

Willi Bruns

Simulation als Werkzeug, Medium oder OBJEKT?

In H. Lange, W. Müller (Hrsg.): Kooperation in der Arbeits- und Technikgestaltung. Lit Verlag, Münster, S 183-199, 1995

1. Übersicht

Im Beitrag werden Möglichkeiten des Einsatzes rechnergestützter Simulation in der betrieblichen Technikgestaltung dargestellt, die über die traditionelle Sicht hinausgehen. Die Simulation wird in der Produktionstechnik bisher hauptsächlich mit dem Ziel eingesetzt, Arbeitsplätze und technische Anlagen "objektiv" zu modellieren, um sie zu optimieren. Wie die Simulation auch die Kreativität beim Systementwurf steigern und den Diskurs in Partizipationsansätzen fördern kann, soll gezeigt werden.

2. Ausgangssituation, Forschungsgegenstand und Fragen.

"Simulation ist die Nachbildung des Verhaltens eines dynamischen Prozesses in einem System mit Hilfe eines experimentierfähigen Modells, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden." (VDI 1992). Diese oder ähnliche Definitionen kennzeichnen einen wesentlichen Zweck der Simulation: den der Erkenntnisgewinnung und Objektivierung.

Modellbildung, Experiment, Analyse, Abstraktion, 'Schneiden und Freimachen' und deren Kombination in der Simulation sind besonders in den Ingenieurwissenschaften bewährte Methoden der Erkenntnisgewinnung. Ingenieure setzen darüber hinaus die Simulation zur Rationalisierung und Effektivierung technischer Anlagen, Arbeitsorganisationen und individueller Arbeitsbedingungen ein.

Vor dem Hintergrund der aktuellen "*Arbeit und Technik*" - Forschung, die sich auf eine sozialverträgliche Technikgestaltung¹ in Betrieben bezieht, stellten sich die Fragen: "Welche Wirklichkeitsausschnitte sind explizit modellierbar und von wem?", "Kann Simulation als objektivierende, systemtechnische Methode auch als Mittel zur Abwehr unsozialer Automatisierungen, in denen der Mensch als Restgröße kalkuliert wird, eingesetzt werden?" und "Kann sie von einer Technik für Spezialisten zu einem Hilfsmittel für Betroffene werden?" Gegenstand der daraus folgenden Forschung war einerseits das Instrumentarium der Simulation produktionstechnischer Anlagen, andererseits die Methode seiner Nutzung für sozialverträgliche Ziele.

¹Unter sozialverträglicher Technikgestaltung kann man die Verstärkung von Qualifikation, Partizipation, Technikfolgenabschätzung, Technikgenesebetrachtung, Kooperation und Kommunikation verstehen (siehe hierzu auch VDI(1985))

Ausgangspunkt der Arbeit war das traditionell systemtechnische Verständnis von Simulation als Methode der objektivierenden Darstellung und Sicht der Dinge. Dieses rationale Verständnis betrachtet die Realität in reduzierender Weise als System, das bestimmten Zwecken dient und formal beschreibbar ist bzw sein sollte. Ein System ist dabei eine organisierte Menge von Komponenten mit möglichst quantifizierbaren Eigenschaften und Wechselbeziehungen untereinander, sowie einer scharfen Abgrenzung zur Umgebung. Jenachdem ob das Ziel der Simulation das der Gewinnung wissenschaftlicher Erkenntnis oder das der optimalen Gestaltung technischer Anlagen ist, kann man von ihrem Instrumenten- oder Werkzeugcharakter sprechen. Werkzeugcharakter kann dann angenommen werden, wenn das Simulationsmodell vom Verhalten einer geplanten computer-gesteuerten Anlage identisch (codegleich) mit dem Steuerprogramm der späteren realen Anlage werden soll, die Simulation also das Werk "optimal funktionierende Steuerung" zum Ziel hat. Dem Maschinenbauer ermöglicht sie dann eine relative Unmittelbarkeit zwischen Konstruktion und Produkt. Hierbei wird eine interessante Charakteristik der Simulation rechnergesteuerter Anlagen deutlich. Es werden Modelle der Steuerung, des Aktions-/Reaktionsverhalten der materiellen technischen Komponenten und der Systemumgebung gebildet und mit diesen experimentiert. Dabei können durchaus Teile der Modelle ihren Abbildcharakter verlieren und zu Originalen der realen Anlage werden, z.B. dergestalt, daß der Programmcode welcher die Steuerung zunächst modelliert hat, nun als ausgetesteter Code der Anlagensteuerung selbst verwendet wird.

