

LOS 2 - Mosel

**Erstellung hydrodynamisch-numerischer
Modelle der Mosel von Rustroff (Frankreich)
bzw. Perl bis zur Mündung bei Koblenz**

in den Softwares Delft3D-Flexible Mesh (2D) und
SOBEK (1D)

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
1.3.4	1D-SOBEK-Modell	5
2	Beschreibung des Modellgebiets und Datenbereitstellung durch die BfG	6
2.1	Modellgebiet	6
2.2	Modellrandbedingungen	8
2.3	Stauhaltung und Wehrsteuerung	11
2.4	Hochwasserschutzanlagen und weitere Bauwerke	13
2.5	Zusammenfassung der vom AG bereitgestellten Daten	13
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	15
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	17
3.6	Zeitraahmen	17
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	19
4.2.1	Allgemeines	19
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	21
4.2.5	Aufbereitung der bereitgestellten Gewässerbodeninformationen	21
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 Bühnen	22
4.2.10	Ableitung eines DGM-W Modells Typ A und Typ B	22
4.2.11	Bearbeitungsabschnitte	24
4.2.12	Metadaten und Bericht	24
4.3	Strukturierte Datenhaltung II als Grundlage für die Erstellung der FLYS-Datensätze und für die hydraulischen Modelle	24

4.4	Ableitung von Geodaten und modellrelevanten Fachdaten für den Flusshydrologischen Fachdienst der BfG (FLYS).....	26
4.4.1	Erstellung der Geobasisdaten für den FLYS-Datensatz.....	26
4.4.2	Zuschnitt von ESRI-TINs aus Kapitel 4.2	27
4.5	Erstellung des Delft3D-FM-Modells für die Mosel	27
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 Mosel	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
4.6.3	Durchführung von stationären Modellberechnungen für unterschiedliche Abflusskombinationen im Mündungsbereich der Mosel (inkl. Auswertung, Visualisierung und Dokumentation).....	36
4.7	Erstellung eines SOBEK 2-Modells der Mosel (Perl bis Koblenz).....	36
4.7.1	SOBEK Modellkonzeption.....	36
4.7.2	Ableitung der Datengrundlagen für die Modellerstellung.....	37
4.7.3	Erstellung der SOBEK Querprofile und Aufbau des SOBEK-Modells	37
4.7.4	Instationäre Kalibrierung und Validierung	37
4.8	Projektbesprechungen.....	38
4.9	Abschlussbericht	38
5	Nachhaltigkeit.....	39
6	Anlagen.....	40
7	Literaturverzeichnis	41

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) und 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 Mosel von Rustroff (F)¹ bis Koblenz zu beauftragen. Da der Wasserstand im Unterwasser des Wehrs Koblenz von den Wasserständen im Rhein abhängig ist, muss die „Moselmündung“ inklusive der Rheinstrecke von Braubach bis Bendorf ebenfalls berücksichtigt werden.

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

Basierend auf den Grundlagen und Ergebnissen des 2D-Modells ist außerdem ein für die MW/-NW-Vorhersage des Rheins anwendbares **SOBEK-1D-Modell** für die Strecke von Perl bis zur Mündung in den Rhein aufgebaut werden.

Eine tabellarische Übersicht über alle zu erbringenden Leistungen findet sich in Kapitel 6.

1.3 Zielsetzung

Die zu erbringende Leistung besteht in der Erstellung eines anwendungsreifen Delft-3D-Flexible Mesh-Modells (D3D-FM-Modells) für die Mosel zwischen Rustroff und dem „Mündungsbereich“ bei Koblenz - abgebildet durch den Rhein von Braubach bis Bendorf inklusive des Mündungsbereichs der Lahn ab dem Wehr Lahnstein. 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 Die Station Rustroff am oberen Modellrand (~ 4 km oberhalb des Pegels Perl) wird zwecks eines Überschneidungsbereichs für den Abgleich mit einem französischen Modell gewählt und erfolgt somit im Kontext der internationalen Zusammenarbeit.

1.3.1 Modellaufbau

Neben der Mosel selbst sind im Modell die unteren Gewässerstrecken der Sauer (ab Pegel Rosport) und der Saar (ab Pegel Schoden) sowie die Mündungsbereiche weiterer Moselzuflüsse (Ruwer, Kyll, Salm, Drohn, Lieser, Kautenbach, Alf, Flaumbach, Elzbach, Baybach) hydraulisch abzubilden. Der Rhein ist im 2D-Modell ebenfalls zwischen den Pegeln Braubach (Randbedingung: $Q_{\text{Kaub}} + x$ Stunden + ggf. ZWEZG) und Bendorf (Randbedingung unterhalb Niederwerth: W-Q-Beziehung aus bestehendem FLYS-Datensatz des Rheins) darzustellen. Das Modell umfasst somit eine Gewässerlänge von ca. 330 km. Hierbei entfallen ca. 247 km auf die Mosel, ca. 57 km auf die großen Nebenflüsse, ca. 6 km auf Mündungsbereiche von kleineren Nebenflüssen und ca. 20 km auf die Rheinstrecke inkl. der Lahn (Mündungsbereich).

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 13 Moselwehre abzubilden und Hochwasserschutzstrukturen (bspw. Deiche) sowie weitere, strömungsbeeinflussende Bauwerke (bspw. Leitwerke) in und an der Mosel sowie in den Mündungsbereichen der Nebengewässer in ihrer Geometrie sowie Funktion zu berücksichtigen. Für die Steuerung der 13 Bauwerke der Mosel ist die zu erstellende D3D-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 Mosel zu berechnen und darauf basierend die Abflusskurven der wichtigsten Moselpegel zu plausibilisieren. Ebenso ist es Bestandteil des Projekts, resultierende Wasserspiegellagen für n-1-Fälle für alle Stauhaltungen der Mosel 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.

1.3.4 1D-SOBK-Modell

Basierend auf den Grundlagen und Ergebnissen der 2D-Modellierung muss außerdem ein für die MW/-NW-Vorhersage des Rheins anwendbares SOBK2-1D-Modell der Mosel für die Strecke von Perl bis zur Mündung in den Rhein (ca. 248 km) aufgebaut werden. Auch dieses Modell muss grundsätzlich für den gesamten Abflussbereich zwischen NW und HW anwendbar sein, wobei der Fokus der Kalibrierung auf NW- und MW-Ereignissen liegt. Kalibrierung und Validierung sind für das SOBK-Modell lediglich instationär durchzuführen.

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

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 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 Mosel erstreckt sich von Rustroff (circa Mosel-km 247) bis zur Mündung in den Rhein bei Mosel-km 0 (Abbildung 1). Der Rhein selbst ist zwischen den Pegeln Braubach (Rhein-km 579,98) und der Ortslage Bendorf (Rhein-km 599,5) für einen kurzen Abschnitt Teil des Gesamtmodells. 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. 189 km².

Die beiden bedeutenden Nebenflüsse Sauer und Saar sind hydraulisch auf größeren Strecken, die kleineren Nebenflüsse (Ruwer, Kyll, Salm, Drohn, Lieser, Kautenbach, Alf, Flaumbach, Elzbach, Baybach) auf kürzeren Strecken, teils nur im Moselmündungsbereich zu berücksichtigen. Weitere Zuflüsse aus dem Einzugsgebiet sind als diffuse laterale Zuflüsse zu implementieren (siehe Tabelle 1).

