

EIN FLUGSIMULATOR FÜR DIE ARA

EIN DIGITALER ZWILLING UNTERSTÜTZT DIE DYNAMISCHE SBR-ANLAGE DER ARA OBERENGADIN

Zur Unterstützung von Inbetriebnahme und Betrieb der SBR (Sequencing-Batch-Reactor)-Anlage auf der ARA Oberengadin wurde ein Simulator erstellt. Vergleichbar mit einem Flugsimulator kann der digitale Zwilling für Schulung, Betriebsoptimierung und virtuelle Inbetriebnahme genutzt werden. Er besteht aus der Kopplung eines Verfahrensmodells mit einer Kopie der Steuerung der echten SBR-Anlage und wird wie die reale ARA über das Leitsystem bedient. Die Motivation, Anwendung, Möglichkeiten und Herausforderungen werden diskutiert.

Thomas Hug*, Hunziker Betatech AG

Reto Steinemann, Chestonag Automation AG

RÉSUMÉ

SIMULATEUR POUR LA STEP DE HAUTE-ENGADINE

Un simulateur a été conçu pour aider à la mise en service et à l'exploitation de l'installation SBR (Sequencing-Batch-Reactor) de la STEP de Haute-Engadine. Comme un simulateur de vol, ce jumeau numérique peut servir à des formations, à l'optimisation de l'exploitation et à la mise en service virtuelle. C'est un allié précieux pour le pilotage dynamique du SBR de cette STEP, qui doit faire face à de fortes variations saisonnières de la charge. Il sera utilisé comme outil de formation et de communication, ainsi que pour des tests d'extensions du pilotage avec des actions qui pourraient avoir des conséquences problématiques. Il existe des objectifs et des méthodes de travail différents pour la simulation de STEP, mais pas d'approche universelle adaptée à tous les cas pratiques. Dans le présent exemple, un modèle de simulation des processus hydrauliques et biochimiques a été associé à une copie du pilotage de l'installation SBR réelle. Le simulateur fonctionne en temps réel et est piloté, comme la STEP réelle, via le système de commande. Sa création nécessite impérativement une collaboration et une communication étroites entre les futurs utilisateurs et les ingénieurs de procédé et d'automatisation. Ce type de simulateur est encore nouveau et inhabituel pour des stations d'épuration. Le simulateur de la STEP de Haute-Engadine fonctionne. Il permet désormais de collecter des expériences d'application.

DYNAMISCHE MATHEMATISCHE SIMULATIONSMODELLE

ETABLIERT IN DER SIEDLUNGSWASSERWIRTSCHAFT, ...

Mit mathematischen Simulationsmodellen können einfach verschiedene Varianten des Anlagenlayouts, der Regeltechnik oder des Betriebs getestet werden. Dies ist äusserst wertvoll für die Dimensionierung und Optimierung von Kläranlagen und Kanalnetzen. Auch für die Ausbildung von Abwässeringenieuren sind solche Modelle unverzichtbar geworden.

Mathematische Modelle werden in vielen anderen Technik- und Gesellschaftsbereichen eingesetzt, z. B.:

- In einem Flugsimulator lernen Piloten das Verhalten des Flugzeuges unter verschiedenen Bedingungen kennen, auf diese Weise können sie auch gefährliche Situationen oder Aktionen üben. Dabei steuern sie den Simulator über die im realen Cockpit vorhandenen Steuerungselemente.
- Computerspiele werden nicht nur zum Spass benutzt, sondern auch für Verhaltensforschung, Ausbildung und Entscheidungsunterstützung in Bereichen wie Wirtschaft, Gesundheit, Umwelt, Militär, Psychologie etc. (sog. *Serious Games*).
- Energieunternehmen nutzen dynamische Modelle, um die Stromproduktion entsprechend dem prognostizierten Ver-

* Kontakt: Thomas.Hug@hunziker-betatech.ch

brauch und Strompreis zu optimieren, z. B. mit Teilmodellen zu Wetter, Hydrologie und Konsumentenverhalten.

- Es gibt vermehrt Ansätze, um die Bewirtschaftung von grösseren Mischkanalisationssystemen mithilfe von dynamischen Modellen zu optimieren oder in Echtzeit zu steuern, mit Teilmodellen zu Wetter und Abflusshydraulik.
- In der industriellen Produkteentwicklung und Automationstechnik werden bereits Konzepte an Simulationsmodellen getestet und entwickelt. Auch programmierte Steuerungsprogramme werden oft zuerst an simulierten Maschinen getestet (virtuelle Inbetriebnahme).

In all diesen Anwendungen berechnet im Hintergrund ein mathematisches, oft dynamisches Modell das Systemverhalten unter Berücksichtigung von Umwelteinflüssen und Steuerungseingriffen. Beim Flugsimulator sind es beispielsweise die Aerodynamik und das Verhalten des Flugzeugs unter den angenommenen Umwelteinflüssen und den ausgeführten Steuerungsbefehlen. Es ist wichtig, dass die Wirklichkeit ausreichend genau abgebildet wird, um die Aufgabe zu erfüllen.

..., ABER NOCH KAUM AUF ARA

Bisher nutzen Betreiber von Abwasserreinigungsanlagen (ARA) Simulationsmodelle kaum. Dies liegt unter anderem daran, dass eine ARA real ganz anders betrieben wird als via Simulationsmodell (s. Kap. «Arbeitsweise»).

Was bisher auf Kläranlagen fehlt, ist ein dynamisches Simulationsmodell der hydraulischen und mikrobiellen Prozesse, das vom Betreiber in gewohnter Weise mit dem Leitsystem (PLS) bedient werden kann. Es fehlt der sogenannte digitale Zwilling (s. Box) – nicht nur für die Prozesse, sondern auch für die Bedienung seiner Anlage, eine Art Flugsimulator für die Kläranlage.

Spezialisierte Simulationsmodelle und -software für die hydraulischen und biologischen Prozesse in Kläranlagen (oder Kanalnetzen) sowie Mess-, Steuer- und Regeltechnik sind bekannt und etabliert. Theoretische Konzepte für eine Anbindung solcher Modelle an die Steuerung realer Anlagen sind schon lange bekannt [1]. Sie wurden bisher kaum umgesetzt, weil die technischen Computerleistungen fehlten. Einfache

Prozesse können direkt auf der Anlagensteuerung (SPS) simuliert werden. Zudem gibt es kommerzielle Lösungen, die in der Automationsindustrie für virtuelle Inbetriebnahmen und Optimierungen verwendet werden (z. B. SIMIT von Siemens). Die nichtlinearen Prozesse der Hydraulik und des biologischen Wachstums können diese jedoch nicht simulieren.

In diesem Fachartikel wird der Simulator für die dynamisch gesteuerte SBR-Anlage der ARA Oberengadin als Fallbeispiel beschrieben, Erfahrungen und Stolpersteine werden diskutiert.

