

Kopplung von HYDRO_AS-2D und FLORIS in einem interaktiven Simulationssystem

Grundlagen und methodische Ansätze

1. Einleitung

MOTIVATION

Die Kopplung von numerischen Modellen und deren Einbettung in interaktive Systeme eröffnen für viele wasserwirtschaftliche Fragestellungen völlig neue Möglichkeiten und Perspektiven.

Als „*interaktive Simulationssysteme*“ bezeichnen wir dabei Anwendungen, bei denen unmittelbar und vor allem auch während der Berechnungen in die Simulation eingegriffen werden kann. Vergleichbar dem Konzept eines Flugsimulators stehen die direkte Interaktion zwischen Simulation und Eingriff im Vordergrund. Das Wechselspiel zwischen Eingabe bzw. Maßnahme, Auswirkung und neuerliche Reaktion auf diese Auswirkung sind ist das zentrale Ziel der Anwendungen.

Um dieses Ziel zu erreichen, sind *robuste Techniken* zur Kopplung von Modellen sowie zur Einbettung der Modelle in übergeordnete Systeme wichtig. Dabei können manche Ansätze aus bestehenden Anwendungsbereichen – z.B. aus operationellen Prognose-Systemen – übernommen werden. Andere müssen neu entwickelt oder adaptiert werden. Insgesamt sind diese Ansätze weniger verbreitet, als es aufgrund des großen Nutzens, der sich aus ihnen ergeben kann, zu erwarten wäre.

Im vorliegenden White-Paper werden daher die Grundlagen und die Methodik (a) zur *Kopplung von HYDRO_AS-2D und FLORIS* sowie (b) die *Einbettung der beiden Modelle in ein interaktives Trainings- und Simulationssystem* beschrieben.

Die Beschreibung erfolgt anhand eines Demo-Projektes, welches im Sinne eines „*Proof of Concepts*“ erstellt wurde. Die Beschreibung kann damit als Blaupause für vergleichbare Lösungsansätze dienen und es werden bewusst auch technische Details, die für die Umsetzung wichtig sind, beschrieben.

DATENGRUNDLAGE

Für das Demo-Projekt wurden als Basis die Modelle aus inhaltlich verwandten Projekten verwendet. Dabei dient das dargestellte Demo-System, wie oben beschrieben, ausschließlich der Beschreibung von methodischen Ansätzen. Die Ansätze selbst wurden aber nicht für das Demo-Projekt entwickelt, sondern sie haben sich bei gleichen oder ähnlichen Fragestellungen bereits in vielen Projekten bewährt.

2. Grundsätzliche Überlegungen zum Koppeln von Modellen

WARUM WIR MODELLE KOPPELN

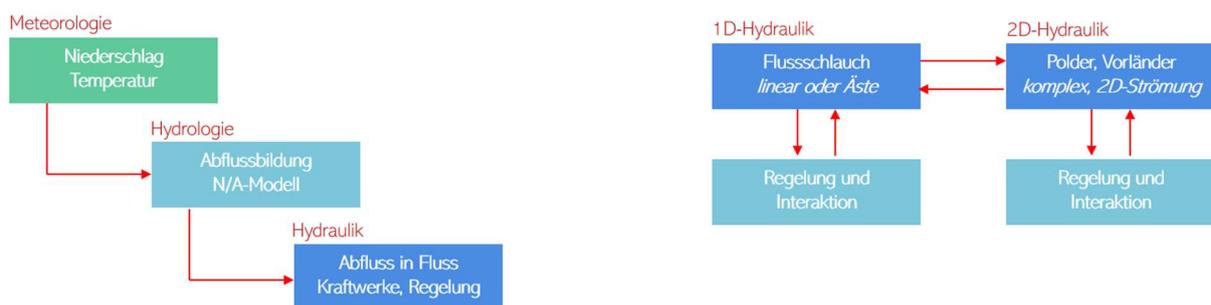
Bei der Kopplung von Modellen steht immer im Vordergrund, dass wir **Ansätze aus unterschiedlichen Systemen** verbinden möchten, um durch das Verbinden Vorteile zu erzielen. Dabei können – sehr allgemein gesehen – zwei wichtige Punkte unterschieden werden:

- Oft geht es darum, dass **unterschiedliche Modelle unterschiedliche Themenbereiche** abdecken und dass sich durch Modularisierung und Verbindung der Module eine bessere Struktur für die Lösung ergibt. Ein klassischer Fall sind z.B. *Hochwasserprognosesysteme*, wo wir in einer Modellkette zuerst die meteorologischen, dann die hydrologischen und zuletzt die hydrodynamischen Berechnungen oft mit völlig unabhängigen Modellpaketen abdecken.
- Ein zweiter Punkt ist, dass wir oft **bestehende Systeme koppeln** möchten, weil wir z.B. unterschiedliche Abschnitte eines Gewässers mit unterschiedlichen Modellen (Programmen) implementiert haben.

Ein wichtiger Punkt bei diesen Überlegungen ist, ob Berechnungen – wie z.B. in der Hochwasserprognose – **sequenziell und unabhängig** erfolgen können oder ob es eine **enge und permanente Wechselwirkung** zwischen den Ergebnissen eines Themenbereiches mit dem anderen gibt.

Während im ersten Fall die Übernahmen des Outputs eines Modells als Input für den nächsten reicht, müssen im zweiten Fall die Modelle sich zur Laufzeit – d.h. von Zeitschritt zu Zeitschritt – gegenseitig ihre Ergebnisse zur Verfügung stellen, damit diese direkt in die laufenden Berechnungen integriert werden können.

Abb.1: Sequenz von Modellen versus Kopplung zur Laufzeit (exemplarisch)



Die sequenzielle Verbindung von Modellen kann immer dann erfolgen, wenn die Ergebnisse eines Modells von den nachfolgenden Berechnungen unabhängig sind. In allen anderen Fällen ist eine Kopplung zur Laufzeit nötig. Klar ist, dass es keine scharfe Grenze gibt und dass – im Sinne der Reduktion der Komplexität – sequenzielle Berechnungen als vereinfachender Ansatz auch dann angewendet werden, wenn es zwar Einfluss eine Rückkoppelung durch nachfolgende Berechnungen gibt, wenn die Effekte aber gering sind.

WARUM WIR 1D- UND 2D-BERECHNUNGEN KOPPELN WOLLEN?

