Simulations- und Trainingssystem für Wasserkraftwerke am unteren Neckar

Der große Nutzen von Simulationssystemen

Was du mir sagst, das vergesse ich.
Was du mir zeigst, daran erinnere ich mich.
Was du mich tun lässt, das verstehe ich.
Konfuzius

1. Wissen sichern – Wissen weitergeben

Ausgangssituation und Motivation

Als Betreiber von annähernd 40 Wasserkraftwerken am Neckar und seinen Zubringern steht die EnBW AG – gleich wie praktisch alle anderen Energieerzeuger – in den kommenden Jahren vor mehreren spezifischen Herausforderungen:

- Bedingt durch die *Altersstruktur der Belegschaft* wird es in den nächsten Jahren zu einem signifikanten Wechsel bei jenen Mitarbeiter*innen kommen, die in der Warte für die Bedienung der Kraftwerke und damit für die Steuerung der Anlagen – Stichwort „Wasser fahren" – zuständig sind.
- Durch die *engen Rahmenbedingungen am Energiemarkt* ergeben sich neue Anforderungen beim Nutzen des Wasserdargebotes und daraus resultierend spezifische Fragen zu den hydrodynamischen Vorgängen im Gewässersystem.
- Durch *neue Fragestellungen* im Zusammenhang mit möglichen Störfällen (z.B. Netzstörungen) oder spontan nötigen Anpassungen an der Energieerzeugung (Stichwort „EEG") ergibt sich der Bedarf nach hydrodynamischen Analysen und gezielter Ausbildung.

Um sich auf diese Herausforderungen spezifisch vorzubereiten, beauftragte EnBW AG die Entwicklung eines Pilotsystems für ein *Simulations- und Trainingssystem für Wasserkraftwerke am unteren Neckar*.

Simulation und Training – Ansätze von „serious gaming"

Das Simulationssystem wurde für den etwa 55 km langen Abschnitt des Neckars von Guttenbach bis Schwabenheim erstellt. Auf diesem Abschnitt liegen sieben Kraftwerke und sechs Schleusenanlagen. Bei der Entwicklung stand im Vordergrund, dass sich Anwender*innen in einem intuitiv zu nutzenden System mit den hydraulischen Zusammenhängen am Fluss vertraut machen können:

- ### *Anlehnung an das reale SCADA-System*

  Das User-Interface wurde in Hinblick auf Inhalte, Abläufe und Farbgebung gezielt an das reale SCADA-System angelehnt. Gleichzeitig wurden Gestaltung und Bedienung aber bewusst vereinfacht, um den Fokus auf Hydraulik und „Wasserfahren" zu legen.