FALLBEISPIEL SIMULATOR ARA OBERENGADIN

MOTIVATION, ZIELE

Die neue ARA Oberengadin ging 2021 in Betrieb [2, 3] (Fig. 1). Die grösste Herausforderung für die Abwasserreinigung liegt in der extremen Variation im Abwasseranfall aufgrund des Tourismus zwischen 20 000 und über 110 000 EW (Fig. 2). Während Kläranlagen im Mittel- und Regenerwetter unterscheiden, verändern sich der Wasserzufluss und die Schmutzstofffracht zur ARA Oberengadin im Jahresverlauf erheblich und zeitweise rasch. Aus diesem Grund wurde das SBR-Verfahren gewählt und eine neuartige dynamische Steuerung, die stufenlos dem Tages- und Jahresgang nachfährt, entwickelt [4]. Das Betriebspersonal musste sich mit dem Neubau der ARA mehreren

DIGITALE ZWILLINGE

Ein digitaler Zwilling ist eine digitale Abbildung eines Objekts aus der realen Welt. Digitale Zwillinge verwenden reale Daten von realen Objekten. Diese Kopplung der virtuellen und realen Welten ermöglicht die Analyse und die Überwachung von Systemen. Digitale Zwillinge sind in der industriellen Produktion, Transportwesen, Steuerungs- und Regelungstechnik, Medizin und in weiteren Bereichen verbreitet. In der Abwasserwelt gibt es unterschiedliche Modelle, die als digitale Zwillinge bezeichnet werden können: 3D-Anlagen-Modelle eines Bauwerks oder einer ganzen Anlage (BIM), Simulationsmodelle der hydraulischen und biochemischen Prozesse, die anhand von echten Daten offline betrieben werden, oder solche, die Live-Prozessdaten verwenden und sich allenfalls sogar selber laufend kalibrieren. Es gibt digitale Zwillinge, die nicht nur Daten vom realen Objekt übernehmen, sondern auch jenes steuern können; das wäre z. B. für Verbundsteuerungen von Kanalnetzen denkbar.

Der in diesem Artikel beschriebene Simulator bildet die hydraulischen und biochemischen Prozesse sowie die Steuerung der SBR-Anlage der ARA Oberengadin ab. Messdaten können vorgefertigt oder live von der realen ARA ins Simulationsmodell fließen.

Herausforderungen stellen: Sie kannten das SBR-Verfahren noch nicht in der Praxis und die dynamische Steuerung

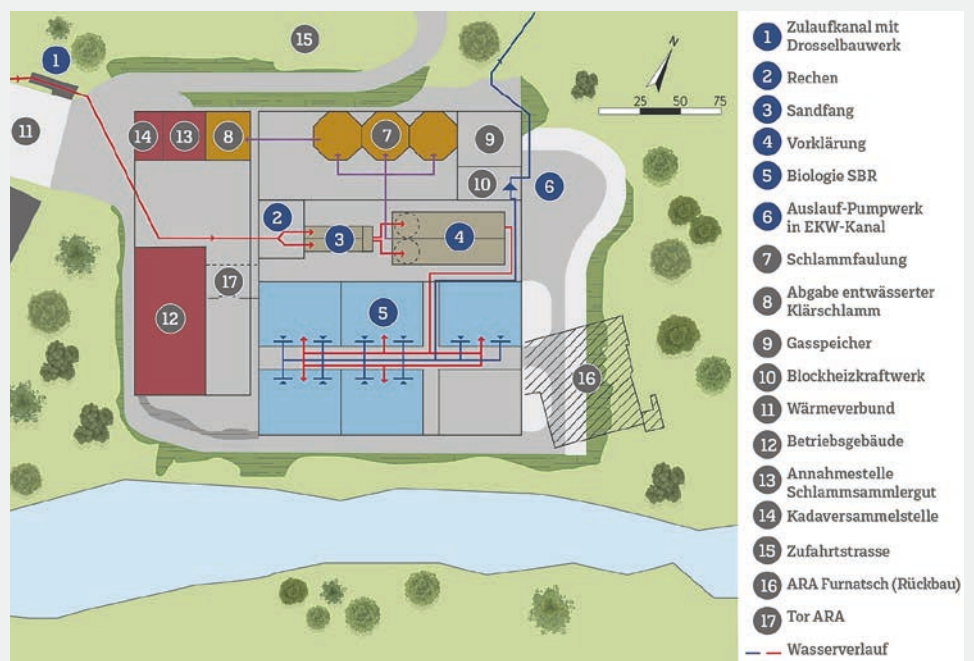


Fig. 1 Verfahrensschema der ARA Oberengadin mit den fünf SBR (Nr. 5).

(Quelle: [3])

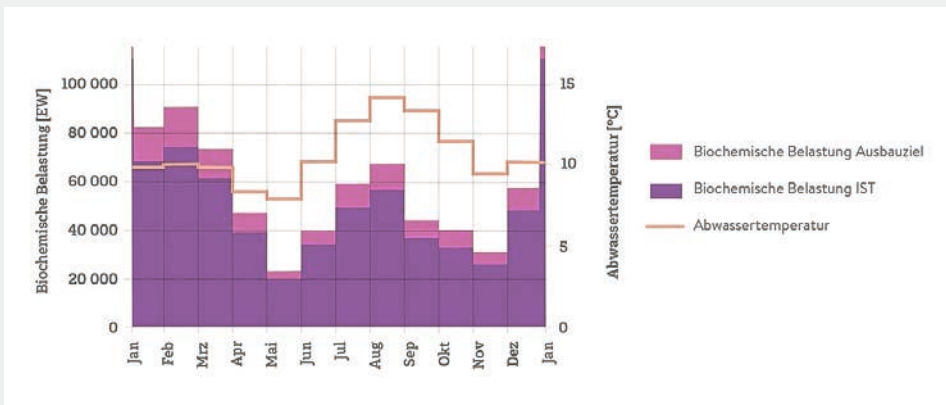


Fig. 2 Saisonale Variation der Schmutzstoffbelastung zur ARA Oberengadin. (Quelle: [3])

hat viele Steuerungsparameter, deren Wirkung kennengelernt werden soll. Für die Automatisierung stellte sich die Frage, wie die dynamischen Elemente der neuartigen Steuerung sinnvoll in Betrieb genommen werden und auch seltene Ereignisse getestet werden können. Aus diesen Gründen interessierte sich der Betriebsleiter für ein Simulationsmodell mit folgenden Zielen:

- Schulung des Betriebspersonals im Umgang mit der SBR-Anlage und deren dynamischen Steuerung
- Testen und Optimierung von ange-dachten Einstellungen und Betriebsweisen
- Fehlersuche, Troubleshooting
- Virtuelle Inbetriebnahme der Steuerung in der Simulation. Erhöhte Betriebssicherheit bereits ab Inbetrieb-

nahme und nicht erst nach ein paar Jahren «Lernbetrieb».

Entwickelt wurde das Modell während dem Bau der Kläranlage.

WORKSHOP MIT ARA-BETRIEBSPERSONAL

In einer frühen Projektphase wurde mit den ARA-Mitarbeitern ein Workshop durchgeführt, um ihre Bedürfnisse ab-zuholen und sie an Bord zu nehmen.

Zuerst mussten die nachfolgenden Fragen geklärt werden: Was ist eine Simulation? Was kann ein ARA-Simulator? In Analogie zum Flugsimulator wurden Fragen diskutiert, die mit einem ARA-Simulator angegangen werden könnten. Auch wurden Grenzen und Möglichkeiten eines mathematischen Modells ausgelotet (Fig. 3 und Tab. 1).

