgestellten ESRI-Shape sind, soweit erfasst, auch Durchlässe (Lage) enthalten. Breite und Höhe der Durchlässe sind entsprechend in der Bauwerksdatei für Delft3D-FM zu berücksichtigen (als Bauwerk). Sollten hier keine Daten hinterlegt

sein, so müssen Breiten und Höhen über geeignete Methoden (z.B. anhand Karten) abgeschätzt werden.

Neben den Wehren, Schleusen und WKA werden noch zahlreiche weitere (bundeseigene und private) Anlagen und Bauwerke an der Saar betrieben (z.B. Häfen, Buhnen (ca. 20 Buhnen oder buhnenähnliche Strukturen existieren laut DBWK an der Saar), Kraftwerkshäuser, Brücken, Bootgassen etc.), die im Modell berücksichtigt werden müssen (mindestens durch den Rauheitsansatz, oder über das DGM-W (vgl. Kapitel 4.2), oder über Baupläne), sofern sie hydraulisch relevant sind.

2.5 Zusammenfassung der vom AG bereitgestellten Daten

Die im Folgenden aufgelisteten Daten werden dem AN vom AG zur Verfügung gestellt. Die Übergabe der vollständigen Daten erfolgt nach Vertragsunterschrift und Zuschlagserteilung. Die Daten sind in Anlage 2 hinterlegt. Vor Vertragsunterschrift überlassene Daten sind ausschließlich im Rahmen der Angebotserstellung zu nutzen und anschließend zu löschen. Eine weitere Nutzung dieser Daten ist nur im Rahmen des Projektes erlaubt.

1. Daten zur Generierung des projektbezogenen DGM-W 2024 der Saar (siehe v.a. Kapitel 4.2) und des Delft3D-FM-Modells (siehe Kapitel 4.4 und Kapitel 4.5, auch Kapitel 4.3) (Format: ESRI-Grid, Geotiff, ESRI-Shape oder ASCII):
 - DGM-W-Modellgrenze (Format: ESRI Polygon-Shape),
 - DGM1 der Länder (GeoTIFF, 1 m Auflösung, 1km² Kachel),
 - flächenhafte Peildaten als stromachorientiertes Modell mit 1m-Rasterweite (ASCII-Daten),
 - Hauptgerinnedaten der Nebengewässer (Querprofile) für die hydraulisch zu modellierenden Nebengewässerabschnitte von Blies, Saarbach, Rohrbach, Sulzbach, Fischbach, Köllerbach, Rossel, Bist, Ellbach, Prims, Nied, Seffersbach und Leuk (siehe Tab. 1) (Format: Geotiff),
 - Gewässerachse der BWaStr Saar aus dem Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen und Gewässerachsen der Nebenflüsse aus WasserBLICK (Format: ESRI Line-Shape),
 - Gewässerstationierungen (100m-Punkte) der BWaStr Saar aus dem Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen (Format: ESRI-Point-Shape),
 - Festpunkte als Haupt- und Gegenpunkte der WSV für die BWaStr Saar (Format: ESRI Point-Shape),
 - hydrostatischer Stau (Station, Wasserspiegelhöhe auf der Flussachse für die BWaStr Saar) (Format: xlsx),
 - Bruchkanten (strömungsbeeinflussende Strukturen wie bspw. aus der DBWK2 extrahierte Spundwände, etc.) (Format: ESRI Line -Shape),
 - Bauwerkspläne: Geometrie der Staustufenbauwerke (Format: pdf),
 - DGM-W Saar (von Saarbrücken bis Mündung, 1990-2002) (Format: ESRI-TIN).
2. Steuerungsvorschriften der Wehre (Format: pdf)
3. Abflussganglinien aller in Tabelle 1 genannten Zuflusspegel (Formate: Ascii, xlsx, pdf).
4. Ganglinien (W und – wo vorhanden - Q) der in Tabelle genannten Pegel an der Saar (Formate: Ascii, xlsx, pdf).
5. Wasserspiegelfixierungen mit zugeordneten Abflusslängsschnitten für die zu kalibrierende Saarstrecke in den Abflussbereichen zwischen Niedrig- und Hochwasser. Die Fixierungen bestehen mindestens aus den für definierte „stationäre“ Zustände aufbereiteten Informationen der unter Punkt 3 und 4 genannten Pegel / Standorte; wenn verfügbar, dann zwischen den Pegeln verdichtet über „klassische“ höheraufgelöste Wasserspiegellängsmessungen der WSV oder eingemessene Hochwassermarken (Formate: xlsx, txt).

6. Abfluss-/Fließgeschwindigkeitsmessungen soweit vorhanden, v.a. an Pegeln (Format: ASCII/AGILA-DB).
7. Aktuelle W-Q-Beziehungen (Sankt Arnual und Fremersdorf) (Format: ASCII, xlsx).
8. Ausbaudurchflüsse der Kraftwerke (Format: ASCII, xlsx).
9. ATKIS-Landnutzungsdaten (Digitales Landschaftsmodell 1: 250000 (DLM250) des BKG) und vergleichbare Datensätze für Frankreich (Format: ESRI-Shape)
10. Querprofilspuren als Grundlage zur Plausibilisierung der neu zu erstellenden Querprofilspuren für die Saar (inkl. Attribute „BWStr-Nr.“ und „WSV-Station“) (Format: ESRI-Line-Shape).
11. Amtlich festgesetzte Überschwemmungsgebiete (HQ₁₀₀ und HQ_{extrem}) und Überschwemmungsgebiete aus den Hochwassergefahrenkarten der Bundesländer Rheinland-Pfalz/Saarland und von Frankreich (Format: ESRI-Shape).
12. Digitale Orthofotos (DOP des BKG) (Format: WMS).
13. Digitale Bundeswasserstraßenkarte 1:2000 (DBWK2 der Bundesanstalt für IT-Dienstleistungen) (Format: WMS, dgn).
14. Topographische Karten aus basemap.de .
15. HEC-RAS-Modell des *Syndicat des Eaux et de l'Assainissement Alsace-Moselle* für die frz. Saar mit Blies. Es ist für die Kalkulation davon auszugehen, dass das HEC-RAS-Modell eine vergleichbare Detailltiefe (Netzauflösung zwischen 1-5, 10 bzw. 15-20 m) und Modellgüte wie das zu erstellende Saar-Modell besitzt. Interessant für die 2D-Saar-Modellerstellung sind vor allem die Teilmodelle 4 und 8 des HEC-RAS-Modells. DGM-Daten, Rauheitsdaten (Strickler-Werte basierend auf CLC-Daten), seitliche Zuflüsse und Bauwerksinformationen sind voraussichtlich aus dem Modell exportierbar.

3 Grundsätzliche Anforderungen an den Auftragnehmer und seine Bearbeitung

3.1 Kommunikation, Dokumentation und Qualitätssicherung

Im Rahmen der Auftragsbearbeitung ist ein dem aktuellen fachlichen und technischen Stand entsprechendes Projektergebnis durch enge Kooperation zwischen AN und AG sicherzustellen. Bei Problemen müssen diese zeitnah (ggfs. mit Lösungsvorschlag) kommuniziert werden und eine abgestimmte Lösung mit dem AG erarbeitet werden. Zur Qualitätssicherung und Dokumentation des Projektverlaufs werden vom AN Kurzprotokolle von Besprechungen erstellt, aus denen Beschlüsse, der Projektfortschritt, der Projektstand im Bezug zur Planung sowie die nächsten Bearbeitungsschritte hervorgehen.

Mit der Angebotsabgabe ist ein Qualitätssicherungskonzept vorzulegen. Sämtliche Ergebnisse (inklusive Zwischenergebnisse), die dem AG im Rahmen des Projekts vorgelegt werden, müssen die interne Qualitätssicherung des AN bereits durchlaufen haben (Prüfzertifikat, u.a. mit Angaben zu durchführender Person und Kontrollkriterien , vgl. „Gewichtung der Zuschlagskriterien“). Details des Qualitätssicherungskonzepts können bei Bedarf zu Projektbeginn zwischen AG und AN abgestimmt werden.

3.2 Fachliche Qualifikation

Der Auftrag ist von qualifizierten Fachkräften (ingenieur- oder naturwissenschaftlicher Studienabschluss) zu bearbeiten, die über Erfahrung in der Prozessierung großer Geodatenbestände im Kontext der Erstellung von Geländemodellen und daraus im Pre- und Postprocessing von Modellierungen

abgeleiteter Geodatensätze (für Informationssysteme wie bspw. FLYS) sowie in der Erstellung, Kalibrierung, Optimierung und Anwendung von hydraulischen 1D- und 2D-Modellen (SOBEK, Delft3D) und den entsprechenden Softwareprodukten für das Pre- und Postprocessing (ArcSOBEK, Baseline, Gis2Prof, ArcGis) verfügen.

Ein Wechsel der Bearbeitenden während der Projektbearbeitung ist nur in Abstimmung mit dem AG zulässig.

3.3 IT-technische Voraussetzungen

Der AN muss über ausreichende Lizenzen der Software Delft3D-Flexible-Mesh (<https://www.deltares.nl>) verfügen. Des Weiteren muss dem AN die Bearbeitung und Bereitstellung der üblichen MS Office- und pdf-Dateiformate möglich sein.

Zur Erstellung der Datenhaltung der Geobasisdaten sowie zur Erzeugung der Modelleingabedateien ist für Delft3D-Flexible Mesh die auf ArcGIS basierte Applikation BASELINE Version 5 oder neuer (Eigentümer Helpdesk Water Rijkswaterstaat WVL, <https://www.helpdeskwater.nl>) einzusetzen. Diese kann inkl. Dokumentationen in niederländischer Sprache durch den AG bereitgestellt werden. Für den Betrieb von BASELINE ist eine kostenpflichtige Lizenz von ArcGIS (ESRI) mind. Version ArcEditor und der Erweiterung 3D-Analyst erforderlich, die der AG nicht bereitstellt.

Zur ggf. automatisierten Kalibrierung des Modells ist in Absprache mit dem AG OpenDA (www.open-da.org) oder ein vergleichbares System einzusetzen.

Für die Projektbearbeitung sind – wenn eingesetzt (s.o.) - folgende Programmversionen zu verwenden:

- | | |
|-----------------|--|
| • Delft3D-FM | Version: 4.3 oder aktueller (mind. Delft3D-FM Suite 2021.03) |
| • Baseline | Version: 4, 5 oder aktueller |
| • Delft3D_Tools | Version V1.1 oder aktueller |
| • OpenDA | Version 2.0 oder aktueller |

Das Delft3D-FM-Modell muss in der BfG sowohl auf Windows 10/11-PC mit 4 Rechenkernen als auch auf einem Rechencluster mit max. 7 Knoten zu je 48 Rechenkernen und LINUX-Betriebssystem betrieben werden können. Für Letzteren wird angestrebt, jeweils mind. 32 Kerne für einen Rechenlauf parallel zu nutzen.

Alle über die o.g. Software hinausgehenden, vom AN selbst im Rahmen des Projekts erstellten und genutzten Werkzeuge, sind im Rahmen des Projektberichtes zu dokumentieren und dem AG zur weiteren Verwendung zu überlassen.

3.4 Qualitätsanforderungen bei der Modellkalibrierung

Der Nachweis der Kalibrierung und die durch Validierung ermittelte Modellgüte wird durch den Vergleich von Modellergebnissen und Messwerten geführt. Hierzu wird im Wesentlichen die Differenz zwischen modelliertem und beobachtetem (Mess-)wert als Güteparameter verwendet und bewertet.