Wenngleich die Verwendung von 2D-Simulationen für viele wasserwirtschaftliche Fragestellungen uneingeschränkt als Stand der Technik zu sehen ist, gibt es mehrere Themenbereiche, bei denen die **Kopplung von 1D- und 2D-Simulationen** große Vorteile bringen kann.

Es sind – zusammengefasst – Anwendungen, bei welchen wir große Flusssysteme betrachten und wo die **Rechenzeiten** von besonderer Bedeutung sind:

- *Hochwasserprognose*

In der Hochwasserprognose betrachten wir heute in der Regel ganze Flussregime, wo das **Abflussgeschehen für hunderte** Kilometer betrachtet wird.¹

Dabei ergeben sich neue Anforderungen in Hinblick auf Ensembleprognosen, so dass selbst mit hydronumerischen 1D-Modellen die geforderten Rechenzeiten nur schwer umzusetzen sind.

- *Interaktive Systeme*

Bei interaktiven Systemen, d.h. bei Systemen, bei denen User die Simulationen interaktiv beeinflussen möchten, ist eine hohe Performance wichtig, damit **rasch und direkt** die Auswirkungen unterschiedlicher Maßnahmen und Eingriffe untersucht und erkannt werden können.

In beiden Anwendungsfällen kann durch die Kopplung von 1D und 2D das 2D-Modell überall dort die „**regionale Verfeinerung**“ durchführen, wo das 1D-Modell die interessierenden Verhältnisse nicht ausreichend auflösen kann.

KOPPLUNG VON FLORIS UND HYDRO_AS-2D

Die Kopplung von FLORIS und HYDRO_AS-2D kann überall dort von besonderer Bedeutung sein, wo wir – wie z.B. an der österreichischen Donau - **für beide Modellsysteme bereits etablierte und geprüfte Modelle** haben. So stellen FLORIS-Modelle seit etwa 20 Jahren an der Donau einen Teil des operationellen Hochwasserprognose-Systems dar und HYDRO_AS-2D-Modelle sind flächendeckend für den gesamten österreichischen Donaauraum vorhanden. Beide Modell-Typen werden regelmäßig gewartet und aktualisiert und beide Typen haben unterschiedliche Aufgaben und Anwendungsbereiche.

Für die Kopplung von FLORIS UND HYDRO_AS-2D ist wichtig, dass beide Programm-Systeme **standardmäßig Schnittstellen** haben, die für unterschiedlichste Interaktionen zur Laufzeit ausgelegt sind. Die Kopplung ist damit leicht möglich und erfordert – wie unten beschrieben – keinerlei Eingriffe in die Programme.

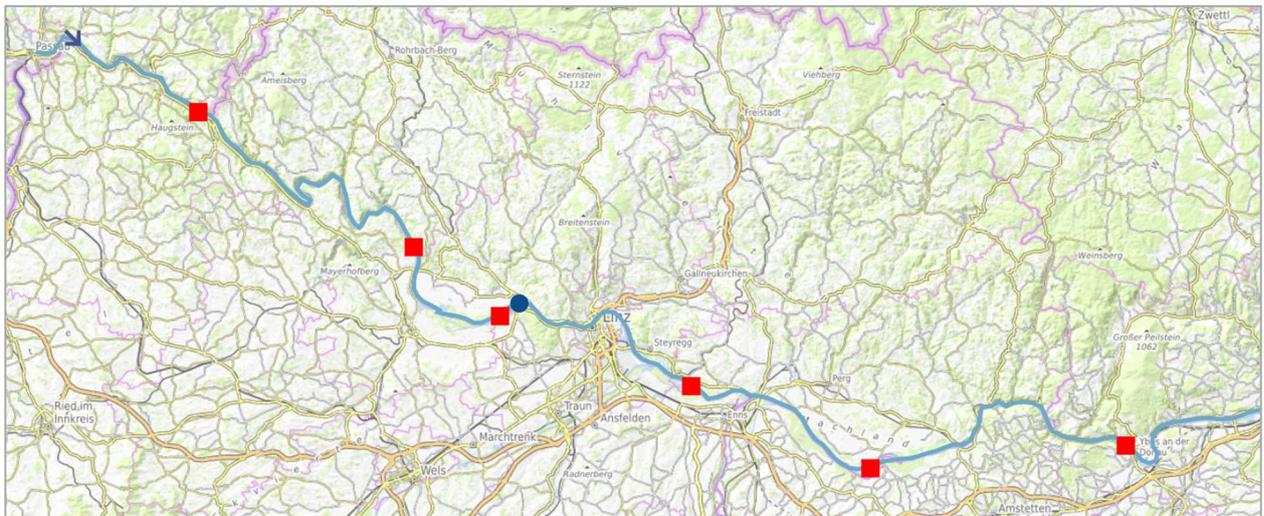
¹¹ Das 1D-Modell für die österreichische Donau umfasst z.B. 350 km plus ca. 150 km für Vorländer, Neue Donau und March. Das Modell des Inns am österreichischen Abschnitt ca. 200 km und am deutschen ca. 220 km. Das Modell für den Main umfasst ca. 380 km.

3. „Projektgebiet“ und Architektur

ÜBERBLICK

Als „Projektgebiet“ für die Demo-Implementierung wurde **der 208 km lange Abschnitt** der österreichischen Donau vom Pegel Achleiten bis zum Pegel Kienstock ausgewählt. Auf diesem Abschnitt der Donau befinden sich sieben **Kraftwerke** und – mit Eferdinger Becken und Linzer Feld/Machland – zwei **große Retentionsräume**, welche jeweils ab etwa HQ₅ von ersten Ausuferungen betroffen sind (vgl. Abb.2).

Abb. 2: Überblick über das Projektgebiet



Im Demo-Projekt liegen sieben der insgesamt 10 österreichischen Donaukraftwerke. Über das in Abb.6 dargestellte User-Interface kann das Verhalten von sechs dieser Kraftwerke gesteuert werden (rote Vierecke). Der blaue Punkt nach dem Kraftwerk Ottensheim-Wilhering (drittes Kraftwerk von links) kennzeichnet den Pegelpunkt, an dem der später beschriebene Austausch zwischen 1D- und 2D-Modell erfolgt.

Abb. 3: KW Wallsee-Mitterkirchen – eines von sieben Kraftwerken im Demo-Projekt



Das Kraftwerk Wallsee-Mitterkirchen liegt inmitten des Machlandes.