Weiter ging es um die Unterschiede zwischen der Bedienung eines Simulationsmodells im Büro und einer realen ARA. Anschliessend wurden die technisch möglichen Varianten vor-gestellt (s. Kap. «Variantenstudium»). Dies ermöglichte eine anschließende Diskussion auf Augenhöhe zwischen Planer, Automatisierer, Betriebsleiter sowie Mitarbeitern. Befürchtungen und Wünsche wurden aufgenommen, zudem konnte ein breit getragener Beschluss zur technischen Variante gefällt werden.

VARIANTENSTUDIUM

Was der Simulator bewirken soll, war uns klar. Wie aber der effektivste Auf-bau sein soll, war zu diesem Zeitpunkt noch nicht absehbar. Durch Gespräche mit Lieferanten mit ähnlichen Systemen im Portfolio wurde klar, bei welchen Komponenten auf kommerzielle Produkte gesetzt werden konnte und wo Eigenent-wicklung angezeigt war: Kommerzielle Produkte da, wo komplexes Know-how gekapselt benötigt wird, Eigenentwicklung da, wo Flexibilität gefordert ist.

Fig. 3 Mögliche Fragen, die mit einem ARA-Flugsimulator angegangen werden könnten (Folie aus einem Workshop mit dem ARA-Personal).

Was nur eine Simulation kann	Was der Simulator der ARA Oberengadin kann	Was der Simulator nicht kann
<ul style="list-style-type: none"> • Den gleichen Tag mehrmals erleben mit unterschiedlichen Einstellungen. • Erfundene Bedingungen. • Dinge sehen, die in der ARA nicht gemessen werden können. Z. B. Menge Nitrifikanten; NH₄ im Reaktor ohne Messung; Konzentrationen auf unterschiedlichen Tiefen; Messwerte, während die Mess-apparate nicht laufen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Simulation von Hydraulik, biokinetische Reaktionen, Sedimentation. • Simulation von Schieberstellungen, Gebläsestation, diskontinuierliche Schlammspiegelmessung. • Steuerung mit dem echten Steuerungscode der ARA. • Bedienung über PLS, genau gleich wie die reale SBR-Anlage. • Eingriffe während laufender Simulation. • Zuflussdaten (Q, CSB, N, P, Temperatur, Alkalinität) aus Files oder live von Online-Messungen der realen ARA einlesen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Laborarbeit und Online-Messungen ersetzen. • Störungen und Zustände von Pumpen vorhersagen. • Fehlerhafte Messungen selbstständig erkennen und korrigieren. • Jederzeit exakt den in der Anlage herrschenden Zustand abbilden (Zustand SBR-Zyklus und Beleb-schlamm-Zusammensetzung). • Beschleunigte Simulation.

Tab. 1 Was ein Modell bzw. der ARA-Simulator kann, und was nicht.

Damit der Simulator dem ganzen Betriebspersonal zugänglich ist, muss dieser in der für den Betreiber gewohnten Art und Weise über das PLS bedienbar sein. Während der Entwicklung des Simulators trat immer wieder die Frage der Simulationsgeschwindigkeit auf, was auf

die unterschiedlichen Hintergründe und gewohnten Arbeitsweisen der Beteiligten zurückzuführen war (s. Kap. «Arbeitsweise»). Simulationen durch Verfahreningenieure erfolgen in der Regel stark beschleunigt, um viele Wiederholungen mit unterschiedlichen Einstellungen

oder Prozesse über Wochen und Monate simulieren zu können. In der Automationswelt und auf der ARA bewegt sich alles in «Echtzeit»; eine reale Anlage bewegt sich in keinem Fall schneller. Daher sind die Automationssysteme entsprechend ausgelegt. Beide Anforderungen waren

<p>Variante 1</p>	<p>Die komplette Simulation der Anlage (mechanische, hydraulische und biochemische Prozesse) inkl. der Prozesssteuerung finden im Verfahrensmodell statt. Die Prozesssteuerung ist stark vereinfacht. Die Kopplung zwischen der Simulation und dem Prozessleitsystem (PLS) besteht lediglich aus der Übernahme von Zuflussdaten in der Form von csv-Dateien.</p>	<p>Komplexität –Einfach (gewohnter Aufbau für Verfahreningenieur)</p> <p>Vorteile –Simulationen stark beschleunigt.</p> <p>Nachteile –Die Bedienung, Visualisierung und Auswertung erfolgt in der Benutzeroberfläche des Verfahrensmodells und in externen Tools (z. B. Excel). –Prozesssteuerung ist stark vereinfacht abgebildet. –Kein direkter Vergleich mit Steuerung der realen Anlagen möglich. –Prozessparameter können während der Simulation nicht verändert werden.</p>
<p>Variante 2</p>	<p>Die komplette Simulation der Anlage wird in der Prozesssteuerung (SPS) implementiert. Dazu werden die mechanischen und hydraulischen Prozesse stark vereinfacht. Die biochemischen Prozesse lassen sich in der Steuerung nur sehr stark vereinfacht modellieren, z. B. als konstante Prozessrate. Bedienen und Visualisieren des Prozesses sowie Fernsteuern des Verfahrensmodells erfolgen im Prozessleitsystem (PLS).</p>	<p>Komplexität –Einfach (gewohnter Aufbau für Automationsingenieur)</p> <p>Vorteile –Bedienung im Prozessleitsystem (PLS) –Prozessparameter können während der Simulation geändert werden.</p> <p>Nachteile –Simulation nur in Echtzeit möglich. –Biochemische Prozesse sehr stark vereinfacht. –Nur für Kurzfrist-Simulationen anwendbar</p>
<p>Variante 3</p>	<p>Die komplette Simulation der Anlage (mechanische, hydraulische und biochemische Prozesse) inkl. der Prozesssteuerung findet im Verfahrensmodell statt. Die Prozesssteuerung ist stark vereinfacht. Visualisieren des Prozesses sowie Fernsteuern des Verfahrensmodells erfolgen im Prozessleitsystem (PLS), Bedienen der Prozesse in der Software des Verfahrensmodells.</p>	<p>Komplexität –Hoch (Abbildung der Steuerung im Verfahrensmodell, nicht standardisierte Schnittstellen zwischen Verfahrensmodell und Prozessleitsystem)</p> <p>Vorteile –Simulationen stark beschleunigt.</p> <p>Nachteile –Prozesssteuerung ist stark vereinfacht abgebildet –Kein direkter Vergleich mit Steuerung der realen Anlagen möglich. –Prozessparameter können während der Simulation nicht verändert werden. –Komplexität</p>
<p>Variante 4</p>	<p>Die komplette Simulation der Anlage (mechanische, hydraulische und biochemische Prozesse) findet im Verfahrensmodell statt. Die Prozesssteuerung wird in der SPS realisiert. Bedienen und Visualisieren des Prozesses sowie Fernsteuern des Verfahrensmodells erfolgen im Prozessleitsystem (PLS).</p>	<p>Komplexität –Mittel (viele Schnittstellen, aber standardisiert)</p> <p>Vorteile –Bedienung im Prozessleitsystem (PLS) –Prozessparameter können während der Simulation geändert werden. –Klare Trennung der Kompetenzen und Tools zwischen Verfahren und Automation.</p> <p>Nachteile –Simulation nur in Echtzeit möglich. –Komplexität</p>

Tab. 2 Technische Varianten, die konzeptuell entwickelt und beurteilt wurden.

schwer gleichzeitig zu erfüllen. Um eine Lösung zu finden, musste die Diskrepanz akzeptiert werden. So wurde, unabhängig von der Simulationsgeschwindigkeit, folgender Rahmen definiert:

- Verfahrensmodell mit dem kommerziellen Produkt SIMBA#, das Anforderungen wie Branchenbekanntheit, biokinetische Simulationen und Schnittstellen erfüllt.
- Steuerungssoftware und Leitsystem des Simulators müssen parallel zur

ARA einfach aktualisiert werden können (Wartbarkeit).

