**Aris Christidis**

# Prinzip und Technologie 'Simulation': Anforderung und Möglichkeit für Mentales Training

## 1 Einleitung

Der Einzug der Datenverarbeitungstechnologie in den zeitgenössischen Alltag hält unvermindert an. Ob es hochkomplexe prozessorgesteuerte Roboterarme, handelsübliche Schaltuhren oder einfache Thermostaten sind, ob es um die Nutzung kompakter aber effektiver Fuzzy-Kameras oder um die Begegnungen mit höflicher und doch maschineller Telefon-Auskunft geht, ob konzertierte Flugmanöver im vernetzten Simulatoren-Verbund oder gerade die Reaktionen der Weltwirtschaft auf das Financial Engineering thematisiert werden: Zunehmend werden von sog. logischen Schaltungen und Apparaturen Tätigkeiten und Funktionen übernommen, die bis vor nicht allzu langer Zeit für nicht automatisierbar gehalten worden waren.

Eingeleitet wurde diese Entwicklung durch die in den 40er Jahren dieses Jahrhunderts erkannten Gemeinsamkeiten in den Regelungs- und Informationsprozessen in verschiedenen Wirklichkeitsbereichen. Die damit begründete Lehre der Kybernetik untersuchte die mathematische und konstruktive Behandlung allgemeiner struktureller Beziehungen, Funktionen und Systeme in allen diesen Bereichen. Außer der Entideologisierung war auch die Technisierung menschlichen und sozialen Lebens eine der Folgen davon.

## 2 Die Simulation als kybernetisches Prinzip

Zwei bedeutende Merkmale moderner technischer und organisatorischer Strukturen sind einerseits ihre hohe Komplexität und andererseits die starke Interdependenz. Unter der ersteren ist die tiefe Abstraktion in der Funktionsweise, unter letzterer die flächenartige Vernetzung und Wechselwirkung gemeint. Verständlicherweise sind Ausfälle solcher Strukturen entsprechend weitreichender.

Für die Sicherheitseinrichtungen von nach solchen Prinzipien entworfenen Anlagen bedeutet dies, daß sie nicht nur selbst komplexer und in ihrem Aufbau unüberschaubar werden, sondern daß sie auch einzeln immer mehr als Komponenten größerer Sicherheitskonzepte konstruiert werden, worin sie oft eine stark spezialisierte, doch immer globalere Verantwortung haben. Damit tragen Sicherheitsmaßnahmen notgedrungen auch zu einer Erhöhung der Komplexität und Vernetzung technischer Anlagen bei.

Für den mit der Sicherheit technischer Anlagen betrauten Personenkreis bewirkte die oben geschilderte Entwicklung eine starke Spezialisierung ihrer Tätigkeit: Die Palette von Fachleuten wurde immer breiter, deren Wirkungskreis immer enger, ihr Fachwissen immer tiefer. Aus vormals simplen Einweisungen wurden "Schulungen" und "Trainings" oder gar Lehren und Aufbaustudien; neue Berufe und Institutionen entstanden (z.B. Bodenpersonal im Flugverkehr, TÜV). Gleichzeitig wurde es aber auch immer schwieriger, technische Systeme oder einzelne Komponenten daraus zu testen oder zu regeln: die Erprobung ihrer Eigenschaften, die Regelung ihres Zusammenspiels, die Absicherung gegenüber einem Ausfall und die Planung und Testung von Innovationen, aber auch die Schulung des bedienenden Personals waren nicht nur mit zunehmendem Energie-, Zeit- und Materialaufwand sondern auch mit wachsender Verantwortung verbunden - was wiederum die Wissensakquisition im allgemeinen und die Ausbildung im besonderen erschwerte.

Wenn Untersuchungs- und Lehrinhalte zu chaotisch (d.h.: explizit nicht berechenbar, wie Luft-, Wasser-, Verkehrsströme), kostenträchtig (z.B.: Kraftwerks-Abschaltung), riskant (Verkehrsunfall) oder physikalisch unmöglich (nächstes Flugzeugmodell) werden, bietet die Simulation eine probate Umgebung zur Durchführung der benötigten Experimente.

## 3 Simulation dynamischen Systemverhaltens

Ein System läßt sich allgemein definieren als eine Menge von Komponenten (z.B. Individuen, Gegenständen, Meßgrößen, Prozessen), die untereinander in einer kausalen Wechselwirkung stehen und von ihrer Umwelt entweder als abgeschlossen oder als in einer wohldefinierten Beziehung stehend betrachtet werden können sowie die Gesamtheit der unter ihnen herrschenden Beziehungen. Im Sinne dieser Definition kann jedes System in beliebig viele Teil- oder Subsysteme zerlegt werden, sofern dies sinnvoll erscheint. Als dynamisches Verhalten eines Systems wird der in ständiger Veränderung befindliche Beitrag in seiner Interaktion mit der Umgebung bezeichnet.