Das Machland ist bei Hochwasser ein wichtiger Retentionsraum, wobei die Ausströmung in die Donau über zwei Überströmstrecken erfolgt. Diese sind als überströmbare Dämme mit einer Länge von jeweils ca. 2 km ausgeführt.

Die Ausströmung erfolgt ungesteuert rein aufgrund des sich in der Donau einstellenden Fließgefälles.

Foto: Hans Koberger - Eigenes Werk, CC BY-SA 4.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=106232275>

VERWENDETE MODELLE

Für die Implementierung des Demo-Systems konnten *schon verfügbare Modelle genutzt* werden:

- Für das **1D-Modell**, welches den gesamten Abschnitt abdeckt, wurde als Ausgangsbasis direkt eines der Teilmodelle des Hochwasserprognosesystems für die österreichische Donau, nämlich TM2_mitte verwendet, wobei die Auswahl des Abschnittes ja bewusst auf dieses Teilmodell abgestimmt war.
- Für das **2D-Modell** wurde eines der Abschnittsmodelle verwendet, welches von Hydrotec im Rahmen eines Projektes für *Verbund* und via donau aus bestehenden Modellen abgeleitet wurde. Dieses Modell umfasst den Abschnitt von Wilhering bis zum Beginn des Strudengaus bei Ardagger/Dornach und damit einen Donauabschnitt mit zwei Kraftwerken und einem großen Retentionsraum.

Die Entscheidung, beim 2D-Modell ein abgeleitetes Modell zu verwenden, ergab sich daraus, dass dieses Modell im Vergleich zum Original-Modell wesentlich weniger Elemente umfasst, so dass die Rechenzeiten viel kürzer und das gesamte Handling wesentlich einfacher sind. In Hinblick auf die Methodik und die technischen Möglichkeiten ergeben sich aber keinerlei Unterschiede.

BEREICHE, SCHNITTSTELLEN, DATENFLÜSSE

Für das Demo-Projekt wurden die bestehenden Modelle in Hinblick auf die Geometrie und Topologie genau so verwendet, wie sie vorlagen.

Für die Kopplung und die Einbettung in ein interaktives Simulationssystem wurden daher folgende Festlegungen getroffen (vgl. Abb.4):

- Der gesamte „Projektabschnitt“ wird *durchgängig mit dem 1D-Modell* gerechnet.
- Am oberen Rand des Beginns des **2D-Modells** wird der *Durchfluss aus dem 1D-Modell* über einen „Sensor“ abgenommen und als Input an das 2D-Modell übergeben.
- Die **Kraftwerke** Jochenstein bis Ybbs können *sowohl automatisiert als auch im interaktiven „Handbetrieb“* gefahren werden, wobei beim interaktiven Betrieb die Vorgaben jeweils in gleicher Weise an 1D- und 2D-Modell übergeben werden.
- Im 1D- und 2D-Modell gibt es einige **Pegelpunkte**, an welchen die Daten zur Laufzeit von den Modellen an das interaktive User-Interface übergeben werden.
- Es gibt – auch wenn dies grundsätzlich leicht machbar wäre – *im Moment keine Rückgabe der Ergebnisse* vom 2D-Modell an das 1D-Modell.
- Für die angedachte Funktion als interaktives Simulations- und Trainingssystem ist wichtig, dass beide Modelle die Simulation *mit gleichen bzw. vergleichbaren Ausgangszuständen* beginnen.

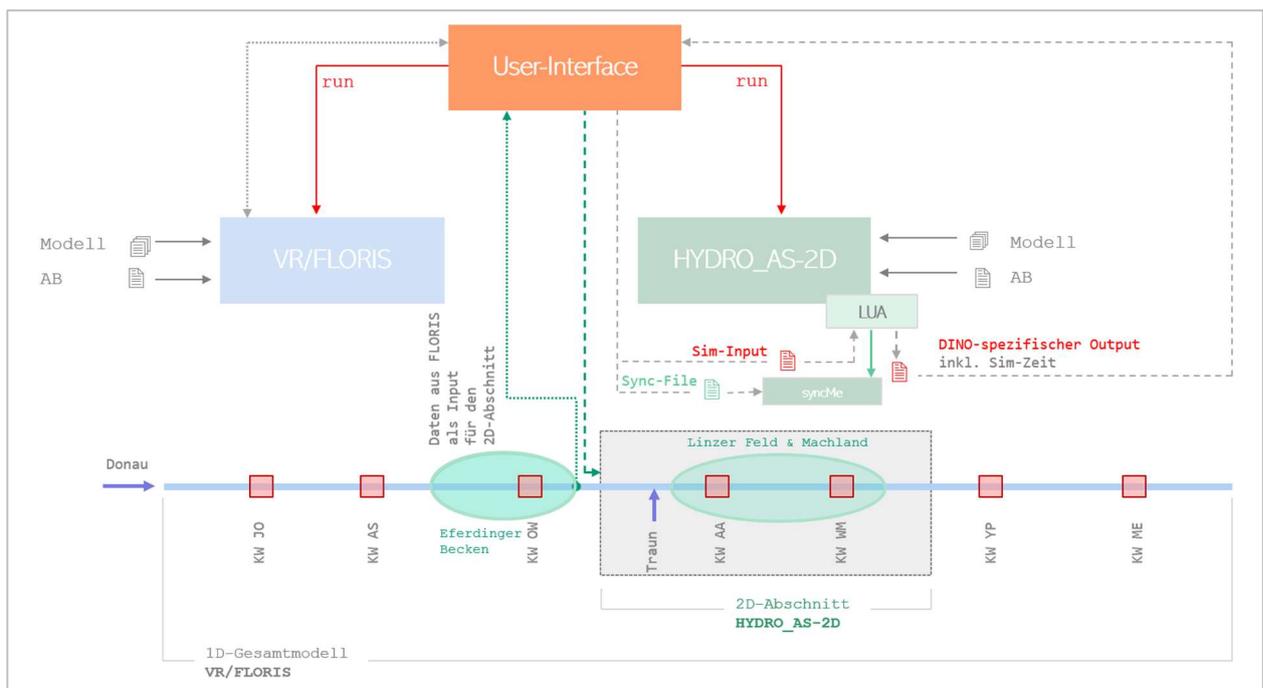
ARCHITEKTUR FÜR DAS DEMO-Projekt

Mit den oben definierten Eckpunkten wurde für das Demo-System die in Abb.4 dargestellte Architektur entworfen.