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

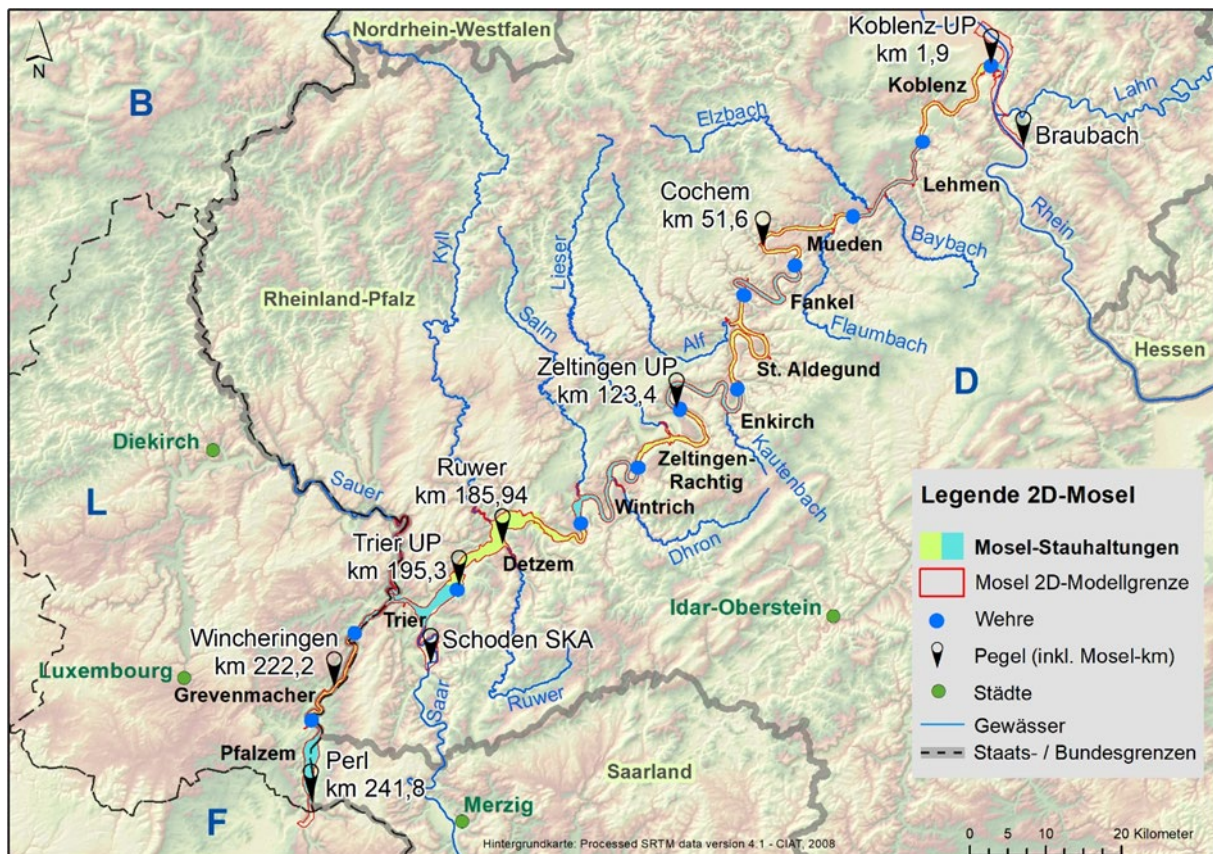


Abbildung 1: Räumliche Ausdehnung des Mosel-Modellgebiets und wichtige Eigenschaften

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

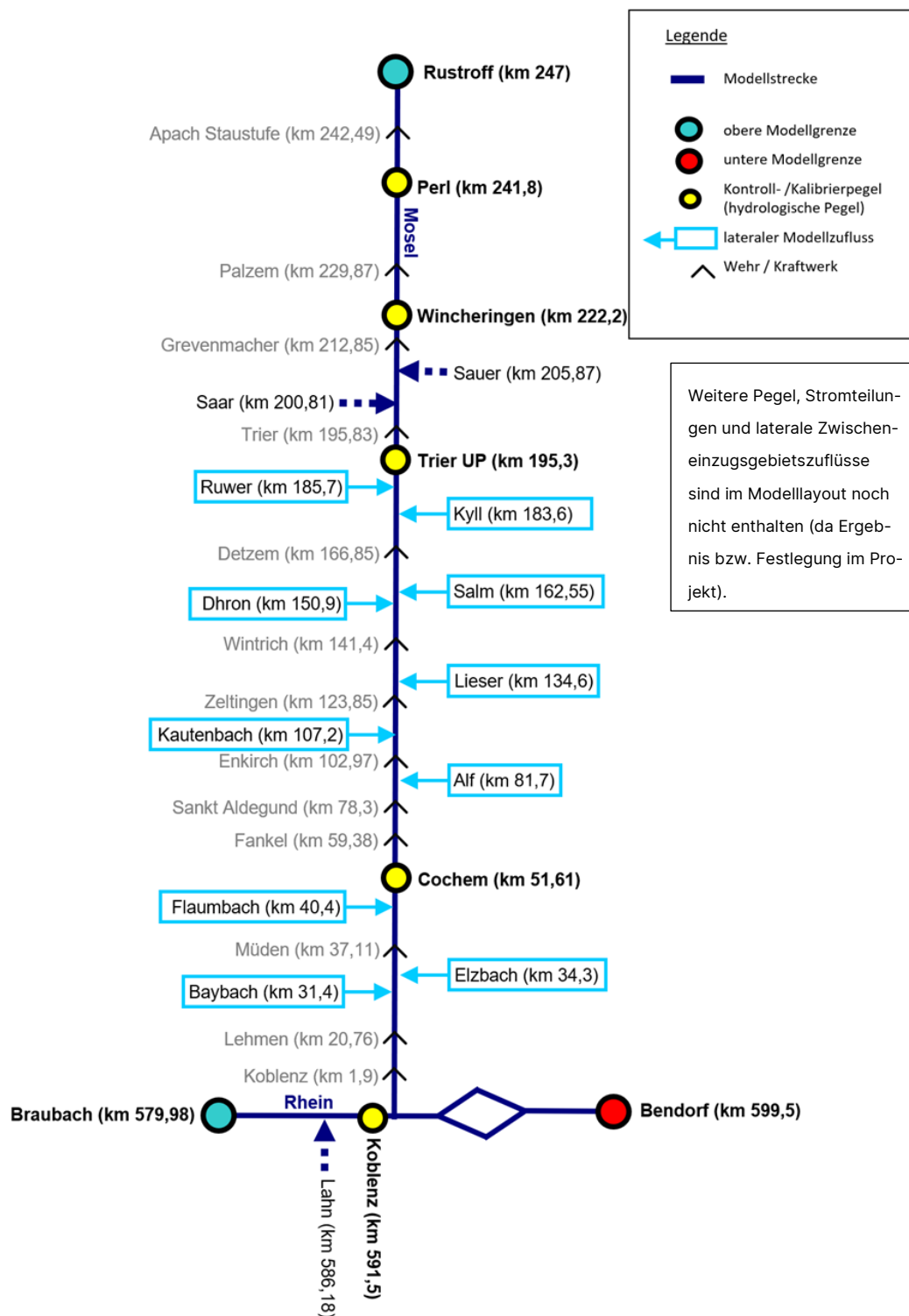


Abbildung 2: Basis-Modellschema des zu erzeugenden 2D-Modells

2.2 Modellrandbedingungen

Die Eingangspegel, auch an den Nebengewässern, die im Deflt3D-FM-Gesamtmodell zu berücksichtigen sind, sind in der Tabelle 1 aufgeführt. 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 Abflüsse 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 Moselpegeln 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 der Mosel angrenzenden 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 Moselpegeln auch ältere Modellberichte (siehe Anlage 1) bereit, in welchen die damals verwendeten Translationsfaktoren dokumentiert sind.