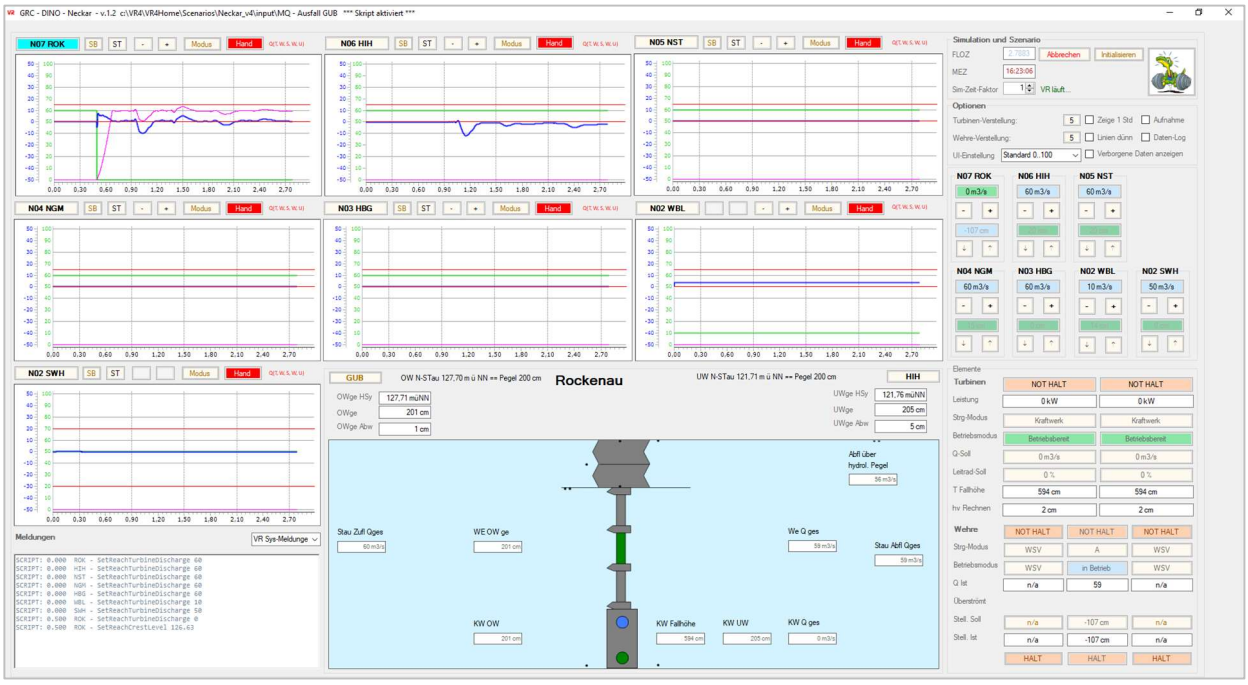
- ### *Analyse versus Training*

  Bei der ***Analyse*** stehen die Antworten zu spezifischen Fragestellungen im Vordergrund:
  Z.B. wie wirken sich Schleusungen auf Wasserstände und Wasserspiegel aus oder wie rasch kann der Ausfall einer Turbine durch die Umlagerung der Durchflüsse auf die Wehre kompensiert werden.
  Beim ***Training*** geht es darum, Abläufe zu lernen, zu üben und so weit zu verinnerlichen, dass sie vom Personal unter allen (!) Verhältnissen automatisiert durchgeführt werden.
  Während bei der Analyse eine Simulation möglichst schnell ablaufen soll, um zeitnah die Antwort zu einer Frage zu geben, ist es beim Training wichtig, dass die Abläufe auch in der Simulation genau so schnell – oder langsam – stattfinden, wie in der Realität.

- ### *„SERIOUS GAMING"*

  Die zentrale Idee von „***serious gaming***" ist die Erkenntnis, dass Menschen leichter und nachhaltiger durch das ***Anwenden*** von Wissen lernen. Entsprechend wird das Konzept des „serious learnings" umfassend in der zivilen und militärischen Ausbildung in unterschiedlichsten Trainingssimulatoren verwendet.[1] Ein zentraler Aspekt ist dabei, dass sehr viele Fähigkeiten durch unbewusste Abläufe und Eindrücke aufgebaut werden.
  Im Gegensatz dazu sehen wir die „***Analyse***", wo der Fokus auf das systematische Ordnen von Details und Abläufen liegt – sowohl bei der Formulierung der Fragestellung als auch bei der Interpretation von Ergebnissen und Erkenntnissen.

Abb. 1.1 User-Interface des Trainings- und Simulationssystems



[1] *Dabei wird natürlich nicht in allen Anwendungen der Begriff „serious gaming" verwendet und in einigen Bereichen/Branchen ist der Begriff auch nahezu verpönt.*