Diese ist durch folgende Eckpunkte charakterisiert:

- Das **1D- und 2D-Modell werden jeweils rechenfertig** genau so als Basis verwendet, wie sie vorliegen und die Anpassungen in den Modellen sind relativ gering.
- Die **übergeordnete Steuerung** von Abläufen und Datenflüssen erfolgt durch das User-Interface.
- Die **Kommunikation** zwischen User-Interface erfolgt – zumindest im Pilot-System – über Dateien
- Zur **Synchronisation** von **HYDRO_AS-2D** wird das Hilfsprogramm **SyncMe** eingesetzt, welches dafür sorgt, dass die zeitlichen Abläufe zwischen User-Interface, 1D- und 2D-Modell synchron und im gewünschten Tempo bleiben.

Abb.4: Architektur für das Demo-System



4. Anbindung und Einbettung des 2D-Modells

ÜBERBLICK UND ECKPUNKTE

Bei den weiteren Ausführungen möchten wir die Aspekte von HYDRO_AS-2D in den Vordergrund stellen. Zum FLORIS-Modell sei nur festgehalten, dass wir das bestehende Modell in **Virtual River 4.0** eingebettet haben und dass Virtual River für Datenaustausch und Synchronisation spezifische Funktionen enthält.

Für die Kopplung und Einbettung des HYDRO_AS-2D-Modells sind daher folgende Punkte wichtig:

- *Zuflüsse*
Für die Zuflüsse ist wichtig, dass diese **während der Laufzeit** von FLORIS bzw. dem User-Interface **an HYDRO_AS-2D** übergeben werden sollen.
Entsprechend muss statt der Verwendung der vordefinierten Zeitreihe die Übergabe von $Q(t)$ eingerichtet werden.
- *Steuerung der Kraftwerke*
Für die Kraftwerke ist vorgesehen, dass der Durchfluss durch diese **zur Laufzeit aufgrund der User-Interaktion** übergeben wird.
Dabei wurde festgelegt, dass es keine Unterscheidung zwischen individuellen Werten für Turbinen, Wehre und Schleusen gibt, sondern dass ein Gesamtdurchfluss durch das Kraftwerk verwendet wird.
- *Vor-Simulation – Anfangsbedingungen*
Bei der Verwendung von 2D-Modellen wird oft mit trockenen Modellen begonnen, welche in einer ersten Phase der Simulationen gefüllt werden.
Für die angedachte Verwendung des Pilot-Systems wird davon ausgegangen, dass es einen **definierten Anfangszustand** gibt, mit welchem die Anwender*innen die interaktive Simulation beginnen können.
Entsprechend wurde eine automatisierte Vor-Simulation implementiert, bei welcher das zunächst trockene Modell auf einen, den natürlichen Verhältnissen entsprechenden Zustand aufgefüllt wird.
- *Weiterführende Überlegungen*
Während der Fokus zunächst auf den o.a. Punkten liegt, können am Modell weitere Anpassungen durchgeführt werden, die den Anwendungsbereich deutlich erweitern. Exemplarisch wird gezeigt, wie z.B. eine **Veränderung der Schleusentore oder auch Dammbüche** umgesetzt werden könnten.

VORBEREITUNG: ANLEGEN VON NODESTRINGS UND NODESETS

Die Kommunikation über die in HYDRO_AS-2D enthaltene LUA-Schnittstelle erfolgt zum Teil durch das Ansprechen von **Nodes**, **Nodestrings** und **Nodesets**.² Entsprechend muss sichergestellt sein, dass die benötigten Elemente bereits in der HYDRO_AS2D-Modelldatei (**2DM**) definiert sind.

² Der Unterschied zwischen Nodestring und Nodeset ist, dass bei ein Nodestring eine Folge von benachbarten Nodes darstellt, während ein Nodeset eine bezeichnete Sammlung von beliebigen Nodes darstellt.

Die Definition erfolgt typischerweise via SMS, wobei in unserem Demo-Projekt folgende Detailpunkte umgesetzt wurden:

- *Zuflüsse*

Die Zuflüsse von Donau (oberer Modellrand) und Traun (seitlicher Zubringer) sind über Zeitreihen definiert, welche jeweils einem **Nodestring** zugeordnet sind.

Der **Nodestring** selbst umfasst jeweils einen Bereich, der den benetzten Zellen für die Zugabe der Durchflüsse entspricht.

- *Kraftwerke*

Für die Kraftwerke gilt das Ziel, dass der Durchfluss von außen vorgegeben werden kann. Für die Umsetzung wird *im Oberwasser* ein **Nodestring** definiert, der den Bereich der Wehrfelder umfasst.³

Im *Untwasser* wird korrespondierend ein **Nodestring** angesetzt, dessen Durchfluss als „*Zufluss gebunden an Abfluss*“ definiert ist.⁴

- *Pegel*

Für *Wasserstände* werden die Werte direkt an **Nodes** übernommen. Für *Durchflüsse* werden passende **Nodestrings** definiert.

Für die Ansprache über die LUA-Schnittstelle müssen alle Austauschpunkte definiert werden, wobei es – wie bei jeder Modellierung – das Handling vereinfacht, wenn nach einer selbstsprechenden Namenskonvention vorgegangen wird.

- *Koten der Schleusentore*

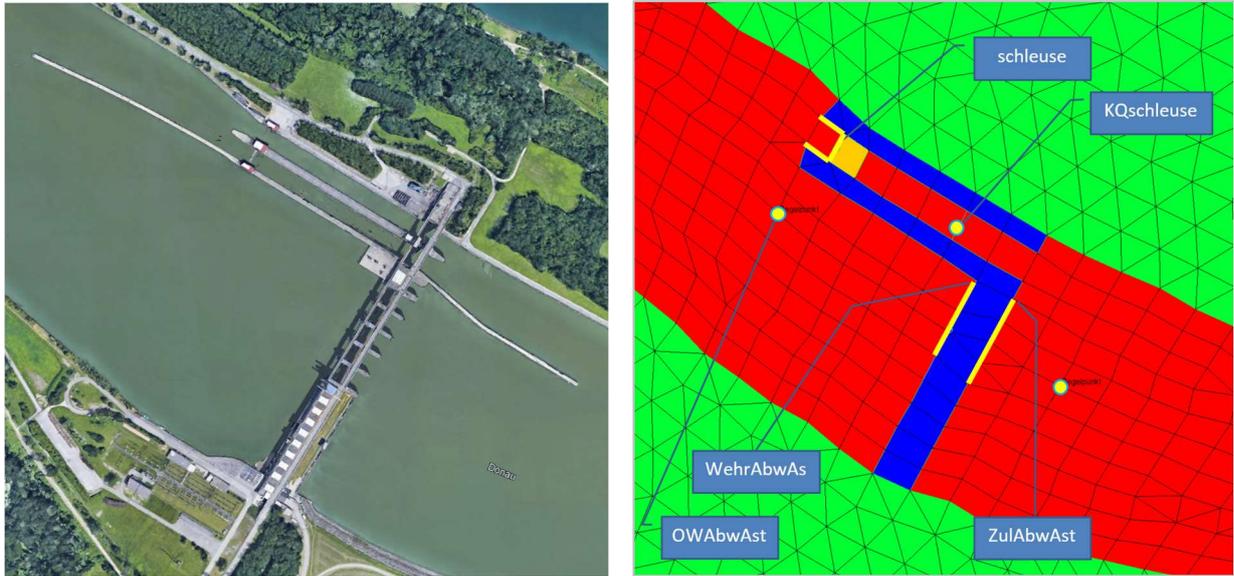
Nachdem im Ausgangsmodell die Schleusen der Kraftwerke detailliert über die Geometrie definiert sind, ist ein **Nodeset** angelegt, über welches die OK der Schleusentore manipuliert werden kann.