3.4.1 Stationäre Kalibrierung

Für die stationäre Kalibrierung des Modells bestehen folgende Anforderungen:

- Wasserstandsdifferenzen an Pegeln mit Abflusskurven/-messungen: < 5°cm
- Wasserstandsdifferenzen auf der Strecke: < 10°cm

- Mittlere Abweichung der Wasserstandsdifferenzenbeträge für festgelegte Streckenabschnitte zwischen Hauptpegeln: $< 5^{\circ}\text{cm}$
- Abflussabweichungen: $< 10^{\circ}\%$

Üblicherweise werden für die stationäre Kalibrierung freifließender Bundeswasserstraßen Wasserspiegelfixierungen (auf dem Wellenscheitel entlang eines Fließgewässerabschnitts gemessene Wasserstandswerte, mit gemessenem oder zugeordnetem Abfluss) verwendet. Diese decken idealerweise die gesamte Bandbreite des Abflusses von Niedrig- bis hin zu extremen Hochwassern ab.

Aufgrund der Stauregulierung (inkl. Beeinflussung durch den Kraftwerksbetrieb) sind Wasserspiegelfixierungen entlang der Saar bei Mittel- und Niedrigwasser schwierig durchzuführen, die Zuordnung von belastbaren Abflüssen ist komplex. Aus arbeitsorganisatorischen Gründen erfolgen die Fixierungen i.d.R. stauhaltungsweise und nicht zwangsweise nach hydrologischen Gesichtspunkten von Ober- nach Unterstrom. Bei Hochwassern $> \text{HSW}$ bestehen wiederum Einschränkungen aufgrund der Befahrbarkeit der Saar.

Aus diesem Grund bestehen die zur Kalibrierung (und Validierung) zu verwendenden Fixierungen aus den für definierte „stationäre“ Zustände aufbereiteten Informationen der unter in Kapitel 2.5 unter Punkt 3 und 4 genannten Pegel / Standorte und werden, wenn verfügbar, dann zwischen den Pegeln über „klassische“ höheraufgelöste Wasserspiegellängsmessungen der WSV oder eingemessene Hochwassermarken bzw. Geschwemmsellinien verdichtet.

3.4.2 Instationäre Kalibrierung

Für die instationäre Kalibrierung werden die zeitl. Verläufe von Wasserstand und Abfluss aus der Modellierung an mit Messungen belegten Stationen (Pegel mit Abflusskurven und Betriebspegel (zumeist nur mit Wasserständen) verglichen. Neben dem Scheitelwert – hier gelten die gleichen Gütekriterien wie bei der stationären Kalibrierung (Kap. 3.4.1) – sind die Abbildung der Dynamik (ansteigender und abfallender Wellenast) und entsprechend auch die Wellenlaufzeit (Differenz des Scheiteleintrittszeitpunkts) zu bewerten. Als Qualitätsanforderung für den Scheiteleintrittszeitpunkt wird eine Differenz $< 3^{\circ}\text{Stunden}$ als geeignet angesehen.

Lokal vorliegende Geschwindigkeitsmessungen sind ebenfalls mit den Modellergebnissen zu vergleichen. Ein geeigneter Bewertungsmaßstab ist im Laufe des Projekts (auch vor dem Hintergrund der Datengrundlage zu den Geschwindigkeitsmessungen) zwischen AG und AN abzustimmen.

Für den Fall, dass Rauheitsparameter oder relevante Modellparameter (bspw. Rechnetzkannten) aufgrund der instationären Kalibrierung geändert wurden, sind die stationären Kalibrierungsereignisse und Auswertungen mit diesem Rauheitsparametersatz zu wiederholen und die Güte erneut auszuweisen. Es sind jedoch auch andere Möglichkeiten der Modellanpassung (bspw. Änderung von Steuerungsparametern im RTC-Modul) in Betracht zu ziehen, falls die Wellenlaufzeiten der instationären Kalibrierungsläufe unstimmig sein sollten.

3.4.3 Stationäre und instationäre Validierung

Für die Validierung und Bestimmung der Modelgüte sind unabhängige Daten, also nicht für die Kalibrierung eingesetzte Daten (bzw. Ereignisse) zu verwenden und die Güte durch den erneuten Vergleich von Modellergebnissen und Messwerten auszuweisen.

Vor der Schlusszahlung werden auch von der BfG mit den übergebenen Modellen Validierungsrechnungen vorgenommen, um die geforderte Qualität der beauftragten Modelle zu überprüfen.

3.5 Koordinaten- und Höhenbezugssysteme

Die Erstellung des Delft3D-FM-Modells der Saar, ebenso wie der FLYS-Datensatz, erfolgt mit dem Koordinatenbezug der amtlichen Landesvermessungsverwaltung (**ETRS89/DREF91.R16, UTM32**) sowie mit dem amtlichen Höhenbezug der Landesvermessungsverwaltung (**DHHN16, Höhenstatus 170**).

Alle bereitgestellten Daten, die nicht im benötigten Lage- bzw. Höhenbezugssystem vorliegen, sind i.d.R. umzurechnen (BfG, 2019). Für die Umrechnung zwischen verschiedenen Höhenbezugssystemen stellt der AG Shiftwert-Tabellen mit Umrechnungswerten in 100 m-Auflösung bereit (Anlage 4). Bzgl. der DGM-W-Erstellung werden gesonderte Vorgaben im Kapitel 4.2 (insbesondere Kapitel 4.2.2) erläutert.

3.6 Zeitrahmen

Die Bearbeitung ist innerhalb von 22 Monaten nach Beauftragung durchzuführen und abzuschließen. Hinzu kommen ggf. die Zeitaufwände für die Bedarfspositionen.

4 Leistungspositionen im Detail

Im Folgenden werden die Leistungs- und Bedarfspositionen im Detail erläutert. Die Nummerierung der folgenden Unterkapitel entspricht der Nummerierung der Leistungspositionen im Leistungsverzeichnis.

4.1 Ablaufplan und strukturierte Datenhaltung als Grundlage für die Datenplausibilisierung

4.1.1 Ablaufplan

Nach Beauftragung und erster Sichtung der bereitgestellten Daten (inkl. möglicherweise Auflistung weiterer benötigter Daten; siehe Kapitel 4.1.2) präsentiert der AN in einer Kick-Off-Besprechung den Entwurf des Projektablaufplans. In dieser Besprechung wird der Zeitplan, Details zum QM-Konzept (siehe Kapitel 3.1) und zur DGM-W-Erstellung (siehe Kapitel 4.2) zwischen AG und AN abgestimmt. Notwendige Aktualisierungen im Verlauf des Projekts sind mit dem AG abzustimmen. Es muss zu jedem Zeitpunkt ein mit dem AG abgestimmter Projektablauf und -zeitplan vorliegen.

Sollten während der Bearbeitung neue Erkenntnisse auftreten bzw. Arbeitsschritte notwendig werden, ist schnellstmöglich eine Abstimmung mit dem AG sicherzustellen. Hierzu sind Problembeschreibung und entsprechende Lösungsvorschläge vom AN dem AG vorzustellen.

Es müssen im Zeit-/Ablaufplan mindestens folgende, als Meilensteine beschriebene Arbeiten bzw. Produkte aufgeführt werden.

- **Meilenstein 1:** Plausibilisieren der vom AG gelieferten Geobasis- und Geofachdaten (Kapitel 2.5) und Aufbau einer strukturierten Datenhaltung I (Kapitel 4.1.2)
- **Meilenstein 2:** Aufbau eines projektbezogenen DGM-W (Kapitel 4.2)
- **Meilenstein 3:** Strukturierte Datenhaltung II zur Erstellung von FLYS-Datensätzen sowie des Delft3D-FM-Modells (Kapitel 4.3)
- **Meilenstein 4:** Ableitung der Geodatensätze für FLYS (Kapitel 4.4)

- **Meilenstein 5:** Erstellung des Delft3D-FM-Modells für die Saar (Kapitel 4.5)
 - Meilenstein 5.1: Vorgehenskonzeption zur Erstellung des Delft3D-Modells auf Grundlage der Ergebnisse der Meilensteine 1-4 und Festlegung der Modellparameter (Kapitel 4.5.1)
 - Meilenstein 5.2: Erstellung des Rechnernetzes (Kapitel 4.5.2)
 - Meilenstein 5.3: Zuweisung Geländehöhen und Rauheiten (Kapitel 4.5.3 und 4.5.4)
 - Meilenstein 5.4: Implementierung von Bauwerken und Bauwerkssteuerung (Kapitel 4.5.5)
 - Optionaler Meilenstein: Pilotmodell mit 3 Auflösungsvarianten. Dokumentation, Diskussion und Abstimmung mit AN der Auflösungsvariante für das Gesamtmodell (siehe Kapitel 4.5, Bedarfsposition B1)
- **Meilenstein 6:** Stationäre Kalibrierung und Validierung des Gesamtmodells (Kapitel 4.5.6 bzw. 4.5.8)
- **Meilenstein 7:** Instationäre Kalibrierung und Validierung des Gesamtmodells (Kapitel 4.5.7 und 4.5.8)
- **Meilenstein 8:** Durchführung stationärer Modellberechnungen (Kapitel 4.6)
 - Meilenstein 8.1: 30 stationäre Modellläufe für den FLYS-Datensatz (Ist-Zustand inkl. Datenformate, Plausibilisierung und Visualisierung; Kapitel 4.6.1)
 - Meilenstein 8.2: Stationäre Modellläufe für n-1-Fälle inkl. Auswertung und Visualisierung (Kapitel 4.6.2)
- **Meilenstein 9:** Abschlussbericht (Kapitel 4.8)

<u>Ergebnis:</u> abgestimmter Arbeits- und Zeitplan

4.1.2 Strukturierte Datenhaltung I als Grundlage für die Plausibilisierung der vom AG bereitgestellten Daten

Dem AN werden vom AG nach Auftragserteilung als Datengrundlage Geobasis- und Geofachdaten (Kapitel 2.5) zur Verfügung gestellt. Diese vom AG bereitgestellten Daten sind zunächst auf Plausibilität und Verwendbarkeit im Sinne der Zielsetzung des Projekts zu prüfen. Bei Bedarf sind die vom AG gelieferten Daten anzupassen, zu konvertieren und zu vervollständigen. Bei Identifikation von nicht plausiblen Informationen, Verständnisproblemen oder bspw. bei Redundanz von Daten ist eine Problembewertung, Priorisierung und anschließende Abstimmung mit dem AG durchzuführen. Bei Bedarf kann dies auch bereits vor der Kick-Off-Besprechung (Kap. 4.1.1) erfolgen.

Die zur Erstellung des hydrodynamisch-numerischen Modells und für den FLYS-Datensatz erforderlichen Daten sind aus den bereitgestellten Informationen zu generieren bzw. aufzubauen und in eine strukturierte Datenhaltung zu überführen (siehe Kapitel 4.3). Hierzu sind für die Geobasisdaten zur Erstellung der Modelldaten für Delft3D-FM die in Kapitel 3.3 beschriebenen Werkzeuge (und ihre Ablagestrukturen) zu verwenden, in Abstimmung mit dem AG sind tw. auch geeignete, gleichwertige Datenhaltungen möglich (siehe Kapitel 3.3). Vorgaben zum Vorgehen bzgl. der DGM-W-Erstellung finden sich in Kapitel 4.2.

Für alle weiteren, insbesondere hydrologischen Datensätze und Steuerungsanweisungen der Bauwerke, die nicht im Rahmen der o.g. Datenstrukturen abgelegt werden können, müssen ebenfalls geeignete Ablagestrukturen geschaffen werden. Das Gesamtkonzept zur Datenhaltung ist mit dem AG abzustimmen.

<u>Ergebnis:</u> strukturierte Datenhaltung I (inkl. Übersicht über bereitgestellte Daten, Lücken-bzw. fehlende Datensätze als Basis für die "Kick-Off-Besprechung")
--

4.2 Projektbezogenes DGM-W

4.2.1 Allgemeines

Als Grundlage für die hydraulische Modellierung ist die Erstellung eines projektbezogenen digitalen Geländemodells des Wasserlaufs und der Vorländer (DGM-W) erforderlich. Im Gegensatz zu früheren DGM-W Projekten der BfG erfolgt für die vorliegende Bearbeitung keine Neubefliegung der Vorländer. Vielmehr werden diese durch bestehende, im Rahmen dieser Vergabe noch aufzubereitenden Daten der Bundesländer in Form des DGM1 ersetzt. Die Grundsätze der DGM-W Modellierung bleiben bestehen. Der Leitfaden zur DGM-W-Modellierung (kurz: QS-DGM-W; Anlage 6) ist einzuhalten. Widersprechen Regelungen dieser Leistungsbeschreibung dem Leitfaden, dann sind die in diesem Dokument getroffenen Regelungen vorzuziehen.