Die kleineren Nebenflüsse müssen in der 2D-Modellierung auf geeignete Weise als diffuse laterale Zuflüsse berücksichtigt werden (s.o. bzw. Tabelle 1). Die Zuflüsse aus Sauer, Saar, Ruwer, Kyll, Salm, Dhron, Lieser, Kautenbach, Alf, Flaumbach, Elzbach und Baybach, sind innerhalb der Modellgrenzen über den Abfluss des mündungsnächsten Pegels hydraulisch abzubilden sind (siehe Tabelle 1).

Tabelle 1: Vorgesehene hydrologische Randbedingungen des Delft3D-FM-Modells der Mosel (inkl. Rhein)

Pegel / ZWEZG	Gewässer	Entfernung zur Mündung [km]	Zufluss [Mosel-km]	Typ der Randbedingung
Rustroff/ Bad Appach (ggf. aus Uckagne abgeleitet)	Mosel		247,00	ORB, Q
ZWEZG 1	11 Zuflüsse (Roderborn - Helterbach)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Rosport	Sauer	~ 19,00	205,87	Q
ZWEZG 2	2 Zuflüsse (Altbach, Mannebach)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Schoden	Saar	~ 8,20	200,81	Q
ZWEZG 3	2 Zuflüsse (Altbach, Biewerbach)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Kasel 3	Ruwer	~ 5,00	185,70	Q
Kordel	Kyll	~ 6,50	183,60	Q
ZWEZG 4	3 Zuflüsse (Quintbach, Föhrenbach, Fellerbach)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Dreis 2	Salm	~ 2,80	162,55	Q
Papiermühle	Dhron	~ 3,20	150,90	Q
ZWEZG 4	2 Zuflüsse (Frohnbach, Hühnerbach/Veldenzerbach)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Platten2 (bzw. Plein)	Lieser	~ 3,00	134,60	Q
ZWEZG 5	1 Zufluss (Tiefenbach)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Traben-Trarbach	Kautenbach	~ 3,10	107,20	Q
ZWEZG 6	3 Zuflüsse (Großbach, Altlayer Bach, Brohlbach/Merlerbach)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Peltzerhaus	Alf	~ 3,00	81,70	Q
ZWEZG 7	3 Zuflüsse (Ellerbach, Enderbach, Pommerbach)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Kloster Engelport	Flaumbach	~1,25	40,40	Q
ZWEZG 8	2 Zuflüsse (Brohlbach, Lützbach)			Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Elztal	Elzbach	~ 1,00	34,30	Q

Pegel / ZWEZG	Gewässer	Entfernung zur Mündung [km]	Zufluss [Mosel-km]	Typ der Randbedingung
Burgen2	Baybach	~ 0,90	31,40	Q
ZWEZG 9	4 Zuflüsse (Schrumpfbach, Ehrbach, Brodenbach, Nothbach)	~ 0,20	28,90	Diffuser lateraler Zwischengebietszufluss
Randbedingung: Braubach/Kaub	Rhein	Rhein-km 579,98		Q ($Q_{Kaub} + x \text{ Stunden} + \text{ggf. ZWEZG}$)
Randbedingung: Lahnstein	Lahn	~ 1,30	Rhein-km 585,72	Q ($Q_{Kalkofen \text{ neu}} + x \text{ Stunden} + \text{ggf. ZWEZG}$)
Randbedingung: Bendorf W-Ganglinie / WQ-Beziehung	Rhein	Rhein-km 599,5		URB; W oder WQ

[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 Mosel-Abflussmessstellen zu verwenden. Hauptpegel der Mosel mit Abflusskurven sind die Pegel Perl, Trier UP und Cochem. Des Weiteren gibt es Daten ortsfester Abflussmessanlagen in Mehring und Alken, die jedoch tw. erhebliche Lücken und Unstimmigkeiten aufweisen.

Tabelle 2 listet die Pegel an der Mosel auf, wobei in Spalte 4 und 5 Informationen zur Art der Aufzeichnungsdaten (Wasserstand: W, Abfluss: Q) genannt werden. Für die Pegel Enkirch OP, St. Aldegund OP, Fankel OP/UP, Müden OP und Lehmen OP sind ebenfalls Angaben zu Abflüssen verfügbar. Sie sind aus der ASR (Trier UP Eingangspegel, anschließend reine Rechenwerte) abgeleitet.

Der Wasserstand vom Pegel Koblenz UP ist maßgeblich auch vom Wasserstand / Abfluss im Rhein beeinflusst.

Tabelle 2: Pegel mit W- und Q-Daten an der Mosel und am Rhein

Station [Mosel-km]	PNP [m+ NHN; DHHN2016]	Pegel	W	Q	Betreiber
-	150,28	Uckange	x	x	DREAL Grand Est, Frankreich
247,000	-	Rustroff		x	DREAL Grand Est, Frankreich
-	-	Apach OP	x		DREAL Grand Est, Frankreich
242,130	-	Apach UP		x	DREAL Grand Est, Frankreich
241,800	138,49	Perl	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
233,430	137,17	Remich	x		Service de la Navigation fluviale, Luxemburg
229,480	134,50	Stadtbredimus UP	x	x	Service de la Navigation fluviale, Luxemburg
222,200	134,50	Wincheringen*	x		WSA Mosel Saar Lahn
212,500	128,26	Grevenmacher UP	x		Service de la Navigation fluviale, Luxemburg
196,200	121,01	Trier OP	x		WSA Mosel Saar Lahn
195,330	121,01	Trier UP	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
185,940	121,01	Ruwer	x		WSA Mosel Saar Lahn
171,650	121,01	Mehring	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
167,700	112,01	Detzem OP	x		WSA Mosel Saar Lahn
165,400	112,01	Detzem UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
141,660	104,52	Wintrich OP	x		WSA Mosel Saar Lahn
141,100	104,52	Wintrich UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
124,100	98,51	Zeltingen OP	x		WSA Mosel Saar Lahn

Station [Mosel-km]	PNP [m+ NHN; DHHN2016]	Pegel	W	Q	Betreiber
123,400	98,51	Zeltingen UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
103,115	91,02	Enkirch OP	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
102,626	91,02	Enkirch UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
78,471	84,02	Sankt Aldegund OP	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
78,084	84,02	Sankt Aldegund UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
59,700	77,02	Fankel OP	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
59,040	77,02	Fankel UP	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
51,610	77,03	Cochem	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
37,470	70,52	Müden OP	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
36,757	70,52	Müden UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
24,128	70,52	Alken **	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
21,040	63,08	Lehmen OP	x	x	WSA Mosel Saar Lahn
20,370	63,08	Lehmen UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
2,110	63,08	Koblenz OP	x		WSA Mosel Saar Lahn
1,915	58,03	Koblenz UP	x		WSA Mosel Saar Lahn
579,980 (Rhein-km)	59,61	Braubach	X		WSA Rhein
591,490 (Rhein-km)	57,69	Koblenz	X		WSA Rhein
600,100 (Rhein-km)	55,22	Bendorf-Mülhofen	X		WSA Rhein

Die französischen Höhendaten beziehen sich auf IGN1969

* Es ist keine Abflusskurve vorhanden.

** Die Daten bei Alken werden aus OP Lehmen abgeleitet

2.3 Stauhaltung und Wehrsteuerung

Nachfolgend sind die gesteuerten Wasserbauwerke aufgeführt, die im Modellbereich neben den ungesteuerten Bauwerken (wie bspw. Leitwerken oder Schwellen) abzubilden bzw. zu berücksichtigen sind. Im zu modellierenden Bereich der Mosel existieren 13 Staustufen mit jeweils Wehr, Kraftwerk und Schleuse (Apach, Palzem-Stadtbredimus, Grevenmacher, Trier, Detzem, Wintrich, Zeltingen, Enkirch, St. Aldegund, Fankel, Müden, Lehmen, Koblenz). Die Staustufe Lahnstein im Rheinnebenfluss Lahn und die Staustufe Schoden im Moselnebenfluss Saar sind insofern nicht zu berücksichtigen, da das Modell erst unterhalb dieser Wehre beginnt.