Damit können die Schleusentore zu Beginn der Simulation – oder wenn gewünscht auch interaktiv – geschlossen bzw. bewegt werden.

³ Alternativ könnte natürlich die gesamte Breite des Kraftwerkes oder auch der Bereich des Krafthauses mit den Turbinenausläufen verwendet werden.

⁴ Vgl. dazu: Benutzerhandbuch HYDRO_AS-2D (2020): Pkt. 4.5.2

Abb.5: Situation in der Natur und Modell-Elemente zur Steuerung über die LUA-Schnittstelle



AUSTAUSCH VON DATEN ÜBER DIE LUA-SCHNITTSTELLE

Zur Verwendung und den Möglichkeiten der LUA-Schnittstelle sei auf das Handbuch von HYDRO_AS verwiesen, denn die Schnittstelle bietet *umfassende Möglichkeiten*, die weit über das hinausgehen, was wir im konkreten Fall benötigen.

Für unser Demo-Projekt sind folgende Punkte wichtig:

- LUA ist eine *höhere Programmiersprache*, deren Code vor dem Starten von HYDRO_AS-2D in Maschinencode umgewandelt und damit in die Simulation integriert wird.
- Der Code muss in der Datei "**Data-in\control.lua**" bereitgestellt werden.⁵
- Bei der Abarbeitung von LUA-Skripts sind *vier Funktionsbereiche* herauszustreichen:⁶
 - [1] Die Funktion „**step**“ wird bei jedem Berechnungsschritt von HYDRO_AS-2D aufgerufen.
 - [2] „**writeResult**“ wird immer dann ausgeführt, wenn HYDRO_AS-2D Ergebnisse in die Datei q_strg.dat schreibt.
 - [3] „**close**“ wird ausgeführt, bevor HYDRO_AS-2D die Simulation beendet.
 - [4] Eine Funktion „**init**“ ist nicht erforderlich, weil der oberste Block eines Lua-Skripts – bezeichnet als „*Hauptskript*“ – beim Starten von HYDRO_AS-2D automatisch aufgerufen wird. Er kann zum Initialisieren des Skripts oder des Modells verwendet werden.
- Neben diesen besonderen Funktionen können im LUA-Skript beliebige Funktionen definiert werden, die auch aus den o.a. Funktionen **step**, **writeResults** und **close** heraus verwendet werden können.

⁵ Vergleiche dazu Beispiel „c:\Hydro_As\5.2.5\Beispiele\HAScripting\“

⁶ Diese sind als Callback-Funktionen implementiert; siehe HA-Handbuch Pkt. 8.3

Für die Kommunikation im Demo-Projekt ist daher wichtig, dass wir im Haupt-Skript die benötigten Objekte anlegen. Dies geschieht konkret durch folgende Anweisungen:

```
-- Modellelemente, die zur Kommunikation genutzt werden

---- von extern geregelte Zu- und Durchflüsse
local zulauf = hydroas.InflowBC.new("donau")
local zulauf_seite = hydroas.InflowBC.new("traun")
local wehrAbwAst = hydroas.OutflowBC.new("WehrKwAA")
local wehrWaMi = hydroas.OutflowBC.new("WehrKwAA")
assert(zulauf ~= nil)
assert(zulauf_seite ~= nil)

--- Pegel, für die wir Daten ausgeben
local pgWPHandelshafen = hydroas.Node.new("PgStauraumAA")
local pgOWAbwAst = hydroas.Node.new("OWKwAA")
local pgWPau = hydroas.Node.new("PgStauraumWM")
local pgOWWaMi = hydroas.Node.new("OWKwWM")
```

Für den Austausch über Datenfiles werden Funktionen zum Lesen und Schreiben der Daten geschrieben, wobei wir uns auf Datenfiles mit einer sehr einfachen Struktur und folgenden Inhalten beschränken:⁷

<i>Input an HYDRO_AS-2D</i>	<i>Output von HYDRO_AS-2D</i>
Simulations-Modus	Simulations-Zeit
Q.zu.Donau	W.Stauraum-Pegel.AA
Q.zu.Traun	W.OW-Pegel.AA
Q.KW.AA	Q.KW.Modell.AA
Q.KW.WM	W.Stauraum-Pegel.WM
	W.OW-Pegel.WM
	Q.KW.Modell.WM
	isReady

Über die Variable **Simulations-Modus** geben wir HYDRO_AS-2D die Information, ob es sich um die Vor-Simulation oder die „reale“ Simulation handelt. Bei den Variablen bezeichnen „AA“ und „WM“ die Kraftwerke Abwinden-Asten und Wallsee-Mitterkirchen.

Über „**isReady**“ signalisieren wir aus HYDRO_AS-2D, ob wir die Vor-Simulation erfolgreich abgeschlossen haben und für die Simulation bereit sind.

VOR-SIMULATION UND SIMULATION – BEHANDLUNG DER KW-DURCHFLÜSSE

Bei der **Simulation** ist das Ziel, dass wir aus dem User-Interface die Durchflüsse für die Kraftwerke an HYDRO_AS-2D übergeben und dass diese dort direkt umgesetzt werden. Bei der **Vor-Simulation** hingegen geht es uns darum, das Modell möglichst rasch so zu füllen, wie es bei den gegebenen Durchflüssen den natürlichen Verhältnissen entspricht.