- Zuflussdaten können aus einer Datei oder live von der realen Anlage übernommen werden.

Daraus wurden die vier in *Tabelle 2* dargestellten Varianten konzeptuell entwickelt und zur Beurteilung bereitgestellt. Der definite Systemscheid erfolgte gemeinsam mit dem ARA-Betrieb. Der Entscheidung fiel auf Variante 4. Diese Variante

bietet die «realitätsnächste» Simulation und lässt sich während der Betriebsphase am einfachsten pflegen. Diese Variante kann aufgrund der Industriesteuerungskomponenten nur in Echtzeit betrieben werden. Aber die definierten Ziele können damit erfüllt werden.

TECHNISCHE UMSETZUNG

Der Aufbau der umgesetzten Variante ist schematisch in *Figur 4* dargestellt. Die

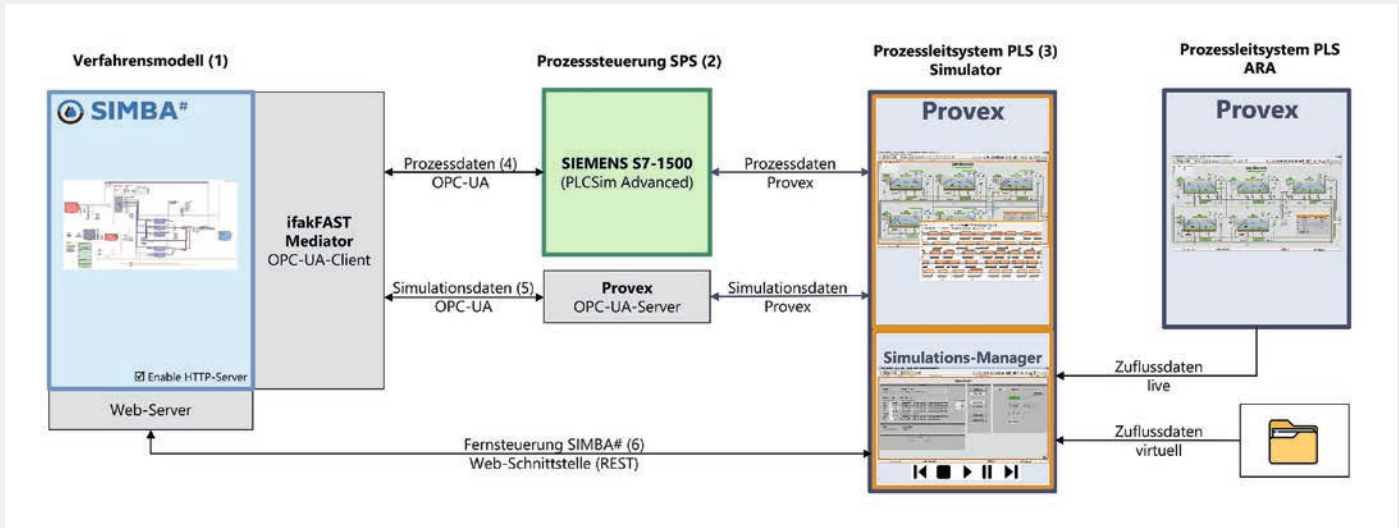


Fig. 4 Der Simulator besteht aus den folgenden Komponenten: Verfahrensmodell (1) mit Schnittstellen, Prozesssteuerung SPS (2), Leitsystem PLS (3) des Simulators inkl. Simulationsmanager. Das Verfahrensmodell tauscht Prozessdaten (4) mit der Prozesssteuerung und Simulationsdaten (5) mit dem Prozessleitsystem mittels separater OPC-UA-Schnittstellen aus. Die Fernsteuerung (6) des Verfahrensmodells aus dem Simulationsmanager des Prozessleitsystems erfolgt mittels einer Web-Schnittstelle.

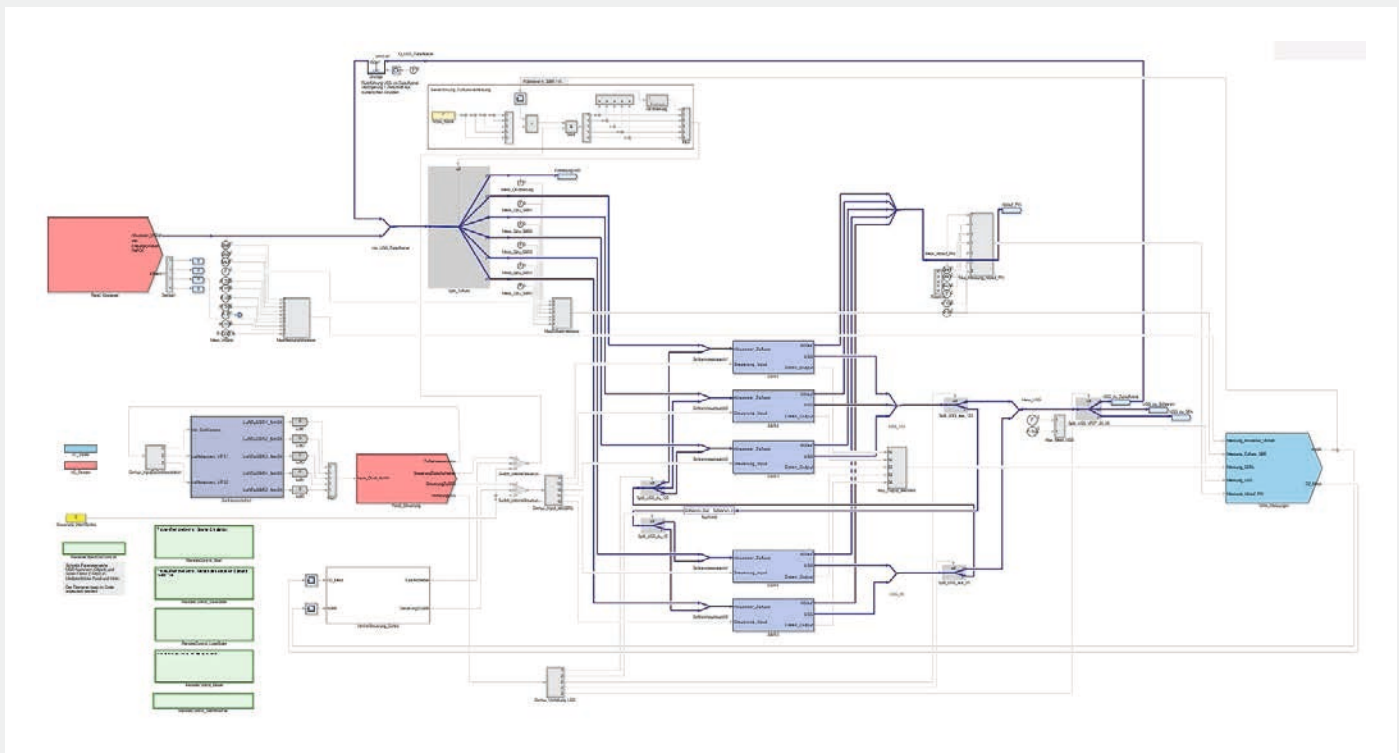


Fig. 5 Verfahrensmodell der SBR-Anlage in SIMBA#. In den einzelnen Blöcken verbergen sich weitere Untermodelle.

einzelnen Komponenten sind nachfolgend beschrieben.