2. Konzeption und Umsetzung des Systems

Hydrodynamische Simulation als numerische Basis

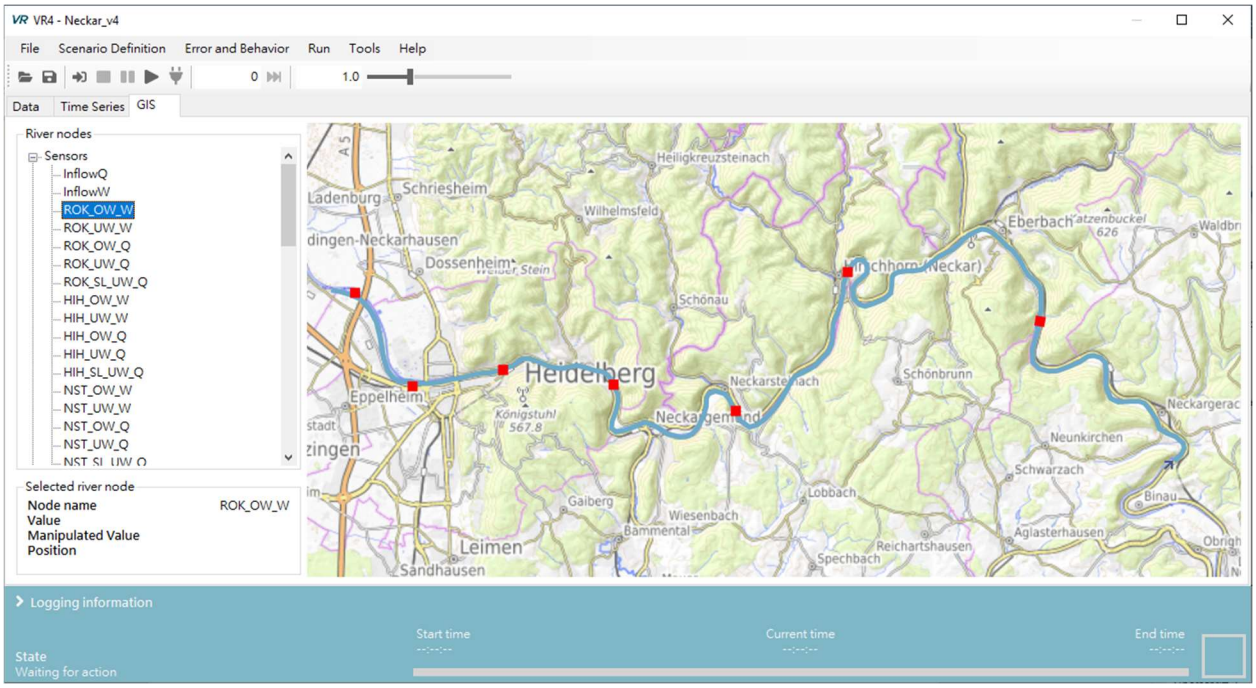
Die numerische Basis des Simulationssystems bildet ein instationäres 1D-Modell, das den Abschnitt des Neckars vom Unterwasser des KW Guttenbach bis zum Unterwasser des KW Schwabenheim abbildet (vgl. Abb.2.1).

Das Modell verwendet Stromgrundaufnahmen mit einem Abstand von max. 100 m und rechnet in der Regel mit einer zeitlichen Auflösung von 3 Sekunden. Entsprechend werden auch hoch instationäre Vorgänge, wie z.B. Schwall und Sunk, beim raschen Ändern von Durchflüssen noch gut abgebildet (z.B. beim Notstopp von Turbinen).

Die detaillierte Abbildung der Vorgänge im Bereich der Kraftwerksanlagen erfolgt in spezifisch implementierten Modulen. Diese berücksichtigen z.B. das genaue Verhalten der Wehrelemente beim Öffnen und Schließen sowie den zeitlichen Verlauf des Durchflusses beim Füllen und Entleeren von Schleusen.

Die hydrodynamische Modellierung ist in VIRTUAL RIVER 4.0 eingebettet (Abb.2.1). VIRTUAL RIVER ist ein Simulationssystem, welches als Kern ein numerisches Modell verwendet, in welchem die hydraulischen Vorgänge im Fluss mit einer hohen zeitlichen Auflösung berechnet werden. Als Modelle stehen derzeit FLORIS, MIKE1D und HYDRO_AS-2D zur Verfügung. Die Kommunikation zwischen Modell und angeschlossenen User-Interfaces erfolgt über standardisierte Schnittstellen, so dass Modelle und User-Interfaces vollständig unabhängig arbeiten.