Der vollständige Simulationsprozeß kann in folgenden Phasen ablaufen (Abb. 1):

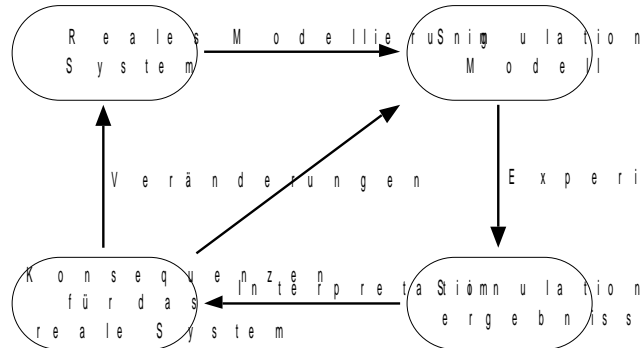


Abb. 1: Simulationszyklus

- *Modellierung*

Modellierung ist eine allgemein menschliche Fähigkeit der Abstraktion. Die Realität vermittelt sich durch Erscheinungen, die über äußere oder innere Sinne wahrgenommen werden. Wahrnehmungen werden bezeichnet und damit zu Phänomenen. Abstraktionen dieser Phänomene führen zu Begriffen und Modellen, mit denen wir Zusammenhänge darstellen, Urteile bilden und diese äußern. In der Kognitionspsychologie sind für diesen Zusammenhang die Begriffspaare "inneres und äußeres Modell", "mentales und konzeptuelles Modell" oder "intuitives und formalisierbares Modell" (vgl. Dutke, 1994) bezeichnend. Die hier behandelte Simulation beruht auf äußeren Modellen, formalen Beschreibungen in einer physikalischen (Baukasten)

oder mathematischen (Formeln und Zahlen) Sprache. Sie hat objektivierenden Charakter. Indem sie aber Äußerung ist, ist sie auch Projektion von Wünschen und Vorstellungen und wird für den Äußernden und für andere, interpretierbar, beurteilbar, veränderbar. Diese letztgenannten Aspekte verweisen auf die psychoanalytische Kategorie der Übertragung von Wünschen auf ein OBJEKT und die soziale Kategorie der Kommunikation. Beide sollen noch näher behandelt werden.

- *Experimente*

Experimente erfolgen mit der bewußten oder unbewußten Absicht, das Verhalten und die Tragfähigkeit von Modellen zu erkunden und sind mit einer Perspektive und Zielsetzung verbunden. Bei einem systematischen Simulationsvorgang werden verschiedene Umgebungssituationen vorgegeben und ihre Wirkung auf das Modellverhalten untersucht. Dies erfolgt in der Regel über das Anbringen von Meßpunkten im Modell und das Erfassen quantifizierbarer Meßgrößen.

- *Auswertung und Interpretation*

Das Verhalten des Modells wird mit Hilfe charakteristischer und aussagefähiger Meßgrößen beschrieben und analysiert. Diese Analyse und Interpretation ist abhängig von der Zielsetzung und den Interessen der Simulierenden.

- *Veränderungen*

Durch den Vergleich der experimentellen Ergebnisse mit der Realität können Korrekturen am Modell erforderlich werden. Aus der Interpretation der Simulationsergebnisse kann sich eine neue Sicht der Realität oder deren Veränderung ergeben.