VERFAHRENSMODELL (SIMBA#)

Das Anlagenmodell wurde in der Software SIMBA# (Version 3) [5] erstellt (Fig. 5). SIMBA# ist eine spezialisierte Software zur Simulation von Kläranlagen und Kanalnetzen (Hydraulik, biokinetische Prozesse, Sedimentation). Sie bietet sehr grosse Flexibilität für die Abbildung von Steuerungselementen, ermöglicht, Daten ab Datei einzulesen, aber auch, im laufenden Betrieb Daten auszutauschen. Zudem kann die Simulation ohne Eingriffe in die Benutzeroberfläche ferngesteuert werden.

Die Abbildung der SBR-Anlage im Modell erfolgte anders als für übliche Simulationsanwendungen: Die Steuerung des Simulator-Modells findet nicht in SIMBA#, sondern in einer externen Prozesssteuerung (Kopie der realen Anlagensteuerung) statt. Dazu werden Signale wie Messungen und Parameterwerte im laufenden Betrieb ausgetauscht.

Normalerweise werden in ARA-Simulationsmodellen nicht einzelne Aggregate abgebildet. Für die hier beschriebene Anwendung ist dies aber nötig. Einerseits steuert die externe Prozesssteuerung einzelne Aggregate wie in der realen Anlage an, andererseits sollen auch Handeingriffe via PLS abgebildet werden können. Für die Umsetzung wurden im SIMBA#-Modell Steuerungselemente programmiert, welche die Auswirkungen verschiedener Stellungskombinationen von Schiebern ermitteln (z.B. USS-Abzugssystem mit einer Pumpstation für alle Reaktoren, Gebläsestation mit Redundanz via Kollaktorleitung).

PROZESSSTEUERUNG (SPS)

Die gewählte Variante hat den Anspruch, dass Automationssoftware der realen Anlage auch für die Prozesssteuerung der Simulation eingesetzt werden kann. Dadurch ist sichergestellt, dass sich die Anlage exakt wie in der Realität verhält, und dass die Automationssoftware während der Betriebsphase des Simulators einfach nachgepflegt werden kann.

Nebst der Software für die SBR-Anlage muss die Automationssoftware für die Simulation über weitere Funktionalitäten verfügen. Diese sind die Simulation der Elektrotechnik (Motoren, Frequenz-

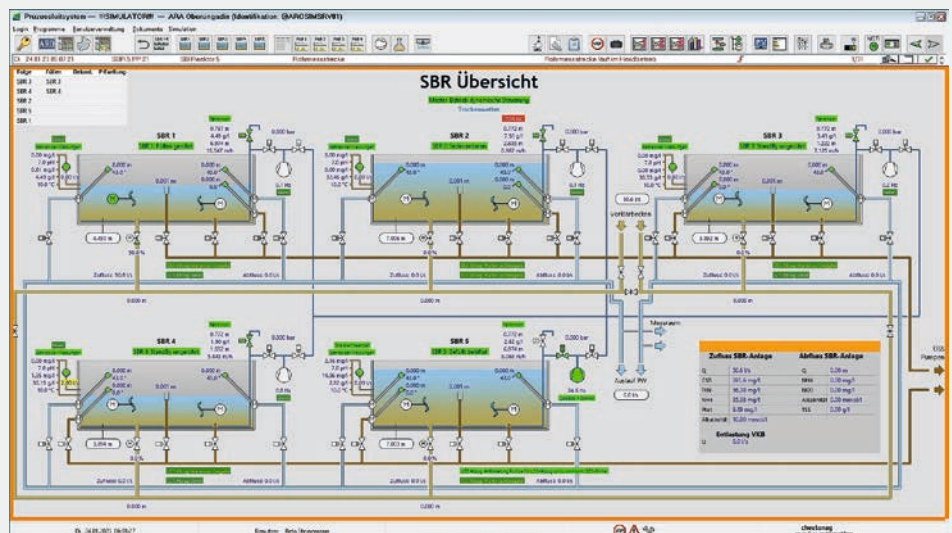


Fig. 6 Der Simulator benutzt die gleichen PLS-Bilder wie die reale Anlage. Die orangefarbene markierte Tabelle zeigt Simulationsvariablen. Der orangefarbene Rand dient der visuellen Abgrenzung zum PLS der realen ARA.

umformer, Ventile etc.) und die Simulation komplexer mechanischer Abläufe. Letztere können in SIMBA# nur sehr aufwendig abgebildet werden. In unserer Anwendung ist dies z.B. die Dekantersteuerung für den Klarwasser- und Überschussschlamm-Abzug. Damit für den Simulationsaufbau keine Steuerungshardware aufgebaut werden muss, wird die Simulationssoftware *PLC-Sim Advanced* von Siemens eingesetzt. Diese bietet die Funktionalität, Steuerungssysteme zu Simulationszwecken virtualisiert zu betreiben.

PROZESSLEITSYSTEM (PLS)

Die Visualisierung erfolgt im Leitsystem *Proxex*®. Dadurch hat der Betreiber den Vorteil, die reale Anlage und das Simulationssystem im gleichen System

und somit in der gleichen Darstellung zu bedienen.

Damit die Trennung von der realen Anlage zur Simulation offensichtlich erkennbar ist, erfolgt die Bedienung zwingend von zwei unterschiedlichen Arbeitsstationen aus. Zur zusätzlichen Unterscheidung sind alle Bilder des Simulationssystems mit einem orangefarbenen Rahmen versehen. Leitsystemobjekte wie Messungen und Parameter, die ausschliesslich in der Simulation vorhanden sind, werden ebenfalls orangefarben dargestellt (Fig. 6).