⁷ Liste im Vergleich zur realen Implementierung leicht vereinfacht.

Nachdem die Kommunikation über Daten-Files die Performance von HYDRO_AS-2D reduziert, wird die **Befüllung** des Fluss-Systems **direkt und alleinig über das LUA-Skript gesteuert**, wobei ein sehr einfacher Ansatz ausreicht:

- Für jedes Kraftwerk gilt, dass der Durchfluss Null ist, bis der OW-Pegel einen Wert von 1m unter Stauziel erreicht hat.
- In der Folge wird der Durchfluss langsam gesteigert und damit wird der nächste Stauraum befüllt.
- Der Abfluss je Stauraum wird in der Folge nach einem einfachen Proportional-Ansatz mit Störgrößenaufschaltung nach der Formel $Q.AB = Q.ZU + DQ$ mit $DQ = DW * K.PROP$ berechnet.⁸
- Nach dem Füllen des letzten Stauraumes wird die Simulation über eine definierte Zeitspanne fortgeführt, damit sich im Modell stationäre Verhältnisse einstellen können.

Neben der **Unterscheidung** im LUA-Skript sind **zwischen Vor-Simulation und Simulation** auch **beim Aufruf** von HYDRO_AS-2D Unterscheidungen zu machen: Bei der Simulation wollen wir ja an die Ergebnisse der Vor-Simulation anschließen, wobei dazu zwei Punkte wichtig sind:

- Zum einen müssen wir in der Datei „hydro_as-2d.inp“ in **Zeile 11** angeben, dass wir an eine vorhergehende Simulation anschließen möchten.
Wir können dazu mit „2“ angeben, dass wir am Ende anschließen oder über „1 **Zeitpunkt**“ den genauen Zeitpunkt aus der Vor-Simulation angeben.
- Zum anderen müssen wir die Simulation ohne Pre-Prozessor starten, d.h. wir rufen die Simulation direkt auf:
`C:\Hydro_As\5.2.5\CPU\hydro_as-1step.exe" %1 %2 %3 %4 %5 %6 %7 %8`

⁸ Dabei gilt: $Q.ZU = \text{Zufluss zum Stauraum}$, $DW = W.SOLL - W.IST$, $K.PROP$ ist eine Konstante

5. Einbettung in ein interaktives User-Interface

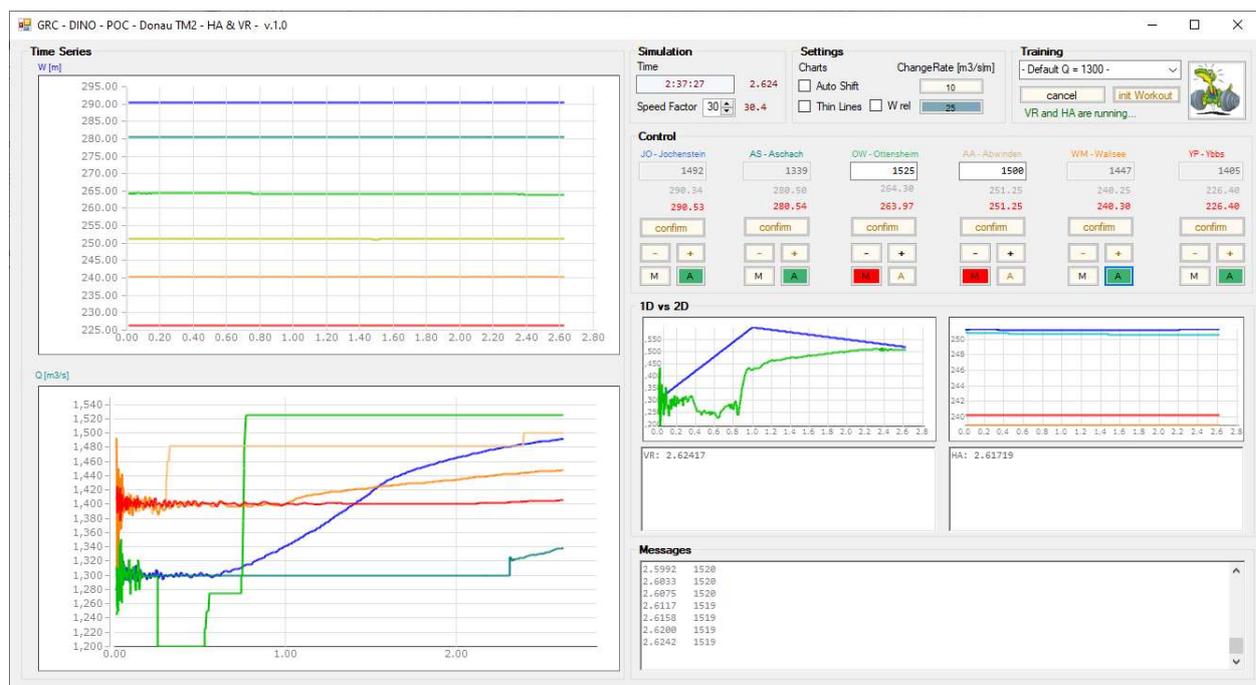
VORBEMERKUNGEN UND ÜBERBLICK

Für das Pilot-Projekt haben wir ein einfaches User-Interface implementiert, welches in Hinblick auf reale Anwendungen einen *ersten Eindruck* gibt und das gleichzeitig für das *Testen und Debuggen* von Abläufen ausgelegt ist.

Das User-Interface wird als **DINO** bezeichnet, wobei DINO für „*Dynamic Implementation for Nifty Opertion*“ steht - ein Konzept, das wir auch in realen Systemen verfolgen um im Sinne von „*Rapid Prototyping*“ rasch und effizient User-Interfaces zu entwickeln.

Der **DINO** für das Pilot-Projekt erlaubt die *Nutzung der Modelle ohne Kenntnisse von den Modellen* und er konzentriert sich ausschließlich auf den Blickwinkel von Anwender*innen, die durch die Nutzung des Systems Verhältnisse analysieren oder für besondere Situationen trainieren möchten.