Abb. 2.1 Hydrodynamische Modellierung – eingebettet in VIRTUAL RIVER 4.0



Umsetzung als „integriertes Simulations-System" – Fokus auf das, was uns interessiert

Die gesamte Bedienung des Simulationssystems erfolgt über ein User-Interface und die Anwender*innen können sich damit auf die sie interessierenden Punkte konzentrieren. Es ist keinerlei Wissen über Modelle und Berechnungen im Hintergrund erforderlich und alle zusätzlich benötigten Programme werden automatisch im Hintergrund gestartet und beendet.

Wenngleich das System ein Pilot-System ist, finden sich darin viele ausgereifte Details, die für die praktische Anwendung von besonderer Bedeutung sind:

- ### *Vorbereitete Zuflussdaten – spontan änderbar*

  Für die Simulation sind mehrere ***charakteristische Zufluss-Szenarien*** vorbereitet, welche den Bereich von Niederwasser bis Hochwasser abdecken.

  Diese können aber vor der Simulation interaktiv adaptiert werden, um rasch und einfach ein beliebiges Szenarium zu erstellen.

- ### *Startwerte für den Oberwasserpegel und Durchflüsse*

  Bei vielen Fragestellungen ist von Interesse, wie sich das Fahren mit unterschiedlichen OW-Pegeln auf die Abläufe und die Wasserstände auswirkt.

  Entsprechend können die Werte, mit welchen eine konkrete Simulation begonnen werden soll, unmittelbar vorgegeben werden. Die ***numerischen Anfangsbedingungen*** werden dazu automatisch im Hintergrund in der sog. „Vorsimulation" berechnet.

- ### *Aufzeichnen und Abspielen von Interaktion*

  Alle User-Interaktionen, wie das Verändern der Durchflüsse durch Turbinen oder der Einstellung von Wehren, können während der Simulation ***aufgezeichnet oder von früheren Aufzeichnungen abgespielt*** werden.

  Damit können einerseits spezifische Szenarien vorbereitet werden, bei welchen bestimmte Abläufe und Ereignisse als Rahmen für das spätere Training gespeichert werden (z.B. ein Notstopp einer Turbine). Andererseits können alle Aktivitäten der Anwender*innen nach der Simulation analysiert werden, um damit über entsprechendes Feedback das Knowhow zu vertiefen.

- ### *„Verborgene Information" sichtbar machen*

  Ein zentraler Aspekt, den wir bei der Steuerung praktisch aller Kraftwerke berücksichtigen müssen, ist die Tatsache, dass wir mit ***unvollständigen und fehlerbehafteten Daten*** arbeiten müssen. Dies ergibt sich, wenn wir z.B. Durchflüsse aus Wasserständen oder der Leistung berechnen oder wenn wir zu einigen Vorgängen – z.B. Schleusungen oder seitlichen Zuflüssen – schlichtweg keine Information haben.

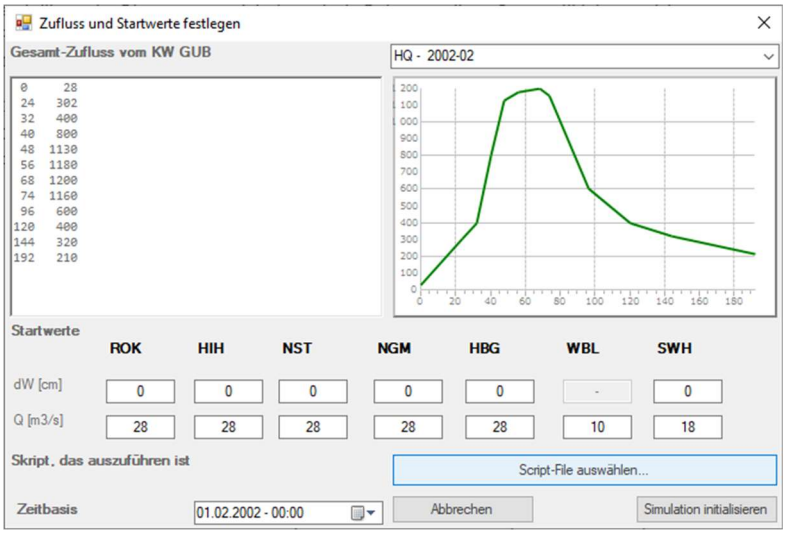
  Mit der Option „*Verborgene Daten anzeigen*" können wir derartige Informationen und Zusammenhänge darstellen und damit zwei Ziele erreichen: Zum einen geben wir den Anwender*innen einen Eindruck über die Größenordnung dieser Werte. Zum anderen bringen wir bewusst die Aufmerksamkeit auch auf diese Werte und Zusammenhänge.