4.2.2 Bezugssystem und Ausgabeformate

Bezugssysteme des DGM-W sind das amtliche ETRS89.DREF91.R16 (Lage) und DHHN16 (Höhe) der Bundesländer Rheinland-Pfalz und Saarland. Die Koordinaten sind in Form von Koordinaten der Art UTM-Zone32 (6-Vorkommastellen im East) zu liefern.

Alle davon abweichenden Daten sind in dieses Bezugssystem zu überführen. Die Überführungsvorschriften sind ggf. mit dem AG abzustimmen. Folgende Festlegungen werden hier getroffen:

- a) Überführung der Lagekoordinaten früherer DHDN-Koordinaten (i.d.R. GK-Koordinaten) erfolgt unter Nutzung des NTV2-Ansatzes mit der WSV-Grid-Datei (Anlage 7)
- b) Überführung von Höhenangaben zwischen dem Höhenstatus 160 (DHHN92) und 170 (DHHN16) erfolgt unter Nutzung des amtlichen Höhenüberführungstools HOETRA, das durch die Landesvermessungsdienststellen bereitgestellt wird (<https://www.hoetra2016.nrw.de/>; gilt bundesweit). Dies gilt für die amtlichen DGM1 Daten. Höhenangaben der WSV (Peil- bzw. Hauptgerinneedaten) sind mithilfe der in Anlage 4 dargestellten Shiftwerte (Werte aus BfG 2019) zu korrigieren.
- c) Die Lage- und Höhendaten ausländischer Daten werden nach Abstimmung mit dem AG durch den AN überführt. Die durch den AG bereitgestellten Daten wurden für den Zeitpunkt der Vergabe bereits nach ETRS89.DREF91.R16 bzw. DHHN16 umgerechnet. Sofern weitere Daten vorliegen, sind die Verfahren der Anlage 4 (Einbindung_französischerundluxemburgischer_Daten.docx) anzuwenden.

Die Ergebnisse der Rastermodellierung (Modell A) sind als erweiterte ASCII-Datensätze (East, North, Height, FlagHerkunft, DatumDatenerstellung) zu liefern. Die TIN-Modelle (Modell B) sind in Form von AVS-UCD Files (vgl. Anlage 9) zu speichern. Die Eckpunkte der TIN-Modelle sind Bestandteile des Rastermodells. Ausnahme hierbei sind die „harten“ Bruchkannten.

Die Inhalte der Flags sind tabellarisch zu beschreiben.

4.2.3 Aufbereitung der amtlichen DGM1 Daten der Bundesländer

Die DGM1-Daten des Saarlandes werden durch den AG in Form von Kacheln bereitgestellt. Die DGM1-Daten des Bundeslandes Rheinland-Pfalz hat sich, sofern nicht durch den AG explizit bereitgestellt, der AN im Geoportal des Landes Rheinland-Pfalz herunterzuladen (vgl. Anlage 5).

Die DGM-1 Daten der Länder enthalten die Wasseroberfläche. Diese Bereiche sind aus den DGM1-Daten zu entfernen. Für die Entfernung der Wasseroberflächendaten aus den DGM1-Daten gelten folgende Vorgaben:

- a) Sofern „harte“ Bruchkannten bzw. bautechnische Grenzen, wie etwa Wasserbauwerke, Kaimauern oder Ufermauern (vgl. DBWK2, Anlage 2) vorhanden sind, sind diese zur Begrenzung der Wasseroberflächenausdehnung zu nutzen, wobei hierbei hydraulischer Sachverstand einzusetzen ist.
- b) Liegen keine derartigen Informationen vor, sind die Wasseroberflächendaten aus den vorliegenden Geländehöhen selbst abzuleiten und zu eliminieren. Die Nutzung von Wasser-Land-Grenzen ist nicht zulässig, da diese zu einem anderen Zeitpunkt als die dem DGM1 zugrunde liegende ALS-Befliegung bestimmt wurde. Seitens des AG wird hierzu folgende Vorgehensweise empfohlen:
 - (1) Eingrenzung des zu bearbeitenden Gebietes auf das eigentliche Gewässer sowie einen Uferstreifen.
 - (2) Sequenzielle Bearbeitung der einzelnen Stauhaltungen.
 - (3) Abgriff der Wasserspiegelhöhen im DGM1 unter Nutzung der Geometrie des Verkehrsnetzes. Hierzu ist die Verkehrsnetzlinie für jeden Gewässerteil mit einer definierten Abtastweite (abzustimmen mit dem AG, $\leq 2\text{m}$) abzutasten.
 - (4) Es sind alle Punkte aus dem DGM1 zu selektieren, die in Bezug auf die Station des abgetasteten (Verkehrsnetz-)Punktes $\pm$ dem Betrag der Abtastweite entfernt sind. Von diesen Punkten sind alle Punkte als Wasseroberflächenpunkt zu definieren, die unterhalb der unter (3) abgetasteten Wasseroberflächenhöhe + Puffer (mit dem AG abzustimmen) liegen.
 - (5) Der Vorgang unter (4) wird für jeden der unter (3) stehenden Abtastpunkte wiederholt.
 - (6) Interaktive Bearbeitung der Uferlinien, um geländebedingte Aufwölbungen zu eliminieren. Hierfür ist topografischer Sachverstand einzusetzen (vgl. Abbildung 3).

Sofern kein Verkehrsnetz vorhanden ist und keine Gewässerachse aus dem WasserBLiCK bereitgestellt wurde (vgl. Kapitel 2.5), ist eine Gewässerachse aus dem Luftbild abzugreifen.



Abbildung 4: Auswölbung der DGM1 Daten

Sofern seitens des AN andere Ideen für die Vorgehensweise vorliegen, sind diese mit dem AG zu diskutieren. Entscheidend ist hierbei, dass die tatsächliche Höhe der Wasseroberfläche zum Zeitpunkt der Befliegung zu berücksichtigen ist. Amtlich definierte Wasser-Land-Grenzen oder Mittelwasserlinien o.Ä. können nicht genutzt werden. Auch ist die Nutzung von Orthofotos o.Ä. nicht zulässig, da diese zu einem anderen Zeitpunkt erfasst wurden und somit kein Bezug zur realen Wasseroberfläche vorhanden ist.

4.2.4 Aufbereitung amtlicher DGM-Daten der Nachbarstaaten

Die DGM-Daten der Nachbarstaaten liegen in verschiedenen Bezugssystemen vor. Nach Abstimmung mit dem AG sind diese Daten in das ETRS89/DREF91.R16 bzw. DHHN17 zu überführen und die Wasseroberflächen sind dort wo notwendig zu entfernen (vgl. Abschnitt 4.2.2). Das Verfahren ist analog den DGM1-Daten der Bundesländer durchzuführen. Die Gewässerachse ist aus den DGM-Daten selbst abzuleiten.

Die Trennung zwischen französischen bzw. luxemburgischen Daten erfolgt – wenn möglich – an den Stauhaltungsgrenzen. Sofern dies nicht möglich ist, der Übergangsbereich mit dem AG abzustimmen (z.B. Wehranlage Appach/Mosel).

4.2.5 Aufbereitung der bereitgestellten Gewässerbodeninformationen

Die durch die WSV bereitgestellten flächenhaften Gewässerbettdaten liegen i.d.R. als stromachsorientiertes Raster (nicht als nordorientiertes Raster) vor. Die Umformung in die benötigte Nordorientierung erfolgt über eine bilineare Interpolation der Daten.

Im Fall von vorhandenen Querprofilen (Nebengewässer) sind diese durch ein TIN stromachsorientiert zu vermaschen und darauf aufbauend ein stromachsorientiertes Raster abzuleiten, welches in einem weiteren Schritt in ein nordorientiertes Raster überführt wird.

Für die Gewässer, für die weder flächenhafte Gewässerbettdaten noch vermessenen Querprofile vorliegen, sind über geeignete Verfahren Gewässerbodeninformationen abzuschätzen.

4.2.6 Aufbereitung der Wasserbauwerkinformationen

Die Wasserbauwerke liegen in Form von Plänen vor. Aus diesen Plänen sind Ersatzmodelle zu konstruieren, die später in das DGM-W implementiert werden.

4.2.7 Einbindung der DBWK2-Daten

In der Digitalen Bundeswasserstraßenkarte 1:2000 (DBWK2) sind alle relevanten topografischen Inhalte mit implementiert. Dies betrifft auch Kaimauern, Wasserbauwerke, Spundwände etc. Sofern diese Daten nicht durch Ersatzmodelle oder andere Bauwerkspläne vorhanden sind, zur Ableitung von entsprechenden Ersatzmodellen / Bruchkannten diese Daten zu nutzen. Die DBWK2 wird in Form von dgn-Files und shape-Files durch den AG bereitgestellt (vgl. Anlage 2).

4.2.8 Einbindung bestehender DGM-W Daten der Bundesländer

Insbesondere im Bereich der Nebengewässer liegen z.T. vollständige DGM-W Daten der Bundesländer vor, die aber veraltet sind. In diesen Fällen sind die DGM-W in das System ETRS89/DREF91.R16 via NTv2 zu überführen und die Höhen aus dem DHHN92 via Hoetra (AdV) in das System DHHN16 zu überführen. Es sind nur die Gewässerbettinformationen zu nutzen. Die entsprechenden Bereiche ergeben sich aus um die Wasseroberfläche bereinigten DGM1 Daten der Bundesländer zzgl. eines Puffes von 1m in Richtung Gewässer.

4.2.9 Einbindung von Buhnen

Seitens des AG wird die Lage von Buhnen bereitgestellt (Anlage 2). Für diese Buhnen sind Ersatzmodelle zu erstellen. Die Höhenlage der Buhnenrücken ist – sofern möglich – aus den DGM1-Daten der Länder abzuleiten. Sofern dies nicht möglich ist, sind Annahmen zu treffen. Die Details zur Ableitung der Ersatzmodelle sind in jedem Fall mit dem AG abzustimmen.

4.2.10 Ableitung eines DGM-W Modells Typ A und Typ B

Bei der DGM-W-Modellierung sind die Festlegungen dieser Leistungsbeschreibung vorrangig gegenüber denen des QS-DGM-W. Als Grundlage ist der Leitfaden „QS-DGM-W“ (Anlage 6) zu nutzen. Zur Ausführung dieser Arbeiten hydraulischen Sachverstand hinzuzuziehen. Das detaillierte Vorgehen ist in der Kick-Off-Besprechung (Kap. 4.1.1) zwischen AG und AN abzustimmen. Auf Basis der

- DGM1-Daten der Bundesländer (siehe Kap. 4.2.3)
- DGM-Daten der Nachbarstaaten (siehe Kap. 4.2.4)
- Gewässerbettdaten der Haupt- und Nebengewässer (siehe Kap. 4.2.5 und Kap. 4.2.8)
- Bauwerksinformation (siehe Kap. 4.2.6)
- „harten“ Bruchkanten (Kaimauern, Mauern, DBWK2-Inhalte etc., siehe Kap. 4.2.7)
- Bühnen (siehe Kapitel 4.2.9)

ist ein DGM-W abzuleiten. Zu Informationszwecken und ggf. für Fehlbereiche steht das DGM-W der Saar (1990-2002) (vgl. Kap. 2.5) zur Verfügung.

Die unterschiedlichen Datensätze liegen nach der Aufbereitung in Form von Modellstützpunkten vor. Diese sind zu einem Gesamtmodell zu kombinieren. Die Hierarchie der Kombination ist mit dem AG abzustimmen. Prinzipiell gilt, dass die neuesten Daten die höchste Priorität haben.