Bei den Moselstaustufen handelt es sich größtenteils um jeweils direkt auf einer Linie (nebeneinander) angeordnete Bauwerke (Kraftwerk, Fischtreppe, Wehr, Schleuse). Ausnahme ist das ca. 2,5 km oberhalb der Schleuse liegende Saarwehr Schoden und die Moselstaustufe Detzem. Bei der Staustufe Detzem befindet sich die Schleuse ca. 800m unterhalb des Wehrs.

Die Staustufe Koblenz besteht aus einem Walzenwehr (2 Walzen à 40°m und eine Walze plus Aufsatzklappe mit 40°m), das Kraftwerk besitzt eine Ausbauwassermenge von 380°m³/s. Die restlichen neun deutschen Sektorenwehre haben jeweils 3 Wehrfelder à 40°m mit einer Ausbauwassermenge der Kraftwerke von 400°m³/s (bzw. einer Schluckfähigkeit von 400 - 480 m³/s). Die Staustufen Grevenmacher und Palzem (Kondominium³) besitzen jeweils 2 Wehrfelder (à 40°m Sektoren) mit Ausbauwassermengen der Kraftwerke von 165 und 150°m³/s. Die französische Staustufe Apach mit 3 Wehrfeldern (2 Sektoren und eine Klappe à 27,50°m) besitzt eine Ausbauwassermenge des Kleinkraftwerks von geschätzt ~ 78°m³/s.

³ Kondominiumsgebiet = deutsch-luxemburgische Moselstrecke mit den beiden Staustufen Grevenmacher und Palzem

Neben den Wehren ist an den Staustufen insbesondere auch bei den Kraftwerken und den Schleusen auf deren Bauwerkshöhen zu achten, da diese zumindest teilweise bei Hochwassern (ab ca. >HQ₅₀) überströmt werden können und damit abflusswirksam sind. Hierzu ist die Geometrie der Staustufenanlagen, welche in umfangreichen Plänen in Anlage 2 vom AG bereitgestellt werden, zu berücksichtigen.

Die Wehrbauwerke an der deutschen Mosel werden bis zu einem Abfluss von 400 m³/s auf Stauziel 1, zwischen 400 m³/s und 1200 m³/s (Detzem, Trier: bis 1000 m³/s) auf Stauziel 2 gesteuert. In Koblenz sind Stauziel 1 & 2 identisch. Bei Abflüssen > 1200 m³/s (bzw. 1000 m³/s) erfolgt eine weitere Absenkung der Stauziele um 0,5 m (Koblenz: 0,6 m) bis im Unterwasser des Wehrs der HSW (höchster schiffbarer Wasserstand) erreicht wird. Nach Erreichen des HSW sind die Wehre in Tiefstlage (Koblenz: Höchstlage) zu fahren, so dass das Oberwasser nicht mehr als 70 cm (bzw. 60 cm) unter Stauziel 1 bzw. 2 absinkt. Insgesamt ergeben sich bis zu 5 Stauziele, die in Anlage 3 (Abfluss- und Stauzielregelung (ASR) der Mosel zwischen Trier und Koblenz) vollständig und mit Hilfe von Regelungskurven dokumentiert sind. Die dortigen Angaben sind maßgeblich für die Umsetzung im Modell. In Tabelle 3 sind auszugs- und spaltenweise das Wehr, die Moselstation (Mosel-km), der hydrostatische Stau, der höchste schiffbare Wasserstand, die Gesamtwehrbreite und die bis zu 5 Stauziele zusammengefasst. Die Steuerung ist im Rahmen des RTC-Moduls im Delft3D-FM-Modell umzusetzen. In Anlage 3 finden sich auch Angaben zu weiteren zu berücksichtigenden Parametern wie bspw. Toleranzen und Abflusszuweisung zu Stauzielen.

Die Stauzielregelung oberhalb von Trier wird von den Behörden aus Luxemburg und Frankreich verantwortet. Für Grevenmacher ergeben sich im Oberwasser fünf unterschiedliche Stauziele in Abhängigkeit vom Abfluss (< 300 m³/s, 300-600 m³/s, 600-700 m³/s, 700-850 m³/s, > 850 m³/s). Die Stauziele bei Palzem beziehen sich auf den Abfluss von 700 m³/s (Stauziel 1: 140,65 m+NN bei Q < 700m³/s, ab Q > 700 m³/s gilt Stauziel II: 140,55 m+NN). Die Staustufe Apach wird seit 2014 auf ein Stauziel von 145,49 m+IGN69 (entspricht 144,944 m+NN) gesteuert, davor lag das Stauziel 10 cm höher. Die Segmente haben einen Steuerbereich von 139,74 – 148,96 m+IGN69 (entspricht 139,19 – 148,414 m+NN). Die Klappe hat einen Steuerbereich von 143,04 – 145,67 m+IGN69 (entspricht 142,49 – 145,12 m+NN).

Tabelle 3: Automatische Stauzielregelung-Mosel 2024, Höhenangaben in m+NNH, bzw. Höhenstatus 170 (DHHN2016_NH)

Wehr	Mosel-km	Hydro-statischer Stau**	HSW	Wehrbreite	Stauziel 1	Stauziel 2	Stauziel 3	Stauziel 4	Stauziel 5
Koblenz	1,944	-	70,231	120	65,075	65,075	64,875	64,675	64,475
Lehmen	20,848	65,25	77,816	120	72,731	72,531	72,331	72,131	72,031
Müden	37,106	72,70	84,822	120	79,216	79,016	78,816	78,616	78,516
Fankel	59,388	79,20	91,772	120	86,222	86,022	-	-	85,522
St. Aldegund	78,304	86,20	98,822	120	93,222	93,022	92,822	92,622	92,522
Enkirch	102,973	93,20	105,462	120	100,716	100,516	100,216	100,116	100,016
Zeltingen	123,856	100,70	111,268	120	106,712	106,512	106,312	106,112	106,012
Wintrich	141,403	106,70	119,063	120	114,218	114,018	113,813	113,613	113,513
Detzem	166,856	114,20	127,962	120	123,212	123,012	122,812	122,612	122,512
Trier	195,830	123,20	127,963	120	130,463	130,263	130,063	129,863	129,763
Grevenmacher*	212,850	130,45	135,51	80	136,70	136,50	136,30	136,10	135,90
Palzem*	229,872	136,70	139,87	80	140,65	140,55	-	-	-
Apach*	242,430	140,70	143,49	82,5	144,94	-	-	-	-

* Die Angaben für Grevenmacher und Palzem sind in m+NN.