Abb.6: DINO – Test-UI für das Pilot-System



Das User-Interface des **DINO** umfasst vier Bereiche:

- [1] Im Bereich links werden die *Daten aus den Modellen als Zeitreihen* visualisiert. Die Darstellungen umfassen Wasserstände und Durchflüsse, wobei Wasserstände absolut und relativ – d.h. bezogen auf ein definiertes Stauziel am OW-Pegel – dargestellt werden können.
- [2] Der oberste rechte Bereich dient dem *Starten und Steuern der Simulation* und des User-Interfaces. Durch die Buttons [**initWorkout**] kann die Vor-Simulation gestartet werden. Ist diese erfolgreich kann durch Klicken auf den **DINO** die eigentliche Simulation gestartet werden.

[3] Im Bereich darunter können die *sechs Kraftwerke* gesteuert werden.

Wenn diese auf „[A] - **Automatik**“ sind, wird die Abgabe am Kraftwerk mit einem Proportional-Ansatz geregelt.

Wenn „[M] - **Manuell**“ gewählt ist, können die Durchflüsse mit [-] und [+] verändert oder auch explizit über ein Text-Feld eingegeben werden.

[4] Im untersten Bereich auf der rechten Seite sind *Grafiken und Log-Meldungen* zum Überwachen der Modellergebnisse angesiedelt.

Diese sind primär für die Entwicklungsphase relevant und werden in realen Anwendungen in der Regel durch andere Elemente – z.B. schematische Darstellungen der geregelten Objekte – ersetzt.

Abb.7: DINO für das Pilot-System – interaktive Steuerung der Durchflüsse an Kraftwerken



ABLÄUFE

Die Verwendung der Modelle konzentriert sich aus Sicht der Anwender*innen auf *drei Schritte*, nämlich:

- (1) *Auswahl* eines Zufluss-Szenariums
- (2) Initialisieren von User-Interface und Modellen – *Vor-Simulation*
- (3) *Simulation und Interaktion*

Beim *Initialisieren* werden als Input für **FLORIS** und **HYDRO_AS-2D** jeweils die Startwerte der Durchflussganglinien übergeben und beide Modelle führen die unter Pkt. 4 beschriebene Vor-Simulation durch. Wenn diese von beiden Modellen abgeschlossen ist, geht auch das User-Interface in den „**Bereit**“-Modus.

Die *Simulation* und die dann mögliche Interaktion werden durch Klick auf den DINO gestartet und beide Modelle führen dann die Simulationen durch, bei denen sie an die Ergebnisse der davor durchgeführten Vor-Simulationen anschließen.

SYNCHRONISATION UND ZEITSTEUERUNG

Eine Besonderheit bei den weiteren Abläufen ist die Tatsache, dass **die Modellläufe grundsätzlich synchronisiert** werden müssen, weil **HYDRO_AS-2D** ja ein Zwischenergebnis von **FLORIS** übernimmt, um damit die Berechnungen des 2D-Abschnittes durchzuführen.

Darüber hinaus müssen die Programme in ihrem zeitlichen Verhalten auch so gesteuert werden, dass sie **mit einer genau vorgegebenen Geschwindigkeit** laufen. Denn in Trainings-Systemen wird sehr häufig in Echtzeit gearbeitet, das heißt die Simulation ist genau so schnell – bzw. langsam – wie der Fluss in Realität. Und auch wenn im Zeitraffer gearbeitet wird, will man häufig mit einem genau definierten Zeitverhalten – z.B. 15 mal schneller als Real-Zeit – arbeiten.

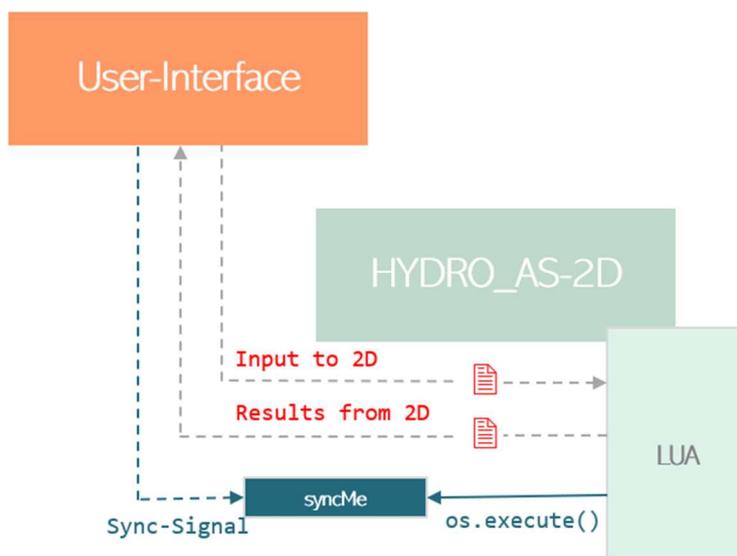
Für die Steuerung von **HYDRO_AS-2D** wird das Hilfsprogramm **syncMe** verwendet, welches im LUA-Skript jeweils am Ende der Berechnungen über folgenden Befehl aufgerufen wird:

```
os.execute("c:\\myBinaries\\sync\\syncMe.exe")
```

syncMe wartet seinerseits auf ein **Sync-Signal**, das vom User-Interface ausgegeben wird, wobei das User-Interface aus den Outputdaten von **HYDRO_AS-2D** ableitet, wie weit dieses schon gerechnet hat. Damit kann sehr einfach festgelegt werden, wann **HYDRO_AS-2D** weitere Schritte durchführen soll.

Nach der Übertragung des Sync-Signals an **syncMe** schließt sich dieses, wodurch das LUA-Skript abgeschlossen ist und **HYDRO_AS-2D** die nächste Zeitspanne berechnet. Die Inputdaten dafür – d.h. die Zuflüsse von Donau und Traun sowie die Soll-Werte für die Durchflüsse an den Kraftwerken – werden vom User-Interface unmittelbar vor dem Ausgeben des Sync-Signals in das unter Pkt. 4 beschriebene Input-File geschrieben.

Abb.7: Synchronisation zur Steuerung der Simulationsgeschwindigkeit



Die Synchronisation von **HYDRO_AS-2D** erfolgt durch den Aufruf des Hilfsprogrammes **syncMe**, welches so lange aktiv bleibt, bis es ein Sync-Signal vom User-Interface erhält.

Dadurch wird die Simulation in **HYDRO_AS-2D** so lange angehalten, bis wieder Berechnungsschritte von **HYDRO_AS-2D** benötigt werden.

Die Synchronisation ist einerseits nötig, damit das Wechselspiel zwischen 1D- und 2D-Berechnung synchron bleibt. Andererseits ist sie bei Trainingssystemen nötig, damit die Simulation mit genau dem Tempo läuft, die für das Training gewünscht ist.