Gleiches gilt für die Frage eventuell zu nutzender / schaffender Begrenzungspuffer, um harten Übergänge zu vermeiden.

Hochwasserschutzanlagen & Bruchkanten: s. QS-DGM-W, Abschnitt 7.8.6 (Anlage 6) und die vom AG bereitgestellten Informationen (Anlage 2).

Harte Geländebruchkanten, wie etwa Kaimauern etc. sind direkt in die Modellierung mit einzubinden. Die Oberkante der Kaimauern / Mauern ergibt sich aus der DBWK2 bzw. wird durch den AG bereitgestellt. Die untere Höhe der Kaimauer ergibt sich aus den Gewässerbettdaten, die ggf. auf die Bruchkante projiziert werden. Sofern die Nutzung von 4D-Bruchkanten nicht direkt möglich ist, sind aus den Bruchkanteninformationen zwei parallel um 0,1 m verschobene Bruchkanten zu erstellen, die dann jeweils die obere oder untere Höhe aufweisen. Die Bruchkanten sind im TIN mit zu implementieren und im Raster bei der Ableitung der Stützpunkthöhen zu berücksichtigen. Auf einer Bruchkantenseite darf jeweils nur eine „Modellstützpunktart“ vorhanden sein. Praktisch bedeutet dies bspw., dass uferseitig bei einer Kaimauer nur DGM-Modellstützpunkte einfließen dürfen, wohingegen wasserseitig nur Gewässerbettdaten einfließen dürfen.

Datenlücken können nur bis zu einem gewissen Grad via Interpolation geschlossen werden. Für größere Datenlücken müssen Ersatzmodelle eingesetzt werden. Die Dimensionen und Eigenschaften dieser Modelle sind mit dem AG abzustimmen. Hierfür erstellt der AN eine Liste aller betroffenen Gebiete und Vorschläge, wie entsprechende Modelle zu erstellen sind (z.B. Teiche /Seen, definiert über einen Böschungswinkel und eine Tiefenangabe). Darüber hinaus sind folgende Fälle zu unterscheiden:

- **Fall 1: Hafen ohne Strömung:** Ableitung eines Ersatzmodells
- **Fall 2a: breitere Lücke** (> 10 m zwischen vorliegenden Gewässerbettdaten und dem Landbereich), Landanschluss via Böschung:
 - Ausdehnung der Peilfläche in Richtung Ufer auf Basis der letzten Höhen
 - Extrapolation der Böschung unter Nutzung abgeleiteter Böschungswinkel bzw. nach Rücksprache mit dem AG auf definiertem Böschungswinkel
 - Schnittlinie als 3D Bruchkante in die Modellierung einführen
- **Fall 2b: schmalere Lücke** (< 10 m zwischen vorliegenden Gewässerbettdaten und dem Landbereich), Landanschluss via Böschung:

- Peilfläche in Richtung Ufer mit letzter Höhe
- Landseitige Böschung mit erster Höhe
- Lückenschluss durch Interpolation
- **Fall 2c: Lücke zu harten Bruchkanten:**
 - Die mittleren Gewässerbodenhöhen sind in Richtung der Bruchkante zu extrapolieren bzw. fortzuführen.
- **Fall 3: nicht hinterströmtes Leitwerk:**
 - Leitwerk aus DBWK2 und Höhe konstruieren;
 - Bereich dahinter = Modell, Anschluss eine Peilseite
- **Fall 4: hinterströmtes Leitwerk:**
 - Leitwerk aus DBWK2 und Höhe konstruieren
 - Bereich dahinter = Ersatzmodell, Anschluss an beide Peilseiten
- **Fall 5: unterhalb von Kraftwerk:** Ersatzmodelle mit einer plausiblen Tiefe (ggfs. Kolk abbilden)
- **Fall 6: Teiche, abgeschlossene Gewässer:** Ersatzmodell ab definierter Tiefe

Es sind folgende DGM-W-Varianten zu modellieren und zu liefern:

- **Modell A:** 1m-Quadratgitter, ohne Gebäude, Datenlücken geschlossen durch Interpolation:
 - x, y, H, FlagHerkunft, DatumHerkunft Format: ASCII-Koordinatentriple (erweitert),
 - 1 x 1 km-Kacheln,
 - Gitterpositionen: siehe Abbildung 5,
 - Metadaten im Format: WSV-3DTOP (Anlage 8)
 - Produktbezeichnung: DGMWA1.
- **Modell B:** irreguläres Dreiecksgitternetz (TIN, hybrides Modell), Constrained Conforming Delaunay-Vermaschung der Rasterdaten entsprechend Modell A und Strukturlinien von Gelände und Bauwerken, ausgedünnt nach morphologischen Kriterien (Höhenunterschiede $dz \leq 15$ cm):
 - x, y, H, Dreiecksindizes, Format: avs-ucd (Anlage 9),
 - Dreiecke, Formate: dxf (3DFACE)
 - max. Länge 10 km
 - Die begrenzenden Kanten zweier DGM-W TIN-Abschnitte müssen identisch sein.
 - Produktbezeichnung: DGMWBTIN.

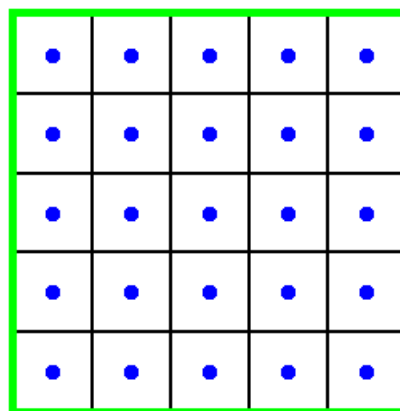


Abbildung 5: Gitterpunktpositionen (Kachelrand und Gitterpunkte)

Jedem Modellstützpunkt ist ein Flag zuzuweisen, der die Herkunft des Modellstützpunktes eindeutig definiert. Diese „Flags“ sind später in Form von 1-bandigen Geotiffs zu visualisieren, wobei anstatt einer NHN-Höhe das Flag visualisiert wird.

4.2.11 Bearbeitungsabschnitte

Das DGM-W ist stauhaltungsbezogen zu erstellen. Die Stauhaltungen sind über die Wehre/Schleusenanlagen auf Basis der DBWK definiert. Die DGM-W müssen flächendeckend geschlossen sein. Die Lücken zwischen den Features der Shapefile der Stauhaltungen in Anlage 2 (Wehr- und Schleusenanlagen) sind durch Ersatzmodelle für diese Bauwerke zu schließen.

4.2.12 Metadaten und Bericht

Für die Erstellung des DGM-W ist ein gesonderter Bericht zu erstellen. In diesem muss detailliert die Ableitung des DGM-W beschrieben werden. Darüber hinaus sind alle relevanten Metadaten abzubilden. Diese beinhalten alle eingehenden Datenquellen, alle genutzte Transformationstools, alle Datenalterangaben (sofern verfügbar) sowie alle Kombinationsvorgaben bzw. Berechnungsvorschriften.

Ergebnis: DGM-W der Saar (Modelle A und B) inkl. Dokumentation

4.3 Strukturierte Datenhaltung II als Grundlage für die Erstellung der FLYS-Datensätze und für das hydraulische Modell

Aufbauend auf der strukturierten Datenhaltung I, die v.a. einer Sichtung und Vollständigkeitsprüfung unterzogen wurde (siehe Kapitel 4.1.2), sowie dem projektbezogenen DGM-W (siehe Kapitel 4.2) sind zur Ableitung von FLYS-Geodaten und Delft3D-FM-Modellinstanz die folgenden Datensätze zu erstellen (= strukturierte Datenhaltung II). Die Datensätze sind jeweils für den gesamten Modellbereich inklusive der zu berücksichtigten Nebenflüsse zu erstellen. Für die Mosel im Mündungsbereich sind sie soweit zu erstellen, wie sie zur Erfüllung der in dieser Unterlage beschriebenen Anforderungen benötigt werden.

1. Modellgrenze des hydraulischen Modells: Hierbei sind die bedeutenden Nebenflüsse (siehe Tabelle 1) oberhalb ihrer Mündung in die Saar zu berücksichtigen. Die Modellgrenze ist bspw. im Bereich von Deichen um mindestens eine Zelle weiter ins Hinterland zu wählen, um Überströmen des Deiches erkennen zu können (Format: ESRI-Polygon-Shape bzw. ESRI-Polyline-Shape/Spline).
2. Flussachsen der Saar: Im Bereich von Verzweigungen muss eine entsprechende Bezeichnung (hier kann die BWaStr-Nummer verwendet werden) auch für den Nicht-Schiffahrtsweg erstellt/verwendet werden (Format: ESRI-Polyline-Shape).
3. Flussachsen der hydraulisch modellierten Zuflüsse vom Zuflusspegel / der Modellgrenze bis zur Einmündung in die Saar (Format: ESRI-Polyline-Shape).
4. Stationierung auf Flussachsen (Diskretisierung 100 m): Im Bereich von Verzweigungen muss eine entsprechende Stationierung (ggfls. mit Offset) auch für den Nicht-Schiffahrtsweg erstellt / verwendet werden (Format: ESRI-Point-Shape).
5. Haupt- und Gegenpunkte inkl. Bezeichnung und Stationierung als Attribut. Dort wo bspw. an Nebenflussmündungen entsprechende Punkte fehlen, müssen diese auf geeignete Weise ergänzt werden (Format: ESRI-Point-Shape).
6. Wehr-/Schleusen-/Kraftwerksbauwerke (Achse der Elemente) mit Attributen zu Bezeichnung / Name, Stationierung und Höhe (Format: ESRI-Polygon/ Polyline z-Shape).

7. Fließgrenzen: Hauptgerinne, Uferbereich, Vorland. Teile dieser Datensätze werden für die 2D-Modellierung nicht benötigt, sind jedoch für die Erstellung des FLYS-Datensatzes notwendig (Format: ESRI-Polygon- und Polyline-Shape).
8. HW-Schutzanlagen und Durchlässe mit Attributen zu Bezeichnung, Höhe, Stationierung (Format: ESRI-Polyline-ZM Shape und ESRI-Point-Shape).
9. Sommer- und Winterdeiche mit Attributen zu Bezeichnung, Stationierung und Höheninformationen, tw. identisch mit Punkt 8 (Format: ESRI-Polyline-ZM-Shape und ESRI-Point-Shape).
10. Längs- und Querbauwerke (falls vorhanden auch Bühnen) mit Stations- und Höheninformationen (für Bauwerkshöhen; bspw. Bühnenkopf, Bühnenwurzel und Bühnenfuß) (Format: ESRI-Polyline-ZM-Shape und ESRI-Point-Shape).
11. Brückenpfeiler mit Station und lichter Höhe des Brückenkörpers (falls vorhanden, an der Saar i.d.R. nicht relevant) (Format: ESRI-Polygon-Z-Shape).
12. Stehende Gewässer mit Stations- und Höheninformationen (bspw. Häfen, Schleusenkanäle, Seen) (Format: ESRI-Polygon-Z-Shape).
13. Saar-Pegel und Zuflusspegel mit Attributen zur Bezeichnung und Stationierung (Format: ESRI-Point-Shape).
14. Quellen und Senken mit Stationierung und Bezeichnung (Mündungsstationierung der berücksichtigten Zuflüsse) (Format: ESRI-Point-Shape).
15. Weitere Bruchkanten mit Stationierung und Bezeichnung (wenn nicht in 6, 8, 9, 10 und in den DGM-W-Produkten enthalten) mit Höhenpunkten (bspw. Bahndämme, Bundesstraßen) (Format: ESRI-Polyline-ZM-Shape und ESRI-Point-Shape).
16. Höhenpunkte (Original und ggf. ausgedünnt) zur Modellerstellung (Gelände-, Bühnen-, Bruchkanten-, Stauhaltungsbauwerks-, Deichhöhen, etc.). Der Datensatz dient als „Zusammenfassung“ und schlussendlich der Nachvollziehbarkeit darüber, welche der unter den Punkte 1-15 aufbereiteten Daten tatsächlich in die Modellerstellung eingegangen sind (siehe Kapitel 4.5.3) (Format: ESRI-Point-Shape, XYZ-ASCII).
17. Modelleingangsgroßen bzw. Randbedingungen (wie bspw. Abfluss- und Wasserstandsganglinien, W-Q-Beziehungen an Pegeln, Stauzielregelung, etc.) sowie Wasserspiegelfixierungen. Im Vergleich zur Datenhaltung in Kapitel 2.5 enthält diese Zusammenstellung nur noch die tatsächlich für die Modellierung verwendeten Daten und Festlegungen / Randbedingungen (Format: xlsx, ASCII).
18. Talweg mit Stationierung und Höhe (Format: ESRI-Polyline-ZM-Shape und ESRI-Point-Shape).
19. Querprofilspuren mit Attribut: WSV-Station, Gewässer-ID (Format: ESRI-Polyline-Shape).¹⁰
20. Alle zur Rechennetzgenerierung des Delft3D-FM-Modells verwendeten Linien und Polygone (i.S. einer „Zusammenfassung“, vgl. Punkt 16) (Format: ESRI-Polygon/Polyline-Shape, Polylinie, Spline).
21. Delft3D-FM Rechennetz und Delft3D-FM Rechennetzknoten mit Attribut Rechennetzknotenhöhe, siehe Kapitel 4.5.2 (Format: ESRI-Polygon und ESRI Point-Shape).
22. Für das Delft3D-FM-Modell: Rauheitsflächen (inkl. Rauheitsbeiwert), getrennt für jede Rauheitsklasse und jede Trachytopen-Klasse inkl. der Rauheitsbeiwerte in den Attributen, endgültig erst nach Abschluss der Kalibrierung, siehe Kapitel 4.5.4 (Format: ESRI-Polygon-Shape).