** Angaben noch in HS100, werden vom WSA in HS170 nachgeliefert.

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 24 hier als "Hochwasserschutzanlagen" bezeichneten Strukturen sind nicht ausschließlich Deiche, es sind auch Bahndämme, Mauern etc. enthalten. Die Strukturen enthalten Bauwerke der Größen von 1 m bis zu 5,8 km bei einer Gesamtlänge von insgesamt ca. 44 km. Im bereitgestellten ESRI-Shape sind, soweit erfasst, auch Durchlässe (Lage) enthalten. Breite und Höhe der Durchlässe sind 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 Mosel betrieben (z.B. Häfen, Buhnen (ca. 60 Buhnen oder buhnenähnliche Strukturen existieren laut DBWK an der Mosel), 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 Mosel (siehe v.a. Kapitel 4.2) und der hydrodynamisch-numerischen Modelle (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, 1m Auflösung),
 - flächenhafte Peildaten als stromachsorientiertes Modell mit 1m-Rasterweite (ASCII-Daten),
 - Hauptgerinnedaten der Nebengewässer (zu ca. 90% als Flächendaten, Rest als Querprofile) für die hydraulisch zu modellierenden Nebengewässerabschnitte von Sauer, Saar, Ruwer, Kyll, Salm, Dhron, Lieser, Kautenbach, Alf, Flaumbach, Elzbach, Baybach) und für die als diffuse laterale Zuflüsse zu berücksichtigenden Gewässer (siehe Tab. 1) (Format: Geotiff),
 - Gewässerachsen von Mosel, Saar, Rhein und Lahn aus dem Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen und Gewässerachsen der Nebenflüsse aus WasserBLICK (Format: ESRI Line-Shape),
 - Gewässerstationierungen (100m-Punkte) von Mosel, Saar, Rhein und Lahn aus dem Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen (Format: ESRI-Point-Shape),
 - Festpunkte als Haupt- und Gegenpunkte der WSV für Mosel, Saar, Rhein und Lahn (Format: ESRI Point-Shape),
 - hydrostatischer Stau, Stand 2024 – muss mit vom WSA bereitgestellten Werte für 2025 und in NHN HS 170 aktualisiert werden (Station, Wasserspiegelhöhe auf der Flussachse für die Mosel) (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 Rhein (von Braubach bis Bendorf) (Format: ESRI-TIN).

2. Steuerungsvorschriften der Moselwehre (Format: pdf)
3. Abflussganglinien aller in Tabelle 1 genannten Zuflusspegel und eine abgeleitete W-Q-Beziehung am unteren Modellrand im Rhein bei Bendorf (Formate: Ascii, xlsx, pdf).
4. Ganglinien (W und – wo vorhanden - Q) der in Tabelle 2 genannten Pegel an der Mosel (Formate: Ascii, xlsx, pdf).
5. Wasserspiegelfixierungen mit zugeordneten Abflusslängsschnitten für die zu kalibrierende Moselstrecke 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 (Perl, Trier, Cochem) (Format: ASCII, xlsx).
8. Ausbaudurchflüsse der Kraftwerke (Format: ASCII, xlsx).
9. ATKIS-Landnutzungsdaten (Digitales Landschaftsmodell 1: 250000 (DLM250) des BKG) und vergleichbare Datensätze der Landnutzung für Luxemburg und Frankreich (Format: ESRI-Shape)
10. Querprofilspuren (erstellt ca. im Jahr 2000) als Grundlage zur Plausibilisierung der zu aktualisierenden, bzw. neu zu erstellenden Querprofilspuren für die Mosel (inkl. Attribute „BWaStr-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 der Länder Luxemburg und 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 TK25 bis TK1000 des BKG (Format: WMS).

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 Geodatenätze (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 und SOBEK (<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.

Für die Erstellung der Modellquerprofile für SOBEK können in Absprache mit dem AG die Werkzeuge Baseline, Gis2Prof, ArcSOBEK (2010) oder eine vergleichbare Software eingesetzt werden. Zur ggf. automatisierten Kalibrierung des Modells ist in Absprache mit dem AG OpenDA (www.openda.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)
- SOBEK Version 2.16.004
- Baseline Version: 4, 5 oder aktueller
- Delft3D_Tools Version V1.1 oder aktueller
- Gis2Prof Version 10141.1 oder aktueller
- ArcSOBEK Version 2010 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. Das SOBEK-Modell muss auf Windows 10/11-PC mit 4 Rechenkernen betrieben werden können.

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:

1. Wasserstandsdifferenzen an Pegeln mit Abflusskurven/-messungen: < 5°cm
2. Wasserstandsdifferenzen auf der Strecke: < 10°cm
3. Mittlere Abweichung der Wasserstandsdifferenzenbeträge für festgelegte Streckenabschnitte zwischen Hauptpegeln: < 5°cm
4. Abflussabweichungen: < 10°%

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 Wasserspiegelfixierung entlang der Mosel 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 > HSW bestehen wiederum Einschränkungen aufgrund der Befahrbarkeit der Mosel.

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°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. Rechnernetzkanten) 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 unstimmtig 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 und des SOBEK-Modells der Mosel, ebenso wie der FLYS-Datensatz, erfolgt mit dem Koordinatenbezug der amtlichen Landesvermessungsverwaltung (**ETRS89/DREF91.R16, UTM32**) sowie mit dem amtlichen Höhenzug der Landesvermessungsverwaltung (**DHHN16, Höhenstatus 170**).

Alle bereitgestellten Daten, die nicht im benötigten Lage-, Höhenbezugssystem vorliegen, sind i.d.R. umzurechnen (vgl. BfG, 2019). Für die Umrechnung zwischen verschiedenen Höhenbezugssystemen siehe Kapitel 4.2 (insbesondere Kapitel 4.2.2).

3.6 Zeitrahmen

Die Bearbeitung ist innerhalb von 35 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-/fachdaten (Kapitel 2.5) und Aufbau der 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 von Delft3D-FM-Modell und SOBEK-Modell (Kapitel 4.3)
- **Meilenstein 4:** Ableitung der Geodatensätze für FLYS (Kapitel 4.4)
- **Meilenstein 5:** Erstellung des Delft3D-FM-Modells für die Mosel (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 FLYS-Datensatz (Ist-Zustand inkl. Datenformate, Plausibilisierung und Visualisierung; Kapitel 4.6.1)
 - Meilenstein 8.2: Stationäre Modellläufe für n-1-Fälle an allen Moselwehren und für ein Eisstauszenario am Wehr Koblenz für jeweils 4 Abflusszustände inkl. Auswertung und Visualisierung (Kapitel 4.6.2)
 - Meilenstein 8.3: 10 stationäre Modellläufe zur Modellierung von Mündungskombinationen (Mosel und Rhein; inkl. Auswertung und Visualisierung; Kapitel 4.6.3)
- **Meilenstein 9:** Ableitung eines SOBEK-1D-Modells für die Vorhersage (Kapitel 4.7)

- Meilenstein 9.1: Vorgehenskonzeption zur Erstellung des 1D-SOBK-Modells auf Grundlage der Ergebnisse der Meilensteine 1-7 (Kapitel 4.7.1)
- Meilenstein 9.2: Erstellung 1D-Rechnetz und Modellprofile (Kapitel 4.7.2 und 4.7.3)
- Meilenstein 9.3: Implementierung der Bauwerke und Bauwerkssteuerung sowie instationäre Kalibrierung und Validierung (Kapitel 4.7.4)
- **Meilenstein 10:** Abschlussbericht (Kapitel 4.9)

Ergebnis: 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 der hydrodynamisch-numerischen Modelle 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 und für die Generierung von Modelldaten für SOBEK 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.

Ergebnis: 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/>). Höhenangaben der WSV (Peil- bzw. Hauptgerinnetdaten) 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. Das Verfahren wird in einem AG/AN Gespräch abgestimmt. 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 zu speichern. Die Eckpunkte der TIN-Modelle sind Bestandteile des Rastermodells. Ausnahme hierbei sind die „harten“ Bruchkannten.

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, Kai-mauern 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 3: 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 ggf. zu entfernen. Das Verfahren ist analog den DGM1-Daten der Bundesländer durchzuführen. Die Gewässerachse ist aus den DGM-Daten selbst abzuleiten.

4.2.5 Aufbereitung der bereitgestellten Gewässerbodeninformationen

Die durch die WSV bereitgestellten flächenhaften Gewässerbettinformationen 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 den Kautenbach liegen weder flächenhafte Gewässerbettinformationen noch vermessenen Querprofile vor. Hier 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 vorliegen, sind zur Ableitung von entsprechenden Ersatzmodellen / Bruchkanten 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 ist hydraulischer 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)
- Gewässerbettinformationen 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) und der
- Buhnen (siehe Kapitel 4.2.9)

ist ein DGM-W abzuleiten.

