

Allgemeine Technische Bedingungen für Operator Trainings Simulatoren

Grundlagen der Simulation

atlan-tec Systems GmbH (im nachfolgenden ats genannt) baut Operator Trainigssimulatoren (OTS) als Hybridsystem aus neuronalen und klassischen rigorosen Modellen auf.

Die rigorosen Modelle basieren auf Gleichungen, Differentialgleichungen, Pumpen- und Ventilkennlinien, Stoffdatentabellen mit Löslichkeiten, Verdampfungs-, Bildungs-, Kristallisations- und Löslichkeitsenthalpien und anderen bekannten physikalischen und chemischen Zusammenhängen.

Die Gleichungen werden mit APC Professional grafisch abgebildet und dort numerisch gelöst.

Zusammenhänge, die nicht hinreichend genau bekannt sind oder die aus Kostengründen nicht genau abgebildet werden können, werden in den Trainingssimulatoren der ats mit Hilfe von statistischen Gleichungen, Polynomen oder Neuronalen Netzen abgebildet. Beispiele dafür sind Systeme der heterogenen Katalyse mit Phasengrenzen, die bis heute nicht hinreichend genau rigoros modelliert werden können. Dazu werden Daten aus einem realen Prozess verwendet, mit denen die empirischen Gleichungen angepasst werden.

Abbildung des Prozessleitsystems

Nur in seltenen Fällen steht ein Prozessleitsystem zur Verfügung, welches für einen Simulator geeignet ist. Das Prozessleitsystem wird in diesen Fällen mit APC Professional und einer Visualisierungsoberfläche simuliert. Diese Simulation kann nur so genau erfolgen, wie Algorithmen und Zusammenhänge eines Prozessleitsystems dokumentiert sind. Besteht beispielsweise eine Besonderheit im PID-Algorithmus des Leitsystems, der dem Auftraggeber nicht bekannt ist, kann ats diese Besonderheit nicht simulieren.

ats garantiert eine Umsetzung des Prozessleitsystems genauso, wie es aus den Unterlagen hervorgeht, die zum Zeitpunkt der Auftragsvergabe an ats übergeben wurden. Diese Unterlagen sind Bestandteile des Angebotes und des Auftrages.

Einfrieren des Systemstandes auf den Zeitpunkt der Auftragsvergabe

Der Simulator wird von ats genauso umgesetzt, wie es sich aus den letzten bekannten Planungsunterlagen ergibt, die vor der Auftragsvergabe vom Auftraggeber an ats übergeben wurden. Diese Unterlagen sind Bestandteil des Angebotes und des Auftrages.

Typischerweise wird eine Anlage und ein Prozessleitsystem nach Inbetriebnahme eines Prozesses oft geändert. Diese Änderungen sind nicht Bestandteil des Auftrages und damit auch nicht Bestandteil einer Abnahme, sofern keine Nachbeauftragung oder Revision des Auftrages damit verbunden ist.

Einschränkungen der Simulationsgenauigkeit

Jedes Modell und damit jeder Simulator hat eine begrenzte Genauigkeit bei der Abbildung des realen Prozesses. Diese Beschränkung hat im Wesentlichen vier fundamentale Gründe:

1) Beschränkte Kenntnis oder Abbildung der Zusammenhänge

Viele technische und wissenschaftliche Zusammenhänge lassen sich mit Gleichungen beschreiben, die auf vereinfachenden Annahmen beruhen und Zusammenhänge vereinfachen.

Selbst einfache Zusammenhänge, wie das Verhalten von Gasen, lassen sich nicht unendlich genau beschreiben, wie schon die große Zahl von Gasgleichungen zeigt, die das ideale und das reale spezifische Volumen von Gasen in Abhängigkeit von der Temperatur beschreiben. Auch Stoffdatenbanken sind nur begrenzt genau, da die meisten Stoffdaten immer auf Normalbedingungen (NTP) aufsetzen und thermische Abhängigkeiten oder Druckabhängigkeiten nur in Einzelfällen beschrieben werden. Gerade auch Vorgänge wie Strömungen und Turbulenzen, sowie Grenzflächeneffekte an Rohr- oder Reaktorwänden sind nicht mit vernünftigem Aufwand mit Gleichungen beschreibbar.