- ### *Schnellverstellung ⇔ Bedienung einzelner Elemente*

  Mit der ***Schnellverstellung*** können Turbinendurchflüsse oder Wehrstellungen auf Ebene des Kraftwerksstandortes bedient werden und die entsprechenden Vorgaben werden Programm-intern auf die unterschiedlichen wasserführenden Elemente aufgeteilt. Dies ist hilfreich, wenn z.B. das hydrodynamische Verhalten des Flusses betrachtet wird, ohne dass die Beaufschlagung der einzelnen Elemente von Bedeutung ist.

  Demgegenüber können auch einzelnen Turbinen und Wehre bedient werden, wobei die Optionen für die Bedienung an die Möglichkeiten im realen SCADA-System angelehnt sind (z.B. Durchflussmenge oder Leitapparat-Öffnung bei Turbinen).

Abb. 2.2 Szenarium und Startwerte für eine Simulation auswählen

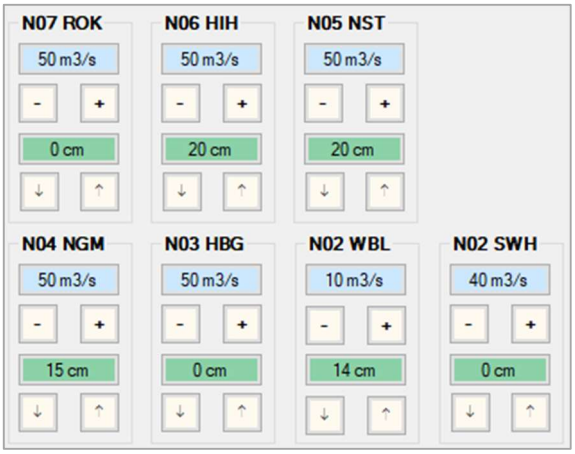


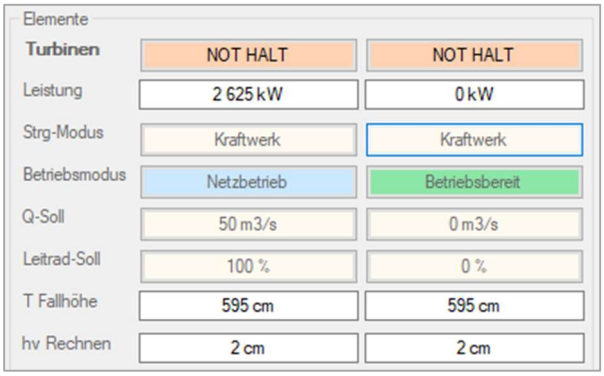
Für alle Startwerte werden Vorschläge aus Default-Werten gegeben. Diese sind z.B. beim OW-Pegel der untere Wert des Toleranzbereiches oder beim Durchfluss der Startwert aus der verwendeten Zuflussganglinie.

Die User-Eingaben für spezifische Festlegungen – z.B. den Startwert für den OW-Pegel – sind in einem vordefinierten Bereich möglich, der an die realen Toleranzbereiche angelehnt ist.