Simulation ist die Nachbildung des dynamischen Verhaltens eines Systems durch das Verhalten eines anderen Systems; das nachbildende und das nachgebildete System können dabei verschiedene Realisierungen desselben Prinzips sein (z.B. Windkanal statt Fahrtwind, Rollenspiel statt sozialer Interaktion) oder auf vollkommen verschiedenen Grundlagen fußen (elektrische Spule anstelle einer mechanischer Dämpfung, "Dialog" mit Computer).
Obwohl es immer eine Äquivalenz-Relation darstellen soll und ist, handelt es sich immer auch um eine Substitution und eine Simplifikation: Es wird immer nur das dynamische Verhalten des betrachteten Systems oder Subsystems durch ein äquivalentes anderes wiedergegeben.

Simulationsprojekte durchlaufen immer sechs Phasen [3]:

1) Definition des Simulation-Experimentes, d.h.: Identifikation des dynamischen Verhaltens des zu untersuchenden Systems, Festlegung des Experiment-Umfangs ("Was wird alles simuliert?") und des Detaillierungsgrades ("Wie genau wird simuliert?");
2) System-Modellierung: Auswahl eines geeignet erscheinenden Ersatz-Systems und seiner Zusammensetzung - bei Computer-Simulation: der mathematischen und logischen Zusammenhänge, die das verlangte dynamische Verhalten nachbilden;
3) Realisierung bzw. Implementierung: Auswahl der technischen Mittel (Schaltungen, Programmiersprache);
4) Testung und Validierung: a) Bestätigung des Simulationskonzepts anhand vorhandener Daten; b) Ermittlung des Grades der Übereinstimmung des simulierten mit dem realen Experiment;
5) Datenerfassung und -auswertung;
6) Dokumentation (ca.1/3 eines Projektaufwands).

Die Simulation liefert, vereinfacht gesprochen, eine kostengünstige, zeitsparende und risikolose Behandlung der Frage: "Was ist, wenn...?". Sie hält gegenwärtig überall dort Einzug, wo parametrische System-Darstellungen an ihre Genauigkeits- oder Schnelligkeitsgrenzen stoßen. Das können unbewältigbare Gleichungssysteme für Strömungsturbulenzen bei der Wettervorhersage oder der Ermittlung optimaler Fahrzeugkonturen, langwierige Entscheidungsketten in wirtschaftlichen Planspielen oder unbekannte Parameter bei der Reaktion von Piloten auf Instrument-Anzeigen während Flugmanövern sein.

Wichtige Hilfe bietet die Simulation bei der Visualisierung der nachgebildeten Prozessen (z.B. Strömungen mit Turbulenzen, Druck- und Temperaturverläufe). Dazu kommt noch der Anschauungsgewinn durch Spezialeffekte wie Zeitlupe oder Zeitraffer, Speichern und Wiederholen signifikanter Situationen, etwa zur Begutachtung des Mensch-Maschine-Zusammenspiels.

## 4 Die Simulation als Trainingshilfe

Seit ca. drei Jahrzehnten befinden sich nunmehr Simulationsprogramme und Einrichtungen in der Entwicklung und im Einsatz. Aufgrund der Nutzungsabsicht, kaum aber anhand der zum Einsatz kommenden Ausstattung, kann zwischen Lern-, Diagnose- und Prädiktions-Systemen unterschieden werden. Zu ersteren zählen z.B. Flug-, Schiffs-, Schieß-, oder Fahrsimulatoren bzw. Anatomie- und Endoskopie-Anwendungen der virtuellen Realität, zu zweiteren etwa Datenbasen-Systeme, wie sie inzwischen in der Medizin aber auch in der Kfz-Technik zur Fehlerdiagnose eingesetzt werden. Zur Prädiktion dienen schließlich die Wettersimulation, Verkehrssimulationen zur Untersuchung von Staubildungen, militärische und wirtschaftliche Planspiele zur Vorhersage lokaler oder gesamtgesellschaftlicher Entwicklungen.

Im Sinne einer Trainingshilfe interessieren primär Lern- und Diagnose-Systeme; nicht zu übersehen ist aber auch der Erkenntnis- und Empiriegewinn bei der Wissensakquisition, der Identifikation und der Modellierung für die beteiligten Entwickler. Durch die konzeptionelle Erfassung technischer Systeme können außerdem Irrtümer und Mängel in der Konstruktion von Teilsystemen (z.B. Warnsystemen) und Systemteilen (z.B. einzelnen Anzeigetafeln) der realen Anlage erkannt werden.

Als bezeichnendes Beispiel für den hohen Nutzen von Simulationssystemen im Bereich der Ausbildung kann die Tatsache angesehen werden, daß in den 70ern Concorde-Piloten die Bedienung ihrer Maschine noch vor der Erstellung des Prototyps ebenso im Simulator üben konnten wie (etwas später) den Anflug auf den noch nicht gebauten De-Gaulle-Flughafen.