SIMULATIONS-MANAGER

Die Steuerung der Simulationsumgebung erfolgt für den Bediener exklusiv aus der Leitsystemumgebung. Dafür wurde im Prozessleitsystem (PLS) der sogenannte Simulationsmanager erstellt (Fig. 7). Mit

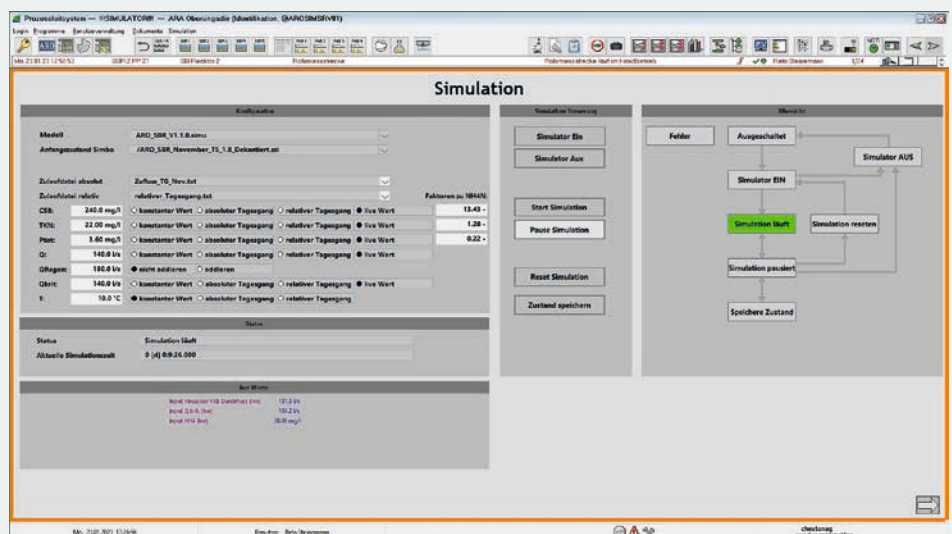


Fig. 7 Im Simulationsmanager im PLS werden Simulationen gestartet und gestoppt sowie Anfangszustände und Zuflussdaten definiert.

diesem wird das SIMBA# ferngesteuert, das Modell und der Anfangszustand ausgewählt sowie die Simulation gestartet, pausiert und gestoppt.

Eine Simulation kann vom Endzustand der letzten Simulation starten oder mit einem beliebigen Anfangszustand gestartet werden (Auswahlliste im Simulations-Leitsystem). Ein solches Zustandsfile kann durch Speichern des aktuellen Zustands erstellt werden (Button im Simulations-Manager).

Da sich die biologische Zusammensetzung des simulierten Belebtschlammes sehr langsam (über mehrere Schlammalter) entwickelt, wurden Anfangszustände für verschiedene Jahreszeiten auf einem vereinfachten schnellen Modell separat simuliert und als Dateien für den Import in den Simulator gespeichert.

Die Zuflussdaten (Zuflussmenge, Konzentrationen und Temperatur) werden ebenfalls hier definiert: konstanter Wert, vordefinierter Verlauf (z. B. Tagesgang) oder Live-Wert der ARA.

KOPPLUNG VERFAHRENSMODELL – PROZESSAUTOMATION

Damit die beteiligten Systeme miteinander kommunizieren können, werden verschiedene Schnittstellen benötigt. Diese sind so gewählt, dass eine hohe Entkopplung und ein langfristig wartbares System entsteht.

Es sind zwei Schnittstellen nötig (Fig. 4): Eine zum Austausch von Prozessdaten zwischen SIMBA# und der externen Prozesssteuerung und eine andere zwischen SIMBA# und dem Prozessleitsystem für den Austausch der Simulationsparameter und -messwerte. Diese Schnittstellen übermitteln Prozessvariablen in Echtzeit und basieren auf dem Industriestandard OPC-UA. Für die Koppelung von SIMBA# mit der OPC-Welt bietet *ifak* (Lieferant von SIMBA#) mit dem sogenannten Mediator ein Framework [6].

Zur Fernsteuerung von SIMBA# wird die darin integrierte Web-Schnittstelle (REST) verwendet. Die meisten Funktionalitäten in SIMBA# können damit angesprochen und bedient werden.

SYSTEMUMGEBUNG

Da der Aufbau über mehrere Komponenten verfügt, wurde das System als virtuelle Maschine aufgebaut. So kann dieses einfach betrieben, gesichert und transportiert werden.

BETRIEBSERFAHRUNGEN

Ziele des Simulators waren und sind die virtuelle Inbetriebnahme der realen Anlagensteuerung, Schulung des Betriebspersonals und Test verschiedener Parametereinstellungen für Optimierung und Troubleshooting. Da sowohl für die Automationsingenieure als auch für das Betriebspersonal die Inbetriebnahme der realen ARA im Fokus stand, wurde der Simulator nicht wie ursprünglich geplant bereits vor der Inbetriebnahme der ARA benutzt.

Die Inbetriebnahmen der realen SBR-Anlage und des Simulators fanden parallel statt. Da es sich um den identischen Programmcode der SPS handelte, ergaben sich Synergien. Einerseits wurden einzelne dynamische Programme der SBR-Anlage mit dem Simulator geprüft. Andererseits wurden bei der Inbetriebnahme des Simulators einzelne Unstimmigkeiten im Steuerungscode entdeckt und verbessert. Diese wären sonst erst bei selten auftretenden Situationen in der realen Anlage entdeckt worden. Als der Simulator lief, war auch die ARA in Betrieb. Die Mitarbeiter lernten sodann die Betriebsweise an der realen ARA kennen.

Nun ist die ARA seit einem Jahr in Betrieb. Aktuell sammelt der Betriebsleiter Erfahrungen mit dem Simulator unter anderem zu alternativen Einstellungen bei einem real aufgetretenen Starkregenereignis, Betrieb in der Nebensaison mit unterschiedlicher Anzahl SBR in Betrieb, Einfahrbetrieb nach Ausserbetriebnahme einzelner Reaktoren. Anschliessend ist vorgesehen, die ARA-Mitarbeitenden in die Arbeit mit dem Simulator einzuführen. Die automatisierte Entleerung von einzelnen SBR-Reaktoren über die

Überschussschlamm-pumpen soll auf dem Simulator nachgespielt und im Team besprochen werden. Auf ähnliche Art können die Effekte von Parametereinstellungen und heiklen Eingriffen gezeigt werden (Fig. 8 und 9).

Es ist klar, dass in der ersten Betriebszeit der neuen ARA viele Arbeiten eine höhere Priorität hatten als die Anwendung des Simulators. Folglich ist das Ziel für die nächste Zeit, die Arbeitsweise zu etablieren.