Die unterschiedlichen Datensätze liegen nach der Aufbereitung in Form von Modellstützpunkten vor. Diese sind zu einem Gesamtmodell zu kombinieren, wobei in der Regel die jeweils aktuellsten Daten zu verwenden sind. Die Hierarchie der Kombination ist mit dem AG abzustimmen.

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

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

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 Gewässerbettinformationen, 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 Gewässerbettinformationen 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 Gewässerbettinformationen 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 Gewässerbettinformationen 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 4,
 - 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.

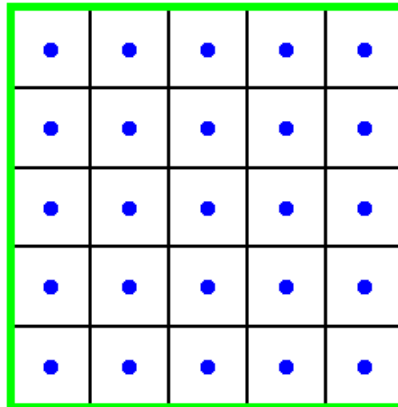


Abbildung 4: Gitterpunktpositionen (Kachelrand und Gitterpunkte)

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 verfassen. 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 Mosel (Modelle A und B) inkl. Dokumentation

4.3 Strukturierte Datenhaltung II als Grundlage für die Erstellung der FLYS-Datensätze und für die hydraulischen Modelle

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- bzw. SOBEK-Modellinstanz die folgenden

Datensätze zu erstellen (= strukturierte Datenhaltung II). Die Datensätze sind jeweils für den gesamten Modellbereich inklusive der zu berücksichtigen Nebenflüsse zu erstellen. Für den Rhein im Mündungsbereich sind sie soweit zu erstellen, wie sie zur Erfüllung der in dieser Unterlage beschriebenen Anforderungen benötigt werden.

1. Modellgrenzen der hydraulischen Modelle (Delft3D-FM und SOBEK): Hierbei sind die bedeutenden Nebenflüsse (siehe Tabelle 1) oberhalb der Mündung in die Mosel zu berücksichtigen. Die Modellgrenze für Delft3D-FM ist im Gegensatz zur SOBEK-Modellgrenze 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 Mosel: Im Bereich von Verzweigungen muss eine entsprechende Bezeichnung (hier kann die BWStr-Nummer verwendet werden) auch für den Nicht-Schiffahrtsweg erstellt/verwendet werden (Format: ESRI-Polyline-Shape).
3. Flussachsen der hydraulisch modellierten Zuflüsse vom Zuflusspegel / Modellgrenze bis zur Einmündung in die Mosel (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 Nebenflussmündung 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 (durchströmt/speichernd); **Hinweis**: Teile dieser Datensätze werden für die 2D-Modellierung nicht benötigt, sind jedoch für die Erstellung des 1D-Modells notwendig. So kann bspw. die Grenze durchströmt/speichernd aus den Ergebnissen des Delft3D-FM-Modells abgeleitet werden) (Format: ESRI-Polygon- und Polyline-Shape).
8. HW-Schutzanlagen und Durchlässe mit Attributen zu Bezeichnung, Höhe, Durchlasshöhe/-breite, Stationierung (Format: ESRI- Polyline-ZM Shape und ESRI-Point-Shape).
9. Sommer- und Winterdeiche mit Attributen zu Bezeichnung, Stationierung und Höheninformationen, insbesondere für die 1D-Modellierung, tw. identisch mit Punkt 8 (Format: ESRI-Polyline-ZM-Shape und ESRI-Point-Shape).
10. Längs- und Querbauwerke, (falls vorhanden auch Buhnen) mit Stations- und Höheninformationen (für Bauwerkshöhen; bspw. Buhnenkopf, Buhnenwurzel und Buhnenfuß) (Format: ESRI-Polyline-ZM-Shape und ESRI-Point-Shape).
11. Brückenpfeiler, mit Station und lichter Höhe des Brückenkörpers (falls vorhanden, an der Mosel 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. Mosel-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-, Buhnen-, Bruchkanten-, Stauhaltungsbauwerks-, Deichhöhen, etc.). Der Datensatz dient als „Zusammenfassung“ und schlussendlich der Nachvollziehbarkeit darüber, welche der unter den Punkten 1-15

aufbereiteten Daten tatsächlich in die Modellerstellung eingegangen sind (siehe Kapitel 4.5.3) (Format: ESRI-Point-Shape, XYZ-ASCII).

17. Modelleingangsgroößen 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: xls/x, 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).⁴
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).
23. SOBEK-Rechenzweige und SOBEK-Profilflächen: siehe Kapitel 4.7.2 und 4.7.3 (Format: ESRI-Polyline/Polygon-Shape).

Die strukturierte Datenhaltung II als Basis zur Generierung von FLYS-Geodaten und FLYS-Fachdaten sowie zur Generierung der Modellinstanzen von Delft3D-FM- und SOBEK-Modell 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 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 ist.

Ergebnis: Strukturierte Datenhaltung II (als Grundlage für die Erstellung der FLYS-Datensätze und für die hydraulischen Modelle)

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, gewässerkundliche und modellrelevante 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. Der FLYS-Datensatz besteht aus dateibasierten Daten in verschiedenen Text- und Geodatenformaten. Die grundsätzlichen Anforderungen zur Ableitung der Geodaten (ohne Modellergebnisse) werden in Anlage 10 beschrieben.

⁴ Existierenden Querprofilspuren (Stand ca. um das Jahr 2000) 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.

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 Buhnenparameter (Buhnenkopf, -wurzel und -fuß), wo vorhanden (Format: Ascii-Zus).
- Verlauf und Höhenlängsschnitt der Ausuferungslinie (inkl. Attribute: BWStr.-ID, 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: BWStr.-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 (BWStr.-ID, Gewässerseite in Fließrichtung: links/rechts, Bezeichnung Durchlasshöhe/breite und WSV-km) (vgl. Anlage 10). (Formate: ESRI-Point/Polyline ZM-Shape).

Die Anforderungen an die Qualität und die Dateiformate dieser Datensätze sind in Anlage 10 beschrieben. Dort finden sich auch die Anforderungen an die Attributierung 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 Mosel für den Fachdienst FLYS

4.5 Erstellung des Delft3D-FM-Modells für die Mosel

Zur Erstellung des Delft3D-FM-Modells für die Mosel 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, Rechnernetz, Wehrsteuerung, Kalibrierung und Validierung), um ein im Detail abgestimmtes Vorgehen zwischen AG und AN zu erreichen. Es sind für eine ausgewählte Teilstrecke⁵ drei Modellvarianten mit unterschiedlichen Auflösungen in Vorland und Hauptgerinne⁶ 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 Linienelementen (für überströmbare Staustufenbauwerke, Brückenpfeiler, Buhnen, Deiche und sonstige hydraulisch relevante Strukturen). Die Rechnernetzauflösung 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 im Hauptgerinnebereich, 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)

⁵ Als Pilotstrecke kann bspw. der Abschnitt zw. den Pegeln Cochem und UW Wehr St. Aldegund (ca. 27 km) gewählt werden.

⁶ Die drei Modellvarianten können sich z.B. über das Verhältnis der Netzelementgrößen unterscheiden (bspw. 0,3 : 1 : 2, bzw. 5 : 15 : 30m), 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.

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 Rechennetzkannten,
- Qualitätssicherung und Plausibilisierung des Rechennetzes.

Mindestanforderungen an das Rechengitter sind:

- Das Hauptgerinne von Mosel und dem zu berücksichtigenden Bereich von Rhein und der Saar 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 Hauptgerinnereich 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.