VISUALISIERUNG VON FLÄCHENBEZOGENEN INFORMATIONEN

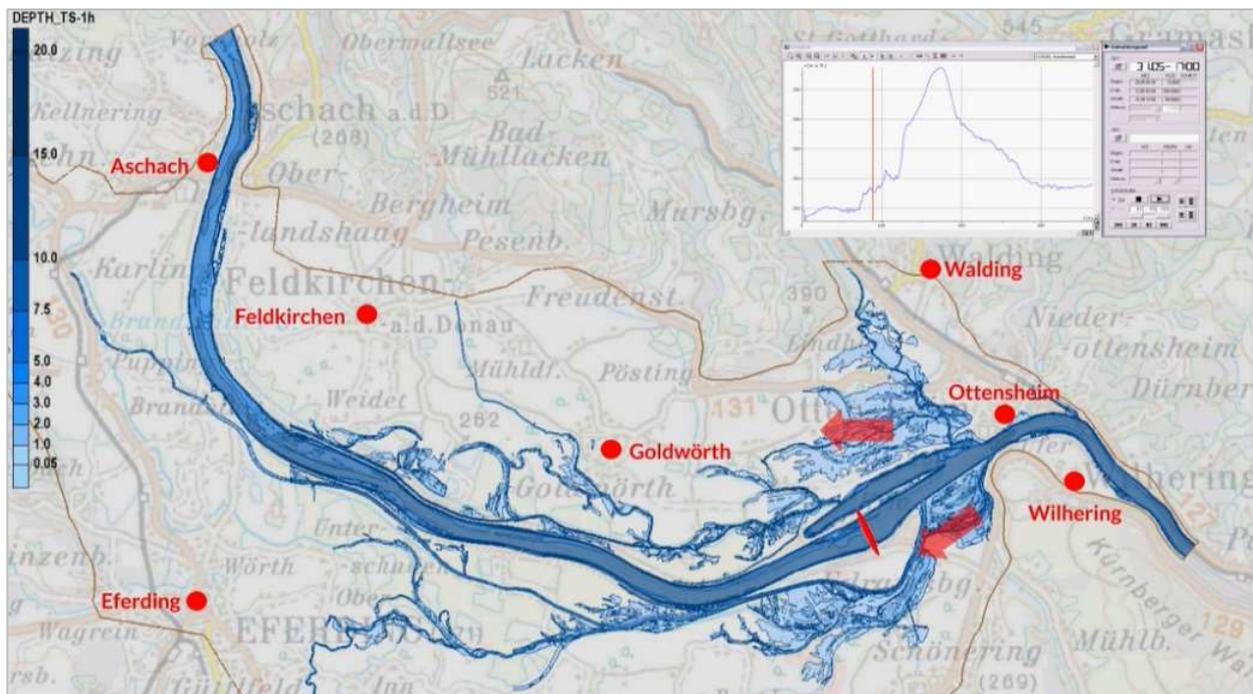
Bei der Verwendung von 2D-Modellen stellt die Möglichkeit, dass die Vorgänge *auch räumlich visualisiert* werden können, einen **zentralen Mehrwert** dar. Dies gilt grundsätzlich, aber insbesondere auch bei der Verwendung von interaktiven Systemen.

So ist z.B. besonders wertvoll zu sehen, wie sich bestimmte Aktivitäten auf das Fließgeschehen auswirken – oder eben auch nicht auswirken. Und dabei ist hilfreich, wenn diese Auswirkungen genau gleich *in Echtzeit* visualisiert werden, wie die Eingaben erfolgen und die Durchflussganglinien dargestellt werden.

Für die Visualisierung der Ergebnisse aus **HYDRO_AS-2D** können auch während der Laufzeit die Daten aus den Files **depth.h5**, **wsp1.h5** und **veloc.h5** extrahiert werden. Die Visualisierung selbst kann mit einem geeigneten GIS-Tool erfolgen, wobei dieses direkt in das User-Interface integriert oder als separate Lösung verwendet werden kann (z.B. Visualisierung mit QGIS).

Eine zusätzliche Möglichkeit, die Daten zu visualisieren, bietet **MapView™** wobei dieses den Vorteil hat, dass die Visualisierung sofort auch für andere Anwender*innen freigegeben werden kann.

Abb.8: Unmittelbare Visualisieren von flächenbezogenen Informationen



Original-Video: Hochwasser 2013 - Analyse und Modellierung der Überflutungen im Eferdinger Becken⁹

Die unmittelbare Visualisierung von Berechnungsergebnissen hat den Vorteil, dass der Zusammenhang zwischen Aktion und Reaktion direkt erkannt wird. Darüber hinaus werden insbesondere die zeitlichen Zusammenhänge z.B. zwischen Steuerungseingriff und Auswirkung besser erfahrbar als in einer nachgeschalteten Visualisierung. So könnte z.B. direkt erkannt werden, dass – bezogen auf die oben dargestellte Situation beim Hochwasser 2013 - Eingriffe am Kraftwerk de facto keinen Effekt haben und dass die Überflutungen in diesem Becken durch den Rückstau der im Osten liegenden Engstelle bestimmt werden.

⁹ <https://www.land-oberoesterreich.gv.at/169138.htm>

6. Resümee

Die Kopplung von Modellen kann den Anwendungsbereich von Programmen bzw. den aus Modellen erzielbaren Nutzen wesentlich erhöhen. Durch die LUA-Schnittstelle, die in HYDRO_AS-2D seit der Version 5.0 standardmäßig verfügbar ist, können bestehende 2D-Modelle leicht und effizient mit anderen Modell-Systemen verbunden integriert werden.

Die Einbettung von 2D-Modellen in interaktive Simulationssysteme liefert wertvolle, intuitive Möglichkeiten, um die Zusammenhänge in Flusssystemen für Lehre, Ausbildung und Training zu vermitteln. Dabei können durch die Verbindung mit 1D-Modellen auch für überregionale Analysen Systeme implementiert werden, die sich durch eine hohe Performance, gut handelbare Daten und kurze Entwicklungszeiten auszeichnen.

Von besonderem Vorteil ist dabei natürlich, dass bestehende Modelle fast ohne Anpassungen integriert werden können, so dass sich für bestehende Modelle zusätzliche und neue Anwendungsbereiche ergeben, welche den Benefit wesentlich erhöhen.