Die Simulation mit VIRTUAL RIVER wird gestartet, ohne dass spezifisches Wissen zu VIRTUAL RIVER oder zu den hydrodynamischen Berechnungen nötig wäre.

Abb. 2.3 Schnellverstellung und individuelle Bedienung von Elementen





Die Schnellverstellung erlaubt eine rasche, direkte Änderung des Gesamtdurchflusses an einem Kraftwerks-Querschnitt.
Die über [-] und [+] veränderten Durchflüsse werden – analog zu einem Kraftwerksregler – von einem internen Algorithmus auf die verfügbaren Turbinen aufgeteilt.

Die individuelle Bedienung von Elementen erlaubt Vorgaben für einzelne Turbinen und Wehrfelder.
Die Eingabemöglichkeiten sind an das reale SCADA-System angelehnt, wobei die Abläufe bei der Bedienung bewusst vereinfacht wurden.

Vereinfachtes User-Interface ⇔ Anbindung an das reale SCADA-System

Das gesamte Simulationssystem – und damit auch sein User-Interface – wurde für die Verwendung auf einem handelsüblichen Rechner ausgelegt.

Dies bedeutet, dass das User-Interface im Vergleich zum realen SCADA-System wesentlich vereinfacht wurde und dass im User-Interface Visualisierungen aus mehreren Schaubildern in einer Ansicht zusammengefasst sind. Der große Vorteil ist, dass das System damit auf

beliebigen Rechnern, an welche auch keine spezifisch hohen Anforderungen gestellt werden, verwendet werden kann.

Wenn demgegenüber der Aspekt „Training" stärker in den Vordergrund gestellt werden soll, kann das System so adaptiert werden, dass als User-Interface direkt eine Kopie des realen SCADA-Systems verwendet wird.

Darüber hinaus ist es möglich, für spezifische Fragestellungen sogar Hardware als Ein- und Ausgabe-Systeme zu verwenden. Denkbar wäre z.B. die Einbindung von Vor-Ort-Not-Steuerungen, wie wir sie auch in der Realität noch bei vielen alten Anlagen finden können.

Abb. 2.4 VIRTUAL RIVER 4.0 – Training nur mit Not-Steuerung

Während beim Simulationssystem für den Neckar derzeit alle Eingaben über das integrierte User-Interface erfolgen, ist als spezifische Erweiterung auch die direkte Einbindung von Hardware, wie wir sie z.B. bei Vor-Ort-Not-Steuerungen finden, denkbar.

Das im Bild gezeigt Pult wurde für ein Trainingssystem entwickelt, welches bewusst nur mit rudimentären Ein- und Ausgaben arbeitet.

Für die Kommunikation mit VIRTUAL RIVER ist das Pult mit AD/DA-Wandlern ausgestattet, welche eine direkte Kommunikation via USB erlauben.

3. Ausblick und Optionen

Simulationssysteme als Werkzeuge zur Wissensweitergabe

Die hydrodynamische Modellierung kann im Bereich des Wissensmanagements eine wichtige Aufgabe übernehmen: Bei der Arbeit mit Trainings- und Simulationssystemen können Anwender*innen einfach einen Einblick in Zusammenhänge und Abläufe gewinnen, der im Realen nicht, oder nur mit entsprechend langer Betriebszugehörigkeit erreicht werden kann.

Die Systeme sind damit besonders geeignet, Wissen rascher und nachhaltiger zu vermitteln, wobei auch auf Fragen eingegangen werden kann, die sich erst durch die neue, hohe Dynamik am Strommarkt ergeben.

Weiterentwicklung zum Assistenz-System

Durch die direkte Koppelung mit SCADA-Systemen bzw. durch die Einbettung in diese können die Modelle und Ansätze, die in Simulationssystemen implementiert sind, eine zusätzliche Aufgabe übernehmen.

Sie können das Betriebspersonal durch Vorschläge und Auswertungen unterstützen und damit die Sicherheit und Effizienz im täglichen Leben, insbesondere aber auch in Ausnahmesituationen, ganz wesentlich erhöhen.