Ergebnis: 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, 2024a) zu verwenden. Die Parametrisierung kann, soweit nicht anders begründet, nach (KLOPSTRA ET AL., 1997; KLOPSTRA ET AL., 1996) erfolgen. Für alle nicht bewachsenen Flächen sind geeignete Rauheitsansätze zu wählen.
- Die Hauptgerinnerauheiten müssen abschnittsweise mit einem wassertiefenabhängigen Ansatz beispielsweise nach van Rijn (1984; 2007) abgebildet werden. Weitere durchflussabhängige Parameter, die zu Sprüngen an Klassengrenzen führen, sind nicht gestattet. 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.

Ergebnis: 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- bis 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, und vergleichbarer Landnutzungsdaten für Luxemburg und Frankreich) und der strukturierten Datenhaltung 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, die ggf. Verwendung von automatisierten Optimierungsroutinen (wie bspw. OpenDA)) ist im Zuge der Modellkonzeption und im Vorfeld der Kalibrierung mit dem AG abzustimmen. Im Falle von auftretenden wehrinduzierten 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, die Modellabflüsse, die zugehörigen Messungen und die jeweilige Differenz sind in jeweils einem Diagramm (1: Wasserstandsdiagramm, 2: Abflussdiagramm) als Längsschnitt entlang der Mosel 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 Abflüsse der kleinen Nebenflüsse (vgl. Abbildung 1) ermittelt werden.

Der **Nachweis der Kalibrierung** und der Modellgüte wird durch den Vergleich der modellierten Werte und der Messwerte an den in Tabelle 2 aufgeführten Messtellen der Mosel (W, tw. auch Q) sowie den Pegeln des Rheins (nur W; v.a. Koblenz, Koblenz-Neuendorf, Niederwerth) geführt. Die Ober- und Unterwasserpegel der Staustufen werden auch zum Nachweis der korrekt im Modell abgebildeten Stauzielregelung verwendet. Die modellierten Wasserstände/Abflüsse, die zugehörigen, gemessenen Pegelganglinien und die jeweiligen Differenzen sind in jeweils einem Diagramm (1: Wasserstandsdiagramm, 2: Abflussdiagramm) als Ganglinien für die Hauptpegel darzustellen. Modell-, Mess- und Differenzenwerte der Wasserstands- und Abflussscheitelwerte müssen zusätzlich in Tabellenform für die Kalibrier- und Validierungseignisse bereitgestellt werden. Die Hysterese ist für die Kalibrierungs- und Validierungseignisse 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. Rechnetzkannten) 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.

<u>Ergebnis:</u> 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.

<u>Ergebnis:</u> Kalibriertes und validiertes Delft3D-FM-Modell mit dokumentierter Modellgüte

4.6 Modellanwendungen des Delft3D-FM-Modells der Mosel

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 einer der ersten Anwendungsfälle 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 Mosel zwischen Rustroff bzw. Pegel Perl und dem modellierten Rheinabschnitt zwischen Braubach und Ortslage Bendorf (unterhalb Niederwerth) 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 Mosel (inkl. des Rheinabschnitts).
- Es muss die Stationarität der Moselabflüsse an 14 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 das 1D-Modell (vgl. Kapitel 4.7) 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 (Output aus Delft3D-FM), als Shape-Dateien (stationärer Endzustand) und Kartenansichten im PDF-Format auf Basis von GIS-Projekten 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 Abschnitte) 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 formattechnisch und inhaltlich zu plausibilisieren⁷. 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 Moselstationierungen (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 (Anlage 13) und einfache grafische / tabellarische Darstellung der Unterschiede.
- Ermittlung und Darstellung von Wasserspiegelquergefällen für 6 charakteristische Abflusszustände an allen hydrologischen Pegeln sowie für weitere 5 ausgewählte (zwischen AN und AG abgestimmten) Moselstationen. 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.

Für die Stauhaltung Koblenz ist zusätzlich für die vier Abflusszustände ein **Sonderfall (Eisstau)** zu modellieren. Hierbei ist nur ein Wehrelement für einen, mit dem AG abzustimmenden, geringen Wehrabfluss einzustellen, während das restliche Wehr nicht durch- bzw. überströmt wird.

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

⁷ 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.

entsprechend Kapitel 4.6.1.2 und Differenzenpläne der Wasserflächen (in Anlehnung an die Anforderungen in Kapitel 4.6.1.2) zu erstellen.

Ergebnis: Wasserspiegellagenberechnungen für den n-1-Fall und für ein Szenario Eisstau (Stauhaltung Koblenz) inkl. Ergebnisausgabe für FLYS und Visualisierung)

4.6.3 Durchführung von stationären Modellberechnungen für unterschiedliche Abflusskombinationen im Mündungsbereich der Mosel (inkl. Auswertung, Visualisierung und Dokumentation)

Zur Abschätzung des Einflusses unterschiedlicher Abflusszustände in Mosel und Rhein auf die Wasserstände an der Mosel unterhalb des Wehrs Koblenz sind stationäre Modellierungen mit unterschiedlichen Kombinationen der Abflüsse von Mosel und Rhein durchzuführen. Es sind insgesamt 10 verschiedene Kombinationen, insbesondere bei niedrigen und hohen Mosel- bzw. Rheinabflüssen durchzuführen. Welche Abflusskombinationen zu modellieren sind, wird zu Bearbeitungsbeginn der Leistungsposition in Abstimmung zwischen AG und AN entschieden.

Die Modellierungen sind auf entsprechende Rückstaeinflussbereiche auszuwerten. Die modellierten Wasserspiegellagen der Mosel und des Rheins sind auf der Gewässerachse als WST-Datei auszulagern (siehe Anlage 10 und Kapitel 4.6.1.2, es gelten die gleichen Anforderungen).

Ergebnis: Wasserspiegellagenberechnungen im Bereich der Moselmündung und des Rheins für unterschiedliche Abflusszustände in Mosel und Rhein, inkl. Ergebnisausgabe für FLYS

4.7 Erstellung eines SOBEK 2-Modells der Mosel (Perl bis Koblenz)

4.7.1 SOBEK Modellkonzeption

Auf Basis der Daten für das bzw. aus dem Delft3D-FM Modell muss für die Zwecke der Niedrig- und Mittelwasservorhersage am Rhein ein 1D-SOBEK-Modell für die Mosel zwischen Perl und Koblenz erstellt werden. Es muss für die Softwareversion SOBEK 2.16.004 (vgl. Deltares, 2024b) erstellt werden.

Diese Position beinhaltet die detaillierte Konzeption der Modellerstellung. Dabei sind alle Erkenntnisse und Ergebnisse aus der vorangegangenen 2D-Modellierung und die dafür generierten Eingangsdaten in Wert zu setzen. Das Vorgehen für die Modellerstellung ist so zu gestalten, dass möglichst wenig Doppelarbeiten durchzuführen sind.

Im Rahmen der Konzeption wird auch das Modelllayout (vgl. Abbildung 2) für das 1D-Modell abschließend festgelegt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für den Einsatz in der Niedrig- und Mittelwasservorhersage nicht alle lateralen und diffusen Zuflusspegel an den Nebengewässern zur Verfügung stehen. Die jeweils zu berücksichtigenden Zuflüsse und die anzuwendenden zeitlichen Translations- und Einzugsgebietsfaktoren werden vom AG vorgegeben. Im Zuge dieser Leistungsposition ist ebenfalls die Kalibrierungsstrategie für das 1D-Modell festzulegen. Eine stationäre Kalibrierung kann entfallen, für die instationäre Kalibrierung ist ein besonderer Fokus auf die Pegelstandorte zu legen.