Zur realitätsnahen Gestaltung der Trainingsbedingungen werden nunmehr seit mehreren Jahren Simulatoren - vor allem militärischer Art - vernetzt, so daß eine Interaktion nicht nur zwischen

Mensch und Simulator, sondern auch unter den Simulationsteilnehmern möglich wird. Gleichzeitig wird gewissermaßen eine "Meta-Ebene" in der System-Abstraktion dadurch erreicht, daß, bei der Trainingsvorbereitung und -auswertung, Computer-Software das dynamische Belastungs-Verhalten des Simulatorennetzes simuliert.

Die Grenzen der Anwendbarkeit von Simulations-Verfahren dürften (für die Naturwissenschaften typischerweise) dort liegen, wo die Messung und Prädiktion eines Prozesses den Prozeß selbst beeinflußt, wie das zweifelsohne bei sozialen Prozessen der Fall ist. Parade-Beispiel hierfür ist der Börsenkrach am 19.10.87 (Schwarzer Montag) [4]. Ein weiteres bekanntes Beispiel ist die Demoskopie, deren Simulations-Spiele aus ersichtlichen Gründen auch unmittelbar vor Wahlen eingestellt werden.

Zu den weniger behandelten Aspekten der Simulation zählt die Testbarkeit eines Simulationssystems, so etwa die Frage, was passiert, wenn während der Simulation zwischenzeitlich durch Ausfall oder Überbrückung sich der Datenbestand außerhalb des Simulation-Programms geändert hat. Solche Aspekte scheinen in der Nacht von 25. zum 26. April 1986 in Tschernobyl eine große Rolle gespielt zu haben [5, 6]. Damit verwandt sind Untersuchungen zur Interaktion im Mensch-Simulator-System, wie sie an Piloten in Flugsimulatoren durchgeführt werden und u.a. die Entwicklung von Gegen- und Ausweichstrategien zur Simulator-Krankheit zum Gegenstand haben.

Es gibt schließlich auch strittige Simulationseinsätze: Viel debattiert wurde z.B. über die befürchteten Planspiele nach der Volkszählung 1983 bzw. 1987. Keine öffentlichen Debatten wurden dagegen geführt über Simulationen, die anhand der Population, des Verarmungsgrades u.a. Elemente die zu erwartende Gründung und Erfolgschance von Guerillas in Ländern der Dritten Welt vorauszusagen suchen, wie dies etwa aus Veröffentlichungen der Universität Zürich hervorgeht [7].

## 5 Fazit

Die Simulation stammt aus demselben Arsenal kybernetischer Theorien wie die Systeme, zu deren Messung, Regelung, Erprobung, Untersuchung, Modifizierung, Vermittlung und Einübung sie beitragen soll: Im Rahmen der Systemidentifikation und -modellierung extrahiert sie die "Grundessenzen" aus dem dynamischen Verhalten eines Systems, um es mit anderen Mitteln nachzubilden und stellt damit die Gültigkeit der Kybernetik unter Beweis.

Bereits das Streben nach Realitätsnähe weist darauf hin, daß die Simulation selbst keine Umgebung für Mentales Training bieten kann, zumal hier nicht in einer imaginierten sondern in einer getäuschten, ja täuschend echten Realität geübt wird. Hier kann aber die Erfahrung als Voraussetzung für Mentales Training gewonnen werden, und das unter exakt vorgebbaren und reproduzierbaren Bedingungen, zudem noch kostengünstig, zeitsparend und risikolos. Ebensowenig darf übersehen werden, daß die mit der Planung, Implementierung und Auswertung von Simulationsexperimenten Beschäftigten im Rahmen ihrer Tätigkeit jeden Anlaß haben, Mentales Training zu betreiben, zumal sie die von ihnen erdachten Simulationsübungen auch selbst in einem gewissen Maß bewältigen müssen. Ein großer Vorteil des Simulationstrainings besteht außerdem darin, daß Situationen erlebbar werden, die in der Realität kaum herbeizuführen sind, etwa unwahrscheinliche aber durchaus mögliche Schaltfehler in der Kraftwerks- oder in der Flugsimulation. Damit bietet die Simulation zwar nicht das Ambiente, wohl aber wertvolle, realistische Szenarios für Mentales Training.

## 6 Literatur


[1] F.v.Cube: "Was ist Kybernetik?" dtv Wissenschaftliche Reihe München 1971

[2] A.Christidis: "Einführung in die Programmierung und den Einsatz von Datenbasen für Fahrzeug-Sichtsysteme" Kompendium für Studenten der Universität Wuppertal, Oktober 1984

[3] A.Ralston, E.D.Reilly (Eds.): "Encyclopedia of Computer Science" IEEE Press, 1993

[4] "Wie in einer Kettenreaktion kippten die Kurse" DER SPIEGEL, Nr.44/26.10.1987

[5] "Die Katastrophe von Tschernobyl oder: Jeder Fehler, der möglich ist, wird gemacht / Ein nachgezeichnetes Protokoll der Ereignisse" Frankfurter Rundschau, 24.04.1991

[6] G.Medwedew: "Verbrannte Seelen" Hanser 1991

[7] A.A.Stahel: "Simulation of Guerilla Warfare" University of Zurich and Department of Military Science, Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 1988