Die strukturierte Datenhaltung II als Basis zur Generierung von FLYS-Geodaten und FLYS-Fachdaten sowie zur Generierung der Modellinstanzen des Delft3D-FM-Modells, ist sukzessive zu erstellen (siehe Hinweise bzw. Verweise auf nachfolgende Kapitel), bei Änderungen im Projektverlauf zu aktualisieren und bis zur Datenübergabe zu Projektabschluss mit den jeweiligen Modellierungsergebnissen

¹⁰ Existierenden Querprofilspuren (Stand ca. um das Jahr 2010) werden für die Bearbeitung des Auftrags vom AG bereitgestellt (vgl. Kapitel 2.5). Der AN kann im Projekt entscheiden, ob er notwendige Anpassungen der Querprofilspuren (z.B. bei Verlängerung, wenn nicht bis zu Modellgrenze reichend) auf Basis der „alten“ Querprofilspuren durchführt, oder ob er einen vollständig neuen Querprofilspurendatensatz erstellt. Die Unterschiede zwischen „altem“ und „angepasstem“ bzw. „neuem“ Datensatz sind auf jeden Fall nachvollziehbar zu begründen und zu dokumentieren. Zur Erstellung der Querprofile sind die Ausführungen zu fachlichen Anforderungen und Formatbeschreibungen (vgl. Anlage 10) zu berücksichtigen.

zu ergänzen. Der strukturierten Datenhaltung II ist eine Tabelle beizufügen, aus welcher die Metadaten (mind. Bezugszeitraum, Datenherr, Lage- und Höhensystem, Format) für jeden Datensatz zu entnehmen sind.

Ergebnis: Strukturierte Datenhaltung II (als Grundlage für die Erstellung der FLYS-Datensätze und für das hydraulische Modell)

4.4 Ableitung von Geodaten und modellrelevanten Fachdaten für den Flusshydrologischen Fachdienst der BfG (FLYS)

4.4.1 Erstellung der Geobasisdaten für den FLYS-Datensatz

Zur Nachnutzung des Modells sind die ihm zu Grunde liegenden Geodaten, gewässerkundlichen und modellrelevanten Fachdaten sowie Ergebnisse der Modellierung (bspw. berechnete Wasserspiegellagen, Überschwemmungsgebiete und Fließgeschwindigkeiten, siehe Kapitel 4.6.1) für den Flusshydrologischen Fachdienst FLYS der BfG zu ermitteln und in die für FLYS benötigten Datenformate zu überführen. Die grundsätzlichen Anforderungen zur Ableitung der grundlegenden Geodaten (ohne Modellergebnisse) werden in Anlage 10 beschrieben.

Aus der strukturierten Datenhaltung II (siehe Kapitel 4.3) sind die in der folgenden Auflistung angegebenen Geodaten für den Flusshydrologischen Fachdienst FLYS der BfG zu erstellen und zu plausibilisieren:

- Diskrete Querprofile (auf der Grundlage von DGM-W, Haupt- und Gegenpunkten und der Querprofilspuren) (Format: Ascii-prf)
- Höhenlängsschnitt des Talwegs: Die Ableitung des Talwegs hat entsprechend der Vorgaben in Anlage 10 zu erfolgen (Format: Ascii-zus).
- Höhenlängsschnitt der wesentlichen Bühnenparameter (Bühnenkopf, -wurzel und -fuß), wo vorhanden (Format: Ascii-Zus).
- Verlauf und Höhenlängsschnitt der Ausuferung (inkl. Attribute: BWaStr.-ID/frz. Kilometrierung, Höhe, Gewässerseite in Fließrichtung: links/rechts und WSV-km) Die Ableitung der Ausuferungslinie hat entsprechend der Vorgaben in Anlage 10 zu erfolgen (Formate: ESRI-Point/Polyline Z-Shape, Ascii-zus).
- Verläufe und Höhenlängsschnitte der Deiche und deichartigen Strukturen (inkl. Attribute: BWaStr.-ID, Gewässerseite in Fließrichtung: links/rechts und WSV-km, Höhen und Längenangaben, Bezeichnung) Die Ableitung der Dateien zu Deichen hat entsprechend der Vorgaben in Anlage 10 zu erfolgen. (Formate: ESRI-Point/Polyline ZM-Shape, Ascii-zus).
- Durchlässe in deichartigen Strukturen inkl. Attribute (BWaStr.-ID, Gewässerseite in Fließrichtung: links/rechts, Bezeichnung und WSV-km) (vgl. Anlage 10). (Formate: ESRI-Point/Polyline ZM-Shape).

Die Anforderungen an die Qualität und Formate dieser Datensätze sind in Anlage 10 beschrieben. Dort finden sich auch die Anforderungen an die Attribuierung der Datensätze. Die zu verwendenden Dateinamen, die für den Datenimport in FLYS ebenfalls eine Rolle spielen, sind zwischen AG und AN abzustimmen.

4.4.2 Zuschnitt von ESRI-TINs aus Kapitel 4.2

Die Berechnung von Überschwemmungskarten erfolgt in FLYS auf Grundlage der modellierten Wasserspiegellagen und des hinterlegten, projektbezogenen DGM-Ws. In der aktuellen FLYS-Version

(3.2.1) ist die Größe der DGMs beschränkt. Aus Erfahrung (ein Kompromiss zwischen Rechengenauigkeit und -geschwindigkeit) haben sich „reduzierte“ ESRI-TINs als beste Lösung ergeben. Es sind sich überlappende „reduzierte“ ESRI-TINs auf Grundlage der Produkte aus Kapitel 4.2 zu erstellen. Für die „reduzierten“ TINs gelten folgende Randbedingungen:

- Ein einzelnes TIN darf eine Gewässerstrecke von 100 km (ohne Überlappungsbereich) nicht überschreiten.
- Der Überlappungsbereich beträgt mindestens 1-2 km.
- Die Höhendifferenz zwischen benachbarten Punkten darf i.d.R. 10 cm nicht unterschreiten.

Ergebnis: vollständiger Geobasisdatensatz der Saar für den Fachdienst FLYS

4.5 Erstellung des Delft3D-FM-Modells für die Saar

Zur Erstellung des Delft3D-FM-Modells für die Saar sind nacheinander folgende Schritte abzuarbeiten:

1. Modellkonzeption (Kapitel 4.5.1)
2. Erstellung des Rechengitters (Kapitel 4.5.2)
3. Zuweisung von Geländehöhen (Kapitel 4.5.3)
4. Zuweisung von Rauheiten (Kapitel 4.5.4)
5. Aufbau des RTC-Modells für die Bauwerkssteuerung (Kapitel 4.5.5)
6. Stationäre hydraulische Kalibrierung (Kapitel 4.5.6)
7. Instationäre hydraulische Kalibrierung (Kapitel 4.5.7)
8. Stationäre und instationäre Validierung (Kapitel 4.5.8)

Bei Bedarf kann zwischen AN und AG vereinbart werden, dass die Modellerstellung in zwei Stufen erfolgt: erstens für einen Pilotabschnitt und anschließend für das Gesamtmodell. Die Erstellung des Pilotmodells kann als **Bedarfsposition B1** abgerufen werden.

Das Pilotmodell dient exemplarisch der Etablierung aller Arbeitsschritte der Modellerstellung (Modellkonzeption, Rechennetz, Wehrsteuerung, Kalibrierung und Validierung), um ein im Detail abgestimmtes Vorgehen zwischen AG und AN zu erreichen. Es sind für eine ausgewählte Teilstrecke¹¹ drei Modellvarianten mit unterschiedlichen Auflösungen in Vorland und Hauptgerinne¹² für die Pilotmodellstrecke inkl. Kalibrierung und RTC-Modell zu erstellen.

Für die drei Varianten des Pilotmodells sind die Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Gitterauflösungen insbesondere im Hinblick auf Abbildungsgenauigkeit (vgl. Modellhöhen mit Geländehöhen des DGM-W) und Rechenzeiten (exemplarische stationäre und instationäre Vergleichsrechnungen) zu dokumentieren und zu bewerten sowie vor Beginn der Arbeiten am Gesamtmodell mit dem AG zu diskutieren. Durch die Variation der Gitterweiten muss ein möglichst optimaler Kompromiss zwischen Abbildungsgenauigkeit und Rechenzeit gefunden werden, der dann nach Abstimmung zwischen AN und AG für das Gesamtmodell verwendet wird.

4.5.1 Delft3D-FM Modell: Konzeption, Abflussbilanzen und Kalibrierstrategie

Diese Position beinhaltet die detaillierte Konzeption der Modellerstellung, insbesondere unter Berücksichtigung von Wehrsteuerung, Modellverzweigungen und den beschriebenen Randbedingungen an den Pegeln (Zuflüsse, Betriebspegel, hydrologische Pegel) und zusätzlichen Flächen- und

¹¹ Als Pilotstrecke kann bspw. der Abschnitt zwischen den Pegeln Fremersdorf und UW Wehr Mettlach (ca. 17 km) gewählt werden.

¹² Die drei Modellvarianten können sich z.B. über das Verhältnis der Netzelementgrößen unterscheiden (bspw. 0,3 : 1 : 2, bzw. 5 : 15 : 30°m), evtl. ist es jedoch auch sinnvoll Varianten mit Rechtecken im Vorland zu testen, insb. in Gebirgsstrecken mit schmalen Vorland. Die Auswahl der tatsächlich umzusetzenden Modellvarianten erfolgt in Abstimmung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer.

Linienelementen (für überströmbare Staustufenbauwerke, Brückenpfeiler, Buhnen, Deiche und sonstige hydraulisch relevante Strukturen). Die Rechennetauflösung ist im Konzept festzulegen. Erkenntnisse der ggf. durchgeführten Pilotmodellierung sind zu berücksichtigen.

Im Rahmen der Konzeption wird das Modelllayout (vgl. Abbildung 2) abschließend festgelegt. Hierzu gehören auch geeignete Abflussbilanzuntersuchungen, um die Berücksichtigung der ggf. als diffusen Abflussanteil aus den Zwischeneinzugsgebieten (ZwEZG) zu implementierenden kleinen Nebenflüssen (vgl. Tabelle 1) abstimmen zu können.