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

Ergebnis: abgestimmte und dokumentierte Modellkonzeption für die SOBEK-Modellierung (inkl. Abflussbilanz und Kalibrierungsstrategie)

4.7.2 Ableitung der Datengrundlagen für die Modellerstellung

Die Datengrundlagen für die Erstellung der SOBEK-Querprofile sind abzuleiten und in der strukturierten Datenhaltung abzulegen (vgl. Kapitel 4.3). Es gilt insbesondere:

Für das SOBEK-Rechennetz sind die Pegelstationen Perl, Wincheringen, Trier, Wintrich, Cochem, Alken und Koblenz UP sowie die OP und UP der Moselstautufen und die Moselwehre selbst zwingend einzuhaltende Rechenknoten.

Die zu erstellenden SOBEK-Rechenzweige folgen den bereitgestellten Achsen, auf Verzweigungen an den Stautufen kann verzichtet werden. Schleusenkanäle und Häfen werden als angeschlossene, stehende Gewässer berücksichtigt.

Die Durchströmungsgrenze ist explizit mittels Unterstützung der Ergebnisse aus der 2D-Modellierung mittels einer geeigneten Vorgehensweise abzuleiten (vgl. Kapitel 4.3).

4.7.3 Erstellung der SOBEK Querprofile und Aufbau des SOBEK-Modells

Aus den plausibilisierten Daten und der daraus erstellten strukturierten Datenhaltung (siehe Kapitel 4.3) sind SOBEK-Profile für das 1D-Modell zu generieren. Die Diskretisierung muss 200°m betragen, im Bereich von Wehrbauwerken, Verzweigungen, Einmündungen und strömungsrelevanten Strukturen ist die Diskretisierung auf 100°m zu verringern, um deren Einfluss abbilden zu können.

Für die Erstellung der Modellquerprofile für SOBEK können nach Abstimmung mit dem AG die Werkzeuge Baseline, Gis2Prof, ArcSOBEK oder vergleichbare Software eingesetzt werden. Die Empfehlungen der BfG für die ID-/Namenswahl in SOBEK Modellen (Anlage 14) sind dabei grundsätzlich zu beachten.

Die gesteuerten Bauwerke und ihre Steuerung sind ausgehend vom RTC-Modul im Delft3D-Modell ins SOBEK2-Modell zu implementieren. Der Nachweis der Funktionalität der Wehrsteuerung kann, wenn notwendig, über eine geeignete künstliche Welle geführt werden (ansonsten siehe Kapitel 4.7.4).

Die Plausibilisierung der generierten Profile erfolgt gemäß Anlage 15 inkl. Dokumentation der Plausibilisierung.

Ergebnis: abgeleitete, plausibilisierte SOBEK-Querprofile, (Format: SOBEK River Version 2) inkl. Dokumentation der Plausibilisierung, unkalibriertes SOBEK-Modell

4.7.4 Instationäre Kalibrierung und Validierung

Diese Leistungsposition enthält:

- Strecken- und abflussabhängige Zuweisung und Kalibrierung von Rauheiten im SOBEK-Modell.

Für die instationäre Kalibrierung des SOBEK-Modells werden dieselben Ereignisse wie für die instationäre Kalibrierung des Delft3D-FM-Modells verwendet. Als obere Randbedingung werden die gemessenen Abflussganglinien des Pegels Perl verwendet, als untere Randbedingung werden die bereitgestellten Wasserstandsganglinien des Pegels Koblenz UP verwendet.

Der **Nachweis der Kalibrierung** und der Modellgüte wird durch den Vergleich der modellierten Werte und der Messwerte an den Pegeln Perl, Wincheringen, Trier UP, Cochem, Alken und Koblenz UP sowie an den Ober- und Unterwasserpegeln der Stauhaltungen geführt. Die Ober- und Unterwasserpegel der Stautufen werden auch zum Nachweis der korrekt im Modell abgebildeten Stauzielregelung verwendet. Die Anforderungen an die Kalibriergüte an den genannten Pegeln werden in Kapitel 3.4 beschrieben.

Die modellierten Wasserstände/Abflüsse, die zugehörigen, gemessenen Pegelganglinien und die jeweiligen Differenzen sind in jeweils einem Diagramm (1: Wasserstandsdiagramm, 2: Abflussdiagramm) als Ganglinien darzustellen. Modell-, Mess- und Differenzenwerte der Wasserstands- und Abflussscheitelwerte müssen zusätzlich in Tabellenform bereitgestellt werden. Außerdem ist für alle genannten Auswertungen ebenfalls ein Vergleich zwischen Delft3D- und SOBEK2-Berechnungsergebnissen durchzuführen.

Die Hysterese ist für die Kalibrierungs- und Validierungsereignisse an den Hauptpegeln mit Abflusskurven/-messungen darzustellen.

Die instationäre Validierung erfolgt für den auch für die Validierung des Delft3D-Modells verwendeten Ereigniszeitraum (instationär). Art und Umfang der Auswertung erfolgen analog zum weiter oben in diesem Kapitel 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: instationär kalibriertes & validiertes SOBEK-Modell der Mosel (Perl-Koblenz)

4.8 Projektbesprechungen

Diese Leistungsposition enthält:

- Vorbereitung und Teilnahme an 7 Projektbesprechungen (i.d.R. halbjährlich oder verbunden mit Meilensteinen: eine Start-, fünf 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.

Ergebnis: 9 Projektbesprechungen inkl. abgestimmter Protokolle

4.9 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 16).
- 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 4.2.10), 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 vorzugsweise per Videokonferenz durchzuführen, Berichte und Dokumente werden in digitaler Form übergeben.

6 Anlagen

Anlage 1	Berichte älterer Moselmodellierungen
Anlage 2	Datenordner mit Geodaten, hydrologischen Daten und Bauwerksdaten
Anlage 3	Abfluss- und Stauzielregelung der Mosel (VV-WSA Mosel-Saar-Lahn 22-7 01.03.2024)
Anlage 4	Shiftwerte zur Umrechnung zwischen verschiedenen Höhensystemen an der Bundeswasserstraße Mosel
Anlage 5	Übersicht der Open Data Daten der Bundesländer
Anlage 6	Leitfaden zur DGM-W-Modellierung (Leitfaden „Qualitätsstandard Digitaler Geländemodelle 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 (auch 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 (BfG)
Anlage 13	V-Q-Beziehung Mosel aus Vor-Projekt
Anlage 14	Empfehlungen der BfG für die ID-/Namenswahl in SOBEK Modellen (BfG)
Anlage 15	Anleitung zur Plausibilisierung von SOBEK-Querprofilen (BfG)
Anlage 16	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

- ARCSOBEK, 2010. Projektbezogene Kurzbeschreibung zur Anwendung von ArcSOBEK, erstellt von Hydrotec im Juni 2010. Die ArcGIS-Extension „ArcSOBEK“ wurde von Björnsen Ingenieuren im Rahmen des Projektes „Erstellung des eindimensionalen Feststofftransportmodells für die Elbe“ (2009) im Auftrag der BfG entwickelt. (unveröffentlicht).
- 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).
- DELTAES, 2024a. 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).
- DELTAES, 2024b. SOBEK 1D/2D modelling suite for integral water solutions. Hydrodynamics, Rain-fall-Runoff and Real-Time-Control. User Manual. Online verfügbar unter https://content.oss.deltares.nl/sobek2/SOBEK_User_Manual.pdf (abgerufen am 3.6.2024).
- 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).

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 Seiten. Online verfügbar unter https://doi.bafig.de/BfG/2013/Veranst4_2013.pdf (abgerufen am 3.6.2024).
- VERKNET (2021): *Verkehrsnetz der Bundeswasserstraßen*. Geodatensatz der WSV. Online verfügbar unter https://www.gdws.wsv.bund.de/DE/service/karten/03_VerkNet-BWaStr/VerkNet-BWaStr_node.html (abgerufen am 03.06.2024).