Somit ist es teilweise technisch nicht möglich, die Wirklichkeit unendlich genau abzubilden oder es ist so aufwendig, dass selbst ein Großrechner damit überfordert wäre.

II) Anfangswertprobleme / „Schmetterlingseffekt“

Startet eine Berechnung in einer Simulation mit Werten, die nicht unendlich genau sind, entsteht ein kleiner Rechenfehler. Die leicht fehlerhaften Ergebnisse dieser Berechnung gehen in weitere Berechnungen ein, welche Ergebnisse mit etwas größeren Fehlern liefern.

Ebenso, wie es in der Realität Stoffströme oder Wärmeströme gibt, die rückgekoppelt sind, also in geschlossenen Kreisen laufen, gibt es diese auch in Simulatoren. Demnach werden auch simulierte Wärme- und Stoffströme mit leichten Fehlern immer wieder im Kreis gefahren. Als Resultat ergibt sich die Tatsache, dass der Simulator sich mit seinen Ergebnissen immer weiter von der Realität entfernt. Der Fehler der Simulation gegen die Realität steigt also mit seiner Laufzeit an.

In der Systemtheorie wird dieser Effekt auch populärwissenschaftlich als Schmetterlingseffekt bezeichnet, da kleine Fehler nach mehreren Iterationen zu großen Effekten führen können. Hier wird gerne das Bild bemüht, dass theoretisch der Flügelschlag eines Schmetterlings in Asien nach mehreren Wochen die Großwetterlage in Europa beeinflussen könnte. Unter bestimmten Rahmenbedingungen ist diese Aussage nachweislich richtig.

Auf den Simulator bezogen bedeutet der „Schmetterlingseffekt“, dass eine Änderung der Startbedingungen in der 10ten Kommastelle nach einer gewissen Zeit zu ganz anderen Simulationsergebnissen führen kann

Diese Tatsache führt zum Beispiel dazu, dass Wetterprognosen nach spätestens einer Woche recht ungenau werden. Selbst unendliche Rechenkapazitäten würde daran nichts ändern, da der Anfangszustand eines Systems niemals unendlich genau bekannt ist. Messtechnik hat meist Fehler im Prozentbereich, so dass von vielen Werten die erste Stelle hinter dem Komma nicht genau bekannt ist.

III) Numerische Artefakte

Explizite oder implizite Differentialgleichungen werden in Simulatoren nicht symbolisch gelöst, sondern numerisch, also durch Iteration. Hierzu gibt es verschiedene Verfahren. Die einfachste Variante sind Newton-Verfahren, bei denen die Differentialgleichungen als Differenzgleichungen gelöst werden. Etwas aufwendiger sind beispielsweise Runge-Kutta-Verfahren, bei denen Gleichungen durch quadratische Näherungen gelöst werden.

Numerische Verfahren haben alle eines gemeinsam: Sie erzeugen einen Fehler, weil die Simulationszeit in endliche Schritte zerlegt wird, gleichsam digitalisiert wird. Diese Digitalisierung führt zu Artefakten und Fehlern. Der Effekt ist zu vergleichen mit einem digitalisierten Bild, bei welchem man bei hoher Auflösung Pixel erkennen kann

und der kontinuierliche Eindruck aus großer Entfernung nicht mehr aufrecht erhalten bleibt, sobald man feine Details erkennen will.

Neben raffinierten Verfahren, wie z.B. eingebetteten Verfahren mit Zeitschrittweitensteuerung, gibt es die Möglichkeit, die zeitliche Auflösung zu vergrößern. Beide Ansätze führen jedoch zu einem Anstieg der erforderlichen Rechenleistung. Da ein Simulator mindestens in Echtzeitbetrieb rechnen soll, wird dadurch die erforderliche Rechnerleistung immer höher. Da die bereit gestellte Rechnerleistung naturgemäß begrenzt ist, ist auch die mögliche Genauigkeit der Lösungsverfahren begrenzt, wodurch Kompromisse bei der Präzision der Lösungen erforderlich sind.