Im Zuge dieser Leistungsposition ist ebenfalls die Kalibrierungsstrategie (zu verwendende Rauheitsdefinitionen, Länge der Rauheitsdefinitionsabschnitte, ggf. die Verwendung von automatisierten Optimierungsroutinen wie OpenDA, usw.) festzulegen.

Alle Inhalte dieser Leistungsposition sind mit dem AG abzustimmen und zu dokumentieren.

Ergebnis: abgestimmte und dokumentierte Modellkonzeption (inkl. Abflussbilanzierung und Kalibrierungsstrategie)

4.5.2 Erstellung des Rechennetzes

Diese Leistungsposition beinhaltet:

- Festlegung der Grenzen zwischen Hauptgerinne und Vorland für alle zu modellierenden Gewässerstrecken (vgl. Kapitel 4.3),
- Berücksichtigung von strömungsrelevanten Bauwerken und Bruchkanten als Rechennetzkanten,
- Qualitätssicherung und Plausibilisierung des Rechennetzes.

Mindestanforderungen an das Rechengitter sind:

- Das Hauptgerinne der Saar und den zu berücksichtigenden Bereichen des Rheins und der Blies ist mit einem der Gewässerachse folgenden gekrümmten Rechteckgitter abzubilden. Die Gitterweite darf ca. 50 m in Strömungsrichtung nicht übersteigen, in Querrichtung sind maximal 15 m vorzusehen. Zwischen Hauptgerinne und Vorland sind weitere Rechteckzellen im Uferbereich so anzuordnen, dass ein geeigneter Übergang der Gitterstrukturen ermöglicht wird.
- Die weiteren hydrodynamisch zu berücksichtigenden Nebengewässer sind im Hauptgerinnebereich durch gekrümmte Rechteckgitter mit höchstens 50 m Elementlänge und mindestens 3 Zellen quer zur Fließrichtung abzubilden.
- Das übrige Modellgebiet kann mit einem unregelmäßigen Gitter aus Dreiecks- und/oder Viereckselementen belegt werden. Die Elementgröße ist dabei durch die vorhandene Geländestruktur limitiert. Innerhalb eines Gitterelements darf die vertikale Abweichung der Elementhöhe von der Höhe der jeweiligen ausgedünnten DGM-W-Punkte höchstens 20 cm betragen. In besonders steilen und unebenen Bereichen (z.B. Böschungen) darf die vertikale Abweichung 20 cm überschreiten. Es ist jedoch sicherzustellen, dass die Geländeoberkante relevanter Strukturen mit einer Höhenungenauigkeit von maximal 15 cm abgebildet wird. Das unregelmäßige Gitter muss die Geländetopografie sinnvoll abbilden.
- Für hydraulisch relevante Strukturen (Längsbauwerke, Deiche, Wege, Verkehrsflächen wie Eisenbahndämme und Straßen, Böschungen, Geländesprünge) sind die aus dem DGM-W abgeleiteten Bruchkanten zu verwenden, anhand des DLM zu plausibilisieren und bei der Gittererstellung zu berücksichtigen. Die Bruchkanten müssen sich dabei an Gefällewechseln mit Neigungsänderungen $> 1:7$ orientieren und untereinander so plausibilisiert werden, dass sinnvolle und zusammenhängende Kanten entstehen. Böschungen an Haupt- und Nebengewässern sind durch Kanten jeweils entlang der oberen und unteren Böschungsbegrenzung abzubilden. Deiche müssen mindestens durch die obere Böschungskante (Deichkrone) abgebildet werden. Die Rechengitter müssen die

so abgeleiteten Bruchkanten zwingend als Kanten von Rechenzellen enthalten. Falls mehrere Bruchkanten einen geringeren Abstand zueinander als die Gitterauflösung aufweisen und die Auflösung dort nicht mehr sinnvoll reduziert werden kann, ist die jeweils höher liegende Bruchkante als Kante der Rechenzellen zu verwenden.

<u>Ergebnis:</u> Delft3D-FM-Rechennetz
--

4.5.3 Zuweisung von Geländehöhen

Diese Leistungsposition beinhaltet:

- Das Rechennetz ist anhand der erstellten Datenhaltung mit Höhen zu belegen. Hierbei sind die Geländehöhen des DGM-W bestmöglich auf die Rechengitter zu übertragen, sodass die Genauigkeitsanforderungen (vgl. Kapitel 4.5.2) erfüllt werden.
- Bei der Wahl des Geländehöhenansatzes ist die mögliche Nachnutzung der Modelle für morphologische Simulationen (uniform depth levels) zu beachten.
- Qualitätssicherung und Plausibilisierung der Höhenbelegung.

<u>Ergebnis:</u> mit Geländehöhen belegtes Delft3D-FM-Rechennetz
--

4.5.4 Zuweisung von Rauheiten

Diese Leistungsposition beinhaltet:

- Das Rechennetz ist anhand der erstellten Datenhaltung II (Kapitel 4.3) in Rauheitszonen aufzuteilen. Dabei sind für die Vegetationsflächen strömungsabhängige Rauheitsansätze (*Trachytopen*) gemäß DELTARES (2024) zu verwenden. Die Parametrisierung kann, soweit nicht anders begründet, nach KLOPSTRA ET AL. (1997; 1996) erfolgen. Für alle nicht bewachsenen Flächen sind geeignete Rauheitsansätze zu wählen.
- Die Hauptgerinnerauheiten müssen abschnittsweise mit einem wasserstandsabhängigen Ansatz (keine zusätzlichen abflussabhängigen Rauheitsparameter), beispielsweise nach VAN RIJN (1984; 2007), abgebildet werden. Die Abschnittsgrenzen sind nach hydraulischen Kriterien festzulegen. Für die Kalibrierung des Gesamtmodells sind die Hauptgerinne-Rauheitsabschnitte hydraulisch sinnvoll so festzulegen, dass die Anforderungen an die Abbildungsgenauigkeit erreicht werden können. Alle Ansätze und Parametrisierungen sind mit dem AG abzustimmen.
- Qualitätssicherung und Plausibilisierung der Rauheitszuweisung.

<u>Ergebnis:</u> mit Geländehöhen und Rauheiten belegtes Delft3D-FM-Rechennetz
--

4.5.5 Bauwerke und Bauwerkssteuerung

Diese Leistungsposition beinhaltet:

- Ableitung von Bauwerkshöhen aus dem projektbezogenen DGM-W bzw. den bereitgestellten Unterlagen der Bauwerke und geeignete Aufbereitung der Geometrie für die Modellerstellung. Hierzu gehören neben der korrekten Verortung auch Breite und Höhe der einzelnen Wehrelemente, überströmbare Schleusentore und Kraftwerkshäuser (teilw. bei Hochwasser überströmt).
- Ableitung von Kraftwerksverortung und -leistung. Die Kraftwerksdurchflüsse sind aus der Abfluss- und Stauzielregelung bzw. - soweit vorhanden - den Durchflussganglinien der Kraftwerke zu entnehmen.

- Plausibilisierung der korrekten Lage der Bauwerke anhand des projektbezogenen DGM-W, Orthofotos und DBWK2.
- Plausibilisierung der Kraftwerksdurchflüsse anhand der Abfluss- und Stauzielregelung und Pegelganglinien.
- Umsetzung der Bauwerkssteuerung im Modell (RTC-Modul) und Nachweis der Funktion anhand einer sog. „Testwelle“, die den Steuerungsbereich zweimal durchläuft (= Qualitätssicherung und Plausibilisierung).
- Bewertung der Bauwerkssteuerung im Vergleich zu den bereitgestellten Pegeldaten. Es ist zu beantworten, ob prinzipiell so gesteuert wurde / wird, wie es in den Regeln vorgegeben ist.

Ergebnis: ablauffähiges RTC-Modul im ablauffähigen Delft3D-FM-Modell

4.5.6 Stationäre hydraulische Kalibrierung

Für die Einordnung des Modells u.a. bezüglich bearbeitbarer Aufgabenstellungen, Unsicherheitsbändern und der generellen Aussagekraft ist das Modell anhand der zur Verfügung gestellten Messdaten (siehe Kap. 2.5) zu kalibrieren. Die nachfolgend beschriebene stationäre Kalibrierung ist für das Gesamtmodell durchzuführen. Das beschriebene Vorgehen gilt auch für die Erstellung des Pilotmodells (siehe Bedarfsposition B1).

Das Modell muss für den gesamten Abflussbereich zwischen Niedrig- und Hochwasser eingesetzt werden können. Hierfür ist es notwendig, dass das Modell nicht auf einen Abflusszustand bzw. ein einziges Abflussereignis geeicht wird, sondern mit einem Rauheitsparametersatz den gesamten Abflussbereich zwischen Niedrig- und Hochwasser gut abbilden kann.

Kalibriergröße ist die Rauheit des Hauptgerinnes in entsprechend geeigneten Abschnittslängen. Es ist auf geeignete Übergänge zwischen den Rauheitsabschnitten zu achten. Die Rauheitsparameter des Vorlands sind zunächst aus den Flächennutzungsdaten des bereitgestellten ATKIS-Datensatzes (DLM250 bzw. vergleichbarem Landnutzungsdatensatz für Frankreich) und der strukturierten Datenerhaltung II (siehe Kapitel 4.3) abzuleiten. Bei Bedarf sind die so abgeleiteten Rauheitsflächen mit weiteren Informationen (bspw. aus Orthofotos, Biotopkartierungen, etc.) zu aktualisieren bzw. die Rauheitsparameter des Ufer- und Vorlandbereichs innerhalb realistischer Grenzen zur Feinkalibrierung anzupassen.

Die Kalibrierungsstrategie (zu verwendende Rauheitsdefinitionen, ggf. die Verwendung von automatisierten Optimierungsroutinen (wie bspw. OpenDA)) ist im Zuge der Modellkonzeption und im Vorfeld der Kalibrierung mit dem AG abzustimmen. Im Falle von, durch die Bauwerke auftretenden Oszillationen, welche nicht anderweitig zu lösen sind, können die Wehrhöhen für die stationäre Kalibrierung in Abstimmung mit dem AG anhand der Steuerungsregeln festgelegt werden (hierbei ist auf realistische Parameter- PID, Regelgeschwindigkeit und Regelbereich - zu achten).

Für die stationäre Kalibrierung werden die Wasserspiegelfixierungen eines Niedrig-, eines Mittelwasser- und sowie zweier Hochwasserereignisse (inkl. der dazugehörigen Abflusslängsschnitte) vom AG bereitgestellt.

Der Nachweis der Kalibrierung und der Modellgüte wird durch den Vergleich der modellierten Werte und der Messwerte an den Stationen der Wasserspiegelfixierungen (und an den Pegeln) geführt. Die auf der Flussachse modellierten Wasserstände/Abflüsse, die zugehörigen Messungen und die jeweilige Differenz sind in jeweils einem Diagramm (1: Wasserstandsdiagramm, 2: Abflussdiagramm) als Längsschnitt entlang der Saar darzustellen. Modell-, Mess- und Differenzenwerte müssen zusätzlich in Tabellenform und als W-Q-Diagramm an den Pegelstationen für die stationären Kalibrierereignisse bereitgestellt werden. Die kalibrierten Rauheiten des Hauptgerinnes sind als Längsschnitt

darzustellen, große Sprünge der Rauheiten auf kurzen Strecken müssen entsprechend dokumentiert und begründet werden.

Die Anforderungen an die Kalibriergüte werden in Kapitel 3.4 beschrieben.

Ergebnis: Stationär kalibriertes Delft3D-FM-Modell

4.5.7 Instationäre hydraulische Kalibrierung

Wie auch für die stationäre Kalibrierung (vgl. Kap. 4.5.6) ist die instationäre Kalibrierungsstrategie (zu verwendende Rauheitsdefinitionen, die Verwendung von automatisierten Optimierungsroutinen wie OpenDA, usw.) als Teil der Modellkonzeption (siehe Kap. 4.5.1) zu dokumentieren und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der stationären Kalibrierung im Vorfeld mit dem AG abzustimmen.