DISKUSSION

ARBEITSWEISE

Die Betriebsweise einer realen ARA unterscheidet sich stark von der Bedienung des Simulationsmodells im Ingenieurbüro:

- Im Ingenieurbüro und in der Hochschule wird die ARA-Simulation über die Oberfläche der spezialisierten Simulationssoftware gesteuert. Die Abbildung der Wirklichkeit sowie der Prozesssteuerung im Modell ist stark vereinfacht, viele Aggregate sind im Modell gar nicht vorhanden. Die Prozesse laufen stark beschleunigt ab und können so immer wieder mit gleichen Anfangsbedingungen wiederholt werden.
- Automatisierer simulieren ihre Prozesssoftware für Software-Tests und Inhouse-Abnahmen. Die Simulation der Aggregate ist im Steuerungsstandard integriert. Mechanische und hydraulische Simulationen werden vereinfacht anlagenspezifisch programmiert.
- ARA-Betreiber hingegen sind sich gewohnt, ihre Anlage über das Prozessleitsystem zu beobachten und steuern, der Betrieb einzelner Aggregate steht im Fokus. Die reale ARA läuft immer in

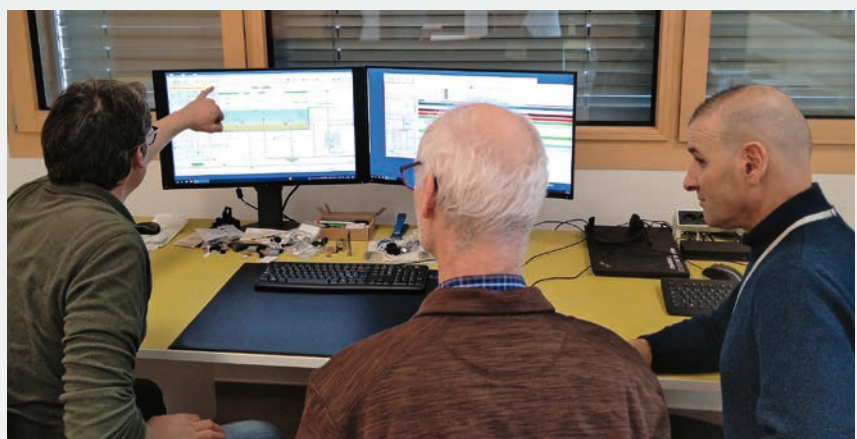


Fig. 8 Der Simulator unterstützt das Betreiber-Team in der Diskussion zu optimierten Betriebsweisen der ARA.

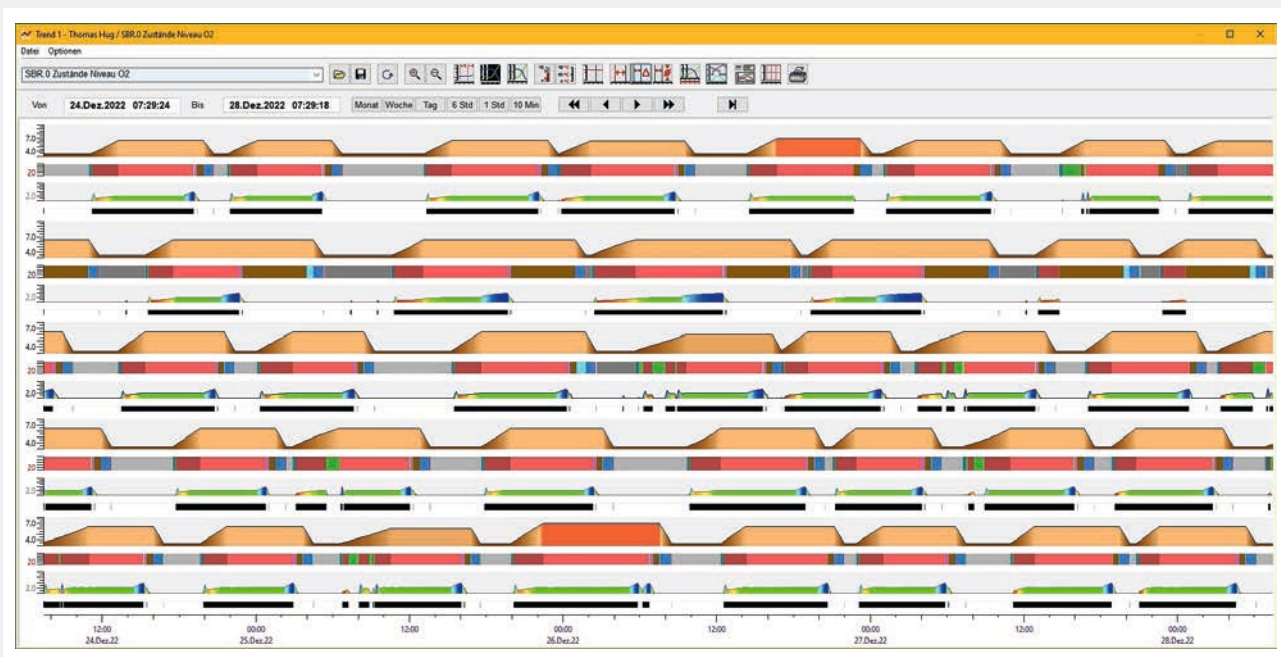


Fig. 9 Ansicht von simulierten Varianten im Prozessleitsystem (PLS). In diesem Beispiel: die Zustände und Sauerstoffkonzentrationen der SBR-Reaktoren.

Echtzeit; es gibt kaum die Möglichkeit, die exakt gleiche Situation mehrfach zu erleben, um verschiedene Betriebsstrategien zu testen. Im Gegensatz zur Simulation sind die mikrobiellen Prozesse im Belebtschlamm nicht sichtbar und kaum messbar.

Ein System zu entwickeln, das für alle Arbeitsweisen und Zielsetzungen ideal passt, ist schwierig.

VIRTUELLE TESTS UND KOMMUNIKATIONSTOOL

In anderen Branchen sind solche digitalen Zwillinge erfolgreich im Einsatz im Interesse der Sicherheit oder Ressourcenoptimierung (z. B. Flugsimulator, Produktionsanlagen, gefährliche Anlagen). Für Kläranlagen stehen wir noch am Anfang. Oftmals wird vorsichtig «auf Sicht navigiert». Bei virtuellen Inbetriebnahmen könnte der Simulator ohne Risiko für Mensch, Umwelt und Anlage den Testfall durchlaufen. Mit dem Simulator können auch seltene Ereignisse, die in der Realität kaum auftreten, getestet werden. Für ARA-Betreiber kann der Simulator auch als Kommunikationstool zur Diskussion im Team oder als Schulungstool für Pikett-Einsätze dienen.

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN

Generell gibt es Aufgaben, die nur ein Modell lösen kann, und solche, die ein Modell nicht lösen kann (Tab. 1). Eine jederzeit identische Abbildung der realen

ARA in der Simulation ist theoretisch möglich, in der Praxis aber nur schwer umzusetzen: Jede dynamische Simulation muss von einem definierten Anfangszustand gestartet werden. Ausgehend vom geladenen Anfangszustand läuft der digitale Zwilling parallel zur ARA. Bereits kleine Abweichungen im Modell oder Input führen zu Abweichungen, die sich über die Zeit vergrößern. Einerseits sind dies die Phasen im dynamischen SBR-Zyklus. Andererseits kann die Belebtschlammzusammensetzung nur unvollständig zwischen realer Anlage und Modell verglichen werden.

WARTBARKEIT

Der Simulator muss dem Betreiber über einen langen Zeitraum zur Verfügung stehen, dadurch muss die langfristige Wartbarkeit zwingend im Design berücksichtigt werden. Dabei wurden die nachfolgenden Punkte als wichtig erachtet:

- Langlebigkeit der eingesetzten Produkte und Komponenten.
- Eine hohe Entkopplung der Komponenten durch transparente und standardisierte Schnittstellen.