IV) Serialitätsartefakte

Während in der Realität Ereignisse sozusagen gleichzeitig oder simultan stattfinden, zerlegt der Simulator die Realität in Gleichungen und Teilereignisse, die nacheinander berechnet werden und sich dann erst die Ergebnisse gegenseitig mitteilen. Dadurch kommt es zu einem prinzipiellen Unterscheid zwischen Simulatoren und der Realität.

Finden in der Realität einige Ereignisse absolut gleichzeitig statt, die auf ein weiteres Ereignis einwirken, werden diese gleichzeitigen Ereignisse im Simulator nacheinander berechnet. Da Ereignisse in der Realität sehr stark vernetzt sind, lässt es sich nicht immer vermeiden, dass ein Ergebnis berechnet wird, bevor ein darauf einwirkendes Ereignis neu berechnet oder aktualisiert wird.

Dies kann dazu führen, dass eine Simulation in bestimmten Bedingungen ein Verhalten zeigt, welches nicht mit der Realität übereinstimmt. So können sogar Oszillationen auftreten, die sich nur aus solchen reinen Serialisierungsfehlern ergeben. Vermeiden lässt sich das nicht vollständig, lediglich verringern. Es ist von großer Bedeutung, die Reihenfolge der Berechnungen nach logischen Kriterien zu gestalten, was jedoch immer ein Kompromiss sein wird.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass es keine perfekte Abbildung oder Simulation der Wirklichkeit geben kann. Ein Simulator wird aus technischen Gründen zwangsläufig immer von der Wirklichkeit abweichen müssen. Diese Abweichungen können ganz erheblich sein.

Daher ist es zwingend notwendig, einen Simulator so zu gestalten, dass er einen bestimmten Zweck erfüllt, der vorher ganz präzise festgelegt wird. Jede nachträgliche Nutzung für einen anderen Zweck kann an den hier beschriebenen Fakten scheitern.

Daraus folgt, dass der Simulator mit Sicherheit nur genau den Zweck erfüllen kann und nur die Situationen sicher abbilden kann, für die er entwickelt wurde.

Alle anderen Situationen können möglicherweise abgebildet werden, können aber an den hier beschriebenen Schwierigkeiten scheitern.

Beschreibung des Simulatorzweckes durch Lektionen

Der Zweck des Simulators wird im Angebot und im Auftrag so genau beschrieben wie möglich, um gemeinsam festzulegen, welche Abläufe des Prozesses der Simulator genau abbilden können soll. Genau diese Abläufe werden vom Simulator garantiert abgebildet. Alle anderen Abläufe sind eventuell möglich, werden aber nicht garantiert.

Diese Beschreibung erfolgt in Form von **Lektionen (Lessons)**

Lektionen sind Beschreibungen von genau beschriebenen Situationen, auf die ein Leitstandfahrer oder Bediener des Simulators korrekt reagieren muss. Der Simulator muss sich bei korrekter Bedienung und auch bei Fehlbedienung genau so verhalten, wie die simulierte Anlage. Dabei darf der Simulator nur soweit von der realen Anlage abweichen, wie zwei baugleiche Anlagen voneinander abweichen würden.

Einziges Abnahmekriterium des Simulators ist die strikte Einhaltung der Lektionen, die im Rahmen des Angebotes, des Lasten- oder Pflichtenheftes oder des Auftrages definiert sind.

Die Erfüllung der Umsetzung solcher Lektionen ist an definierte Anfangszustände des Simulators gebunden, die dieser vor der Lektion als Startzustände aus Lektionsdateien (sogenante DynaScenes) lädt. Vor der Prüfung des Simulators wird also eine DynScene geladen, der Simulator wird gestartet und ein genau festgelegter Trainingsplan wird abgearbeitet, im Rahmen dessen sich der Simulator verhalten muss, wie die reale Anlage.

Auftraggeber und ats sind sich einig, dass der Simulator nur dann eine einwandfreie Funktion gewährleisten können muss, wenn er im Rahmen der Abarbeitung der definierten Lektionen verwendet wird. Der Simulator ist also immer an einen vorher festgelegten Lehrplan gebunden.