Für die instationäre Kalibrierung werden dieselben Ereignisse wie für die stationäre Kalibrierung verwendet. Die vom AG bereitgestellten Wasserstands- und Abflussganglinien dieser Ereignisse sind vor der Kalibrierung/Validierung zu plausibilisieren, indem u.a. eine **Abflussbilanzierung** über die zu verwendenden Zeiträume erstellt wird. So können u.a. die diffus als Zwischeneinzugsgebiet (ZwEZG) zu berücksichtigenden kleinen Nebenflüsse (vgl. Abbildung 1) ermittelt werden.

Der **Nachweis der Kalibrierung** und der Modellgüte erfolgt durch den Vergleich der modellierten Werte und der Messwerte an den in Tabelle 2 aufgeführten Messtellen der Saar (W, tw. auch Q). Die Ober- und Unterwasserpegel der Staustufen werden auch zum Nachweis der korrekt im Modell abgebildeten Stauzielregelung verwendet. Die auf der Flussachse modellierten Wasserstände/Abflüsse, die zugehörigen, gemessenen Pegelganglinien und die jeweiligen Differenzen sind in jeweils einem Diagramm (1: Wasserstandsdiagramm, 2: Abflussdiagramm) als Wert-Zeit-(Ganglinien-)Diagramm darzustellen. Modell-, Mess- und Differenzenwerte der Wasserstands- und Abflussscheitelwerte müssen zusätzlich in Tabellenform für die Kalibrier- und Validierungseignisse bereitgestellt werden. Die Hysterese für die Kalibrierungs- und Validierungseignisse ist an den Hauptpegeln mit Abflusskurven/-messungen darzustellen.

Die Anforderungen an die Kalibriergüte werden in Kapitel 3.4 beschrieben.

Für den Fall, dass Rauheitsparameter oder relevante Modellparameter (bspw. Rechnernetzkanten) aufgrund der instationären Kalibrierung geändert wurden, sind die stationären Kalibrierungseignisse und Auswertungen mit diesem Rauheitsparametersatz zu wiederholen und die Güte erneut auszuweisen.

Lokal vorliegende Geschwindigkeitsmessungen sind ebenfalls mit den Modellergebnissen zu vergleichen. Ein geeigneter Bewertungsmaßstab ist im Laufe des Projekts (auch vor dem Hintergrund der Datengrundlage zu den Geschwindigkeitsmessungen) zwischen AG und AN abzustimmen.

Ergebnis: Instationär und stationär kalibriertes Delft3D-FM-Modell

4.5.8 Stationäre und instationäre Validierung

Die stationäre und instationäre Validierung erfolgt jeweils an einem nicht zur Kalibrierung verwendeten Ereignis (stationär) bzw. Ereigniszeitraum (instationär). Hierfür werden die Wasserspiegelfixierung (stationär) und die W- und Q-Ganglinien (instationär) vom AG bereitgestellt. Art und Umfang der Auswertung erfolgen analog zu dem in den Kapiteln 4.5.6 und 4.5.7 beschriebenen Vorgehen.

Im Verhältnis zur Kalibrierung auftretende größere Abweichungen zwischen Modell- und Messwerten (siehe Qualitätsanforderungen der Kalibrierung) sind gesondert auszuweisen, zu diskutieren und zu dokumentieren.

Ergebnis: Kalibriertes und validiertes Delft3D-FM-Modell mit dokumentierter Modellgüte

4.6 Modellanwendungen des Delft3D-FM-Modells der Saar

4.6.1 Wasserspiegellagen und weitere Daten für den Fachdienst FLYS

4.6.1.1 *Simulation von 30 stationären Abflusszuständen*

Kerndatensatz im Flusshydrologischen Fachdienst FLYS der BfG sind stationäre Wasserspiegellagen, die Grundlage für zahlreiche Auswerteroutinen des Fachdienstes sind. Deshalb ist die Simulation von stationären Wasserspiegellagen für 30 gleichwertige Abflusslängsschnitte der erste Anwendungsfall des neu erstellten Modells.

Die Simulation der 30 Wasserspiegellagen erfolgt erst nach Abschluss und Abnahme der stationären und instationären Kalibrierung und Validierung. Die Leistungsposition enthält im Einzelnen:

- Gleichwertige Abflusslängsschnitte für die Saar zwischen Weidesheim und Schoden dienen als Grundlage der Modellierung. Sie werden von der BfG bereitgestellt.
- Der AN sichtet und überprüft die vom AG gelieferten 30 gleichwertigen Abflusslängsschnitte auf Plausibilität (rechnerisch, Abflussentwicklung, realistische Werte der Nebengewässer, etc.).
- Der AN baut die Modellzustände bzw. Simulationsrechenläufe inkl. der oberen und seitlichen, entsprechenden Randbedingungen gemäß den gelieferten 30 gleichwertigen Abflusslängsschnitten auf.
- Im Modell sind die aktuell gültigen Abfluss- und Stauzielregelungen für die Stauanlagen im Modellgebiet zu berücksichtigen. Es ist dem AG freigestellt, ob hierfür die Stauzielregelung über das RTC-Modul zum Einsatz kommt oder ob die Stauziele an den Stauhaltungen je Abflusslängsschnitt „individuell“ bzw. „händisch“ festgelegt werden.
- Der AN berechnet die Wasserspiegellagen inkl. Strömungsbilder für die insgesamt 30 gleichwertigen Abflussentwicklungen für das Modell der Saar.
- Es muss die Stationarität der Saarabflüsse an 10 in Absprache mit dem AG ausgewählten Pegeln/Orten zwischen den Mündungen der im Modell berücksichtigten Nebenflüsse nachgewiesen werden.

4.6.1.2 *Erstellung der Datenformate für FLYS und Visualisierung*

Für die 30 stationären Abflusszustände sind die berechneten Höhen der Wasserspiegellagen aus der 2D-Modellierung sowohl auf der Gewässerachse als auch für die Ausuferungslinie auf der rechten und linken Flussseite (vgl. Kap. 4.4.1) auszulagern. Dies bedeutet:

- Erstellung von dem WST-Format entsprechenden ASCII-Dateien (siehe Anlage 10) mit den Ergebnissen der Simulation auf der Flussachse und auf der rechten und linken Ausuferungslinie (Wasserstand und Abfluss). Die Diskretisierung beträgt 100 m, zusätzliche Rechenpunktangaben an OW/UW von Stauanlagen, Nebengewässermündungen, Verzweigungen sowie an Pegeln mit Abflusskurven.
- Die Zuordnung der Stationierung für die Ausuferungslinie erfolgt am rechten und linken Ufer über die Stationierung der Querprofilspuren.
- Die zugrunde liegenden Geodaten (Shape-Dateien – Point(Z) inkl. Attributspalte für Station und die Höhe) sind dem AG ebenfalls zu übergeben. Sie müssen die Lage der extrahierten

Wasserspiegelhöhen sowie die Wasserspiegelhöhen selbst beinhalten. Auf der Gewässerachse sind dies die Hektometerstationen, am Ufer sind dies die Schnittpunkte zwischen Querprofilspur und Ausuferungslinie.

Für die 30 stationären Abflusszustände sind die berechneten tiefengemittelten Fließgeschwindigkeiten aus der 2D-Modellierung auszulagern. Sie sind anzugeben als (a) tatsächlich modellierte Geschwindigkeiten auf der Gewässerachse, als (b) mittlere Geschwindigkeiten für die Hauptöffnung und als (c) mittlere Geschwindigkeiten über das abflusswirksame Profil (strömender Bereich). Dies bedeutet:

- Erstellung je einer dem ZUS- und CSV-Format entsprechenden ASCII-Datei (siehe Anlage 10) mit den Ergebnissen der Simulation (Fließgeschwindigkeit und Abfluss). Die Diskretisierung ist mit der Diskretisierung der Wasserspiegellagen identisch (s.o.).
- Die Zuordnung der Stationierung für die mittlere Geschwindigkeit für die Hauptöffnung (b) und über das abflusswirksame Profil (c) erfolgt über den Verlauf der Querprofilspuren zwischen der Ausuferungslinie bzw. der Grenzlinie strömend / speichernd. Für Letztere ist die Abgrenzung aus den „Fließgrenzen“ für den Flysdatensatz (vgl. Kapitel 4.3) zu verwenden.
- Die zugrunde liegenden Geodaten (Shape-Dateien – Point(Z) inkl. Attributspalte für Station und die Höhe) sind dem AG ebenfalls zu übergeben. Sie müssen die Lage der extrahierten Fließgeschwindigkeiten sowie die Fließgeschwindigkeiten selbst beinhalten. Auf der Gewässerachse sind dies die Hektometerstationen, für den Bereich zwischen den Ufern bzw. den Fließgrenzen sind dies die tiefengemittelten Werte auf den Querprofilspuren.

Für 6 stationäre Abflusszustände (vgl. MNQ, MQ und HQ₂ sowie drei weitere im höheren Hochwasserbereich) sind Datensätze im NetCDF-Format und Kartenansichten im PDF-Format zu erstellen. Die Datensätze und Kartenansichten enthalten:

- Strömungsvektoren (tiefengemittelte, richtungsbezogene Strömungsgeschwindigkeit): Die Strömungsvektoren müssen als Pfeile mit Länge und Richtung dargestellt werden. Die Darstellung der Strömungspfeile erfolgt farblich abgestuft entsprechend der Strömungsgeschwindigkeit.
- Tiefenlinienpläne (elementgemittelte Wassertiefen): Die Wassertiefen müssen als Flächen gleicher Wassertiefe dargestellt werden können. Die Darstellung der Wassertiefenflächen erfolgt farblich abgestuft entsprechend der Wassertiefe.

Die Ermittlung bzw. Darstellung der Tiefenlinienpläne soll dabei nicht in Modellauflösung, sondern wesentlich detaillierter durch Verschneidung der Modellergebnisse mit dem DGM-W erfolgen. Der Umgang mit Artefakten der Verschneidung (z.B. trockene Flächen (Inseln), die gar nicht trocken sind) ist zwischen AG und AN nach Vorliegen der Verschneidungsergebnisse abzustimmen. Es ist (u.a. vor dem Hintergrund des Darstellungsmaßstabs, siehe folgende Abschnitt) ein pragmatisches Vorgehen zu wählen.

Details zu den Kartendarstellungen (z.B. Schrittweite der farblichen Abstufung, Inhalte der Legende, Darstellungsbereiche und Maßstab, ergänzenden Kartenelemente usw.) müssen zwischen AG und AN nach Vorliegen der Modellierungsergebnisse abgestimmt werden. Der AG stellt im Zuge dieser Leistungsbeschreibung Beispieldateien (NetCDF und Karten) aus Vorgängerprojekten bereit (Anlage 11).

Auf Basis der 30 stationären Abflusszustände müssen aus den Modellierungen außerdem Volumen-Abfluss-Beziehungen (V-Q) ermittelt werden. Die Diskretisierung muss 100°m betragen. Der AG stellt im Zuge dieser Leistungsbeschreibung Beispieldateien aus Vorgängerprojekten bereit (Anlage 12).