Nebst den eingesetzten Komponenten entwickelt sich die anlagenspezifische Software für das Prozessleitsystem und die Prozesssteuerung auf der Anlage stetig weiter. Aus diesem Grund muss die erneute Portierung der Anlagensoftware in den Simulator ohne grossen Aufwand möglich sein. Um diese zu gewährleisten,

wurden die nachfolgenden Punkte berücksichtigt:

- Die Parametrierung und Bilder im Prozessleitsystem (PLS) und der Programmcode der Prozesssteuerung (SPS) sind identisch für den Simulator und die reale ARA. Einzelne Programmteile, die nur der Simulator benötigt, sind im generellen Code vorhanden und werden für den Simulator zusätzlich aktiviert.
- Die Schnittstellendaten zwischen den Systemen werden automatisch generiert.

Generell hat sich gezeigt, dass der Aufwand für die Inbetriebsetzung des Systems nicht unterschätzt werden darf. Obwohl sich alles in einer «virtuellen Welt» befindet, müssen auch hier die einzelnen Komponenten, Schnittstellen und Objekte in Betrieb genommen werden. Das gute Zusammenspiel zwischen Automations- und Verfahreningenieur war zu diesem Zeitpunkt sehr wichtig.

ERFOLGSFAKTOREN

Für einen erfolgreichen Simulator ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Verfahreningenieur, Automatisierer und Betreiber gefordert: Der ARA-Betreiber als zukünftiger Anwender muss von Anfang an dabei sein und die Möglichkeit haben, das System kennenzulernen. Insbesondere braucht er Motivation und Neugierde. Der Verfahreningenieur bringt das notwendige Wissen zu Verfahrens-

DANK

Die hier beschriebene Entwicklung wäre nicht möglich gewesen ohne das grosse Interesse und Vertrauen von *Gottfried Blaser*, dem Betriebsleiter der ARA Oberengadin, der uns mit der Erstellung eines Simulators beauftragte. Von den ersten Diskussionen der Ziele, dem engagierten Mitdenken in Workshops bis zur Neugierde bei der Anwendung hat er sich stark mit dem Projekt identifiziert. *Christian Hübner*, einer der Entwickler von SIMBA#, hat uns mit technischen Informationen und Anpassungen unterstützt. Und schliesslich hat eine Reihe von Mitarbeitern von der *Chestonag Automation AG* und *Hunziker Betatech AG* zum Gelingen beigetragen; in alphabetischer Reihenfolge: *Hannes Amport*, *Urs Grendelmeier*, *Christoph Huckle*, *Peter Kaminski*, *Fabian Martin*. Wir danken allen diesen Personen sehr für ihr Engagement für dieses Projekt.

technik und Simulation. Die Automationsingenieure kennen nicht nur die Details und Limiten der Steuerung und des Leitsystems und wissen, wie die Systeme miteinander verbunden werden können. Sie achten auch auf entscheidende Themen wie Wartbarkeit und Sicherheit. Die Ziele und die Systemevaluation müssen mit den zukünftigen Anwendungen in einer frühen Projektphase diskutiert werden. Da sich die Zuständigkeiten der beteiligten Komponenten auf verschiedene Beteiligte bezieht, ist das Zusammenspiel ebendieser sehr wichtig.

Erfolg bedeutet nicht nur die Erstellung des Simulators, sondern danach auch die Anwendung. Es braucht die Neugierde zur Anwendung und Überwindung der gewohnten Denk- und Arbeitsweise. Es braucht eine Begleitung und einen Erfahrungsaustausch.

AUSBLICK

Aufbauend auf den Erfahrungen mit dem beschriebenen Simulator sind Weiterentwicklungen oder alternative Anwendungsfälle denkbar. Wie vorgängig diskutiert, ist eine laufende automatische Anpassung an das reale Belebtschlamm-System noch kaum praktikabel. Aber digitale Zwillinge mit stark beschleunigten Simulationen mit unterschiedlichen Bedingungen können reale Systeme optimieren oder sogar regeln (*model predictive control*). So wird aktuell ein System für die Prognose und Verbundsteuerung eines grösseren Kanalisationssystems entwickelt. Kanalisationssysteme haben den Vorteil, dass die relevanten Zustandsgrössen (v. a. Niveau, Durchfluss) einfacher gemessen und im Modell regelmässig angepasst werden können. Zudem sind sie nicht wie beim Belebtschlamm von einer mehrwöchigen Vorgeschichte abhängig.

Datengetriebene Modellierungsansätze (*machine learning*, künstliche Intelligenz, Black-Box-Modelle) und Kombinationen mit mechanistischen Modellen bieten eine breite Palette an alternativen Modellansätzen, die auch für einen Simulator interessant sein könnten. Diese sind aber noch nicht praxisreif.

Anwendungsfälle entwickeln sich häufig erst mit den technischen Möglichkeiten. Der Simulator für die ARA Oberengadin funktioniert. Nun können Erfahrungen in der Anwendung aufgebaut werden.

FAZIT

Für die SBR-Anlage der ARA Oberengadin wurde ein Simulator als digitaler Zwilling erstellt. Folgendes Fazit kann gezogen werden:

- Der Simulator kann analog einem Flugsimulator für Schulung, Betriebsoptimierung und virtuelle Inbetriebnahme genutzt werden.

- Es gibt verschiedene Ziele der Anlagen-Simulation. Keine passt für alle Anwendungsfälle. Im beschriebenen Fallbeispiel wird ein Simulationsmodell der hydraulischen und biochemischen Prozesse mit einer Kopie der Steuerung der echten SBR-Anlage gekoppelt. Der Simulator läuft in Echtzeit und wird wie die reale ARA über das Prozessleitsystem (PLS) bedient.
- Für die Erstellung braucht es zwingend eine enge Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen zukünftigem Anwender, Verfahrens- und Automationsingenieur.
- Für Kläranlagen ist diese Art von Simulator neu und daher noch ungewohnt. Die Anwendungsmöglichkeiten und neuen Arbeitsweisen durch ARA-Betreiber wie für Automatisierer können und müssen nun aufgebaut werden.
- Das hier beschriebene System ist insbesondere nützlich für komplexe Steuerung wie eine dynamisch betriebene SBR-Anlage, für den Test von selten auftretenden kritischen Betriebsfällen oder als Schulungs- und Kommunikationstool.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Alex, J.; Jumar, U.; Bitter, U. (1999): *On-Line Simulation of Wastewater Treatment Plants*. 14th IFAC World Congress, Beijing. IFAC Proceedings Volumes, Vol 32, no. 2, 5794-5799. [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)56989-X](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)56989-X)
- [2] *Porträt ARA Oberengadin (2018): Aqua & Gas Nr. 6/18, 5*
- [3] www.ara-oberengadin.ch
- [4] Hug, T.; Wettstein, M. (2018): *Prognosebasierte stufenlos dynamische SBR-Steuerung (ProDyn) – Modellbasierte Entwicklung einer Steuerung/Regelung für die ARA Oberengadin*. *Aqua & Gas Nr. 6/18, 85-92*
- [5] www.ifak.eu/de/produkte/simba
- [6] www.ifak-ts.com/pf/ifak-fast/

Ihre Spezialisten für
Wasser, Bau, Umwelt
und Energie.



HUNZIKER BETATECH

www.hunziker-betatech.ch

EINFACH. MEHR. IDEEN.

chestonag automation

5707 seengen • www.chestonag.ch