4.6.1.3 Plausibilisierung

Die erstellten Daten- und Kartenprodukte sind vom AN (auf Wunsch durch Nutzung des Fachdienstes FLYS nach dortigem Einspielen) zu plausibilisieren¹³. Diese Leistungsposition enthält im Einzelnen:

- Darstellung der verschiedenen Datensätze der 30 berechneten Wasserspiegellagen und Fließgeschwindigkeiten als Längsschnitte zur Prüfung der Plausibilität der W- und v-Daten jeweils untereinander.
- Darstellung der 30 berechneten Wasserspiegellagen, Fließgeschwindigkeiten und Abflüsse als W-Q- bzw. v-Q-Beziehungen für 5 ausgewählte Saarstationierungen (bspw. bei Brücken, Verzweigungen, Einmündungen von Nebenflüssen) und an allen in Tabelle 2 aufgeführten Pegeln sowie Vergleich mit der jeweils gültigen Abflusskurve (wenn vorliegend).
- Vergleich der W-Q-Beziehungen mit gemessenen Wasserständen aus vorliegenden Wasserspiegelfixierungen und Abflussmessungen der WSV (soweit vorhanden) und Erstellung der hierfür benötigten Diagramme.
- Vergleich der v-Q-Beziehungen mit gemessenen Geschwindigkeiten aus vorliegenden Abflussmessungen der WSV (soweit vorhanden) und Erstellung der hierfür benötigten Diagramme.
- Stauhaltungsweiser Vergleich der V-Q-Beziehungen mit V-Q-Beziehungen aus bereits existierenden Modellierungen (wird vom AG recherchiert und bereitgestellt, Anlage 13) und einfache grafische / tabellarische Darstellung der Unterschiede.
- Ermittlung und Darstellung von Wasserspiegelquergefallen für 6 charakteristische Abflusszustände an allen hydrologischen Pegeln sowie für weitere 5 ausgewählte (zwischen AN und AG abgestimmten) Saarstationen. Die Darstellung erfolgt im Querprofil und in einer weiteren geeigneten Diagrammform (bspw. Relation zwischen Querneigung und Abflusszustand).

Die Überprüfung der erzeugten Flächendatensätze und Kartendarstellungen ist mit hydraulischem Sachverstand visuell durchzuführen; Probleme und Unsicherheiten sind zu dokumentieren und mit dem AG zu diskutieren.

Ergebnis: Stationäre Simulationen für 30 gleichwertige Abflusslängsschnitte, plausibilisierte Basis-Datensätze für FLYS und Visualisierung

4.6.2 Durchführung von stationären Modellberechnungen für n-1 Fall (inkl. Auswertung, Visualisierung und Dokumentation)

Für jede Stauhaltung und jeweils für die Abflüsse HQ₂, HQ₅, HQ₁₀ und HQ₂₀ ist der **n-1-Fall** zu berechnen. Dabei ist ein Wehrelement nicht mehr steuerbar, bzw. das Wehrelement verharrt auf der max. Wehrstellung. Welches Wehrelement für den n-1-Fall jeweils als nicht mehr steuerbar angenommen wird, wird zu Bearbeitungsbeginn der Leistungsposition in Abstimmung zwischen AG und AN entschieden.

Die modellierten Wasserspiegellagen sind auf der Gewässerachse als WST-Datei auszulagern (siehe Anlage 10 und Kapitel 4.6.1.2; es gelten die gleichen Anforderungen). Ebenso sind für die Stauhaltungen Datensätze im NetCDF-Format bereitzustellen, die die Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten in Modellauflösung beinhalten. Für HQ₂ und einen weiteren Abflusszustand sind Tiefenlinienpläne entsprechend Kapitel 4.6.1.2 und Differenzenpläne der Wasserflächen (in Anlehnung an die Anforderungen in Kapitel 4.6.1.2) zu erstellen.

¹³ Der AG bietet an, für die inhaltliche Plausibilisierung die Darstellungsmöglichkeiten des Fachdienstes FLYS zu nutzen. Hierzu spielt der AG die im Entwurf erstellten und formattechnisch vom AN bereits plausibilisierten FLYS-Datensätze ins FLYS-System ein und stellt dem AN einen Zugang zum System bereit. Es ist für den AN jedoch ebenfalls möglich, eigene Werkzeuge zur Plausibilisierung zu nutzen.

<u>Ergebnis:</u> Wasserspiegellagenberechnungen für den n-1-Fall) inkl. Ergebnisausgabe für FLYS und Visualisierung)
--

4.7 Projektbesprechungen

Diese Leistungsposition enthält:

- Vorbereitung und Teilnahme an 5 Projektbesprechungen (i.d.R. halbjährlich oder verbunden mit Meilensteinen: eine Start-, drei Zwischen- und eine Abschlussbesprechung) bei der BfG oder beim WSA Mosel-Saar-Lahn in Koblenz sowie bis zu 4 weitere Projektbesprechungen nach Bedarf und per Videokonferenz.
- Zu den Terminen sind entsprechende Vorbereitungen von Unterlagen als Diskussionsbasis und zur Vorstellung von (Teil-)Ergebnissen erforderlich. Unterlagen zu den Besprechungen sind der BfG zwei Werktage vor dem Termin zu übersenden.
- In den Arbeitssitzungen hat der AN den jeweiligen Sachstand der Arbeiten und den Arbeitsfortschritt anhand des Zeitplans zu präsentieren. Die Arbeitssitzung bietet Gelegenheit, Besonderheiten und Lösungsvorschläge darzustellen, zu diskutieren und abzustimmen.
- Erstellung der Ergebnisprotokolle der Besprechungen (im Entwurf und abgestimmt).

Hinweis: Sonstige Abstimmungsgespräche zu allgemeinen und konkreten, leistungsbezogenen Fragestellungen zwischen AG und AN (z.B. kurzer Austausch, Jour Fixe) werden über die beschriebenen Leistungs- und Bedarfspositionen abgedeckt.

Als **Bedarfsposition B2** soll optional die Teilnahme an einer Bereisung des Modellgebiets beauftragt werden. Hierfür ist eine Bereisungsdauer von zwei Tagen für zwei Personen (Projektleiter*in, Projektbearbeiter*in), zzgl. An- und Abreise, zu kalkulieren.

<u>Ergebnis:</u> 9 Projektbesprechungen inkl. abgestimmter Protokolle

4.8 Abschlussbericht

Diese Leistungsposition enthält:

- Erstellung des Projektberichts im Entwurf (ausschließlich digital; so dass digitale Änderungen durch den AG möglich sind, Word-Datei, Sprache: deutsch, Berichtsaufbau- und -inhalt gemäß Vorgaben des AG (siehe Anlage 14).
- Erstellung eines abgestimmten Endberichts digital (Formate: PDF; zusätzlich Word; Abbildungen zusätzlich als separate Grafikdateien) und gedruckt (3 Exemplare), Sprache: deutsch.
- Übergabe der digitalen Projektergebnisse (Modelle und Modellierungsergebnisse, strukturierte Datenhaltung inkl. geograph. Grundlagendaten, Randbedingungen, Kalibrierungs- / Validierungsdaten, Abflussbilanzen, Auswertungen, etc.) auf einem digitalen Datenträger.

Hinweis: Zur Erstellung des projektbezogenen DGM-W ist ein gesonderter Bericht zu verfassen (siehe Kapitel 4.2), der Anlage zu dem hier beschriebenen Abschlussbericht wird. Die Kalkulation der Aufwände für den DGM-W-Bericht muss auf Grundlage von Kapitel 4.2.10 erfolgen.

<u>Ergebnis:</u> Abgestimmter Endbericht (Word, PDF) und digitale Projektergebnisse.
--

5 Nachhaltigkeit

Bei der Projektbearbeitung ist eine nachhaltige Ressourcennutzung erforderlich. Die genannten zusätzlichen Besprechungen sind aus diesem Grund per Videokonferenz durchzuführen, Berichte und Dokumente werden in digitaler Form übergeben.

6 Anlagen

Anlage 1	Berichte älterer Saarmodellierungen
Anlage 2	Datenordner mit Geodaten, hydrologischen Daten und Bauwerksdaten
Anlage 3	Abfluss- und Stauzielregelung Saar (VV 22-8 vom 01.01.2022)
Anlage 4	Shiftwerte zur Umrechnung zwischen verschiedenen Höhensystemen an der Bundeswasserstraße Saar
Anlage 5	Übersicht der OpenData Daten der Bundesländer
Anlage 6	Leitfaden zur DGM-W-Modellierung (Leitfaden „Qualitätsstandard Digitaler Gelände modelle von Wasserläufen (QS-DGM-W), Version 2.0, BfG-Bericht 2034)
Anlage 7	NTv2-Ansatz - WSV-Grid-Datei
Anlage 8	Formatbeschreibung WSV-3DTOP
Anlage 9	Formatbeschreibung avs-ucd (für Modell B)
Anlage 10	Generierung von raum- und lokalbezogenen Geodaten aus Digitalen Geländemodellen (DGM-W) für die großräumige Abflussmodellierung an Bundeswasserstraßen (BWaStr) und Nachnutzung in der Flusshydrologischen Software (FLYS) der BfG
Anlage 11	Beispieldateien (NetCDF und Karten) aus Vorgängerprojekten (BfG)
Anlage 12	Beispieldateien für V-Q-Beziehungen aus Vorgängerprojekten (BfG)
Anlage 13	V-Q-Beziehung Saar
Anlage 14	Vorgaben des AG zur Berichtserstellung (BfG)

Die Anlagen werden über den FTP-Server zur Verfügung gestellt. Die Bereitstellung der Zugangsdaten erfolgt auf Anfrage.

7 Literaturverzeichnis

- BFG, 2019. Sicherstellung der Vergleichbarkeit von Höhen unterschiedlicher Bezugssysteme an den BWaStr. Differenzwerte für den Übergang von älteren Realisierungen der Höhenbezugssysteme in das aktuelle DHHN2016. BfG-Bericht Nr. 1956. Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz (unveröffentlicht).
- DELTAres, 2024. D-Flow Flexible Mesh User Manual. Online verfügbar unter https://content.oss.deltares.nl/delft3d/D-Flow_FM_User_Manual.pdf (abgerufen am 3.6.2024).
- HKV-HYDROKONTOR, 2010. Erstellung von SOBEK-Modellen für die Saar. Projektbericht im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde. Aachen.
- KLOPSTRA, D., BARNEVELD, H.J., NOORTWIJK, J.M., VELZEN, E.H.V., 1997. Analytical model for hydraulic roughness of submerged vegetation. Presented at: The 27th Congress of the International Association for Hydraulic Research.
- KLOPSTRA, D., BARNEVELD, H.J., NOORTWIJK, J.M.V., 1996. Analytisch model hydraulische ruwheid van overstroomde moerasvegetatie. The Netherlands. Commissioned by Rijkswaterstaat/RIZA, The Netherlands, Tech. Rep. PR051, HKV consultants, Lelystad.
- VAN RIJN, L., 1984. Sediment Transport, Part III: Bed forms and Alluvial Roughness. Journal of Hydraulic Engineering, 110(12), S. 1733–1754.
- VAN RIJN, L., 2007. Unified View of Sediment Transport by Currents and Waves. I: Initiation of Motion, Bed Roughness, and Bed-Load Transport. Journal of Hydraulic Engineering, 133. DOI:133.10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:6(649).
- WSA-MSL, 2022a. Abfluss- und Stauzielregelung (ASR) Saar. Ergänzende Verwaltungsvorschrift VV 22-8 des WSA Mosel-Saar-Lahn. Stand: 01.01.2022.
- WSA-MSL, 2022b. Ertüchtigung der Wehranlage Güdingen (Saar). Beitrag von Andreas Theobald zum Kolloquium „Erhaltung von Wasserbauwerken“ der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) am 14./15.11.2022.
- WSA-SAARBRÜCKEN, 1987. Ausbau der Saar. Eine Dokumentation.

Weitere Literatur/Links:

- BFG (2013): *FLYS goes WEB: Eröffnung eines neuen hydrologischen Fachdienstes in der BfG*. Kolloquium am 15./16. Mai 2013 in Koblenz. Veranstaltungen 4/2013, Koblenz, Mai 2013, 164 S. Online verfügbar unter http://doi.bafg.de/BfG/2013/Veranst4_2013.pdf (abgerufen am 16.08.2021).
- VERKNET (2012): *Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen*. Geodatenatz der Wasserstraßen und Schifffahrtsverwaltung. Zum Projektstart vorliegende Version aus dem Jahr 2012. Online verfügbar unter (neueste Version): https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/service/karten/03_VerkNet-BWaStr/VerkNet-BWaStr_node.html (abgerufen am 08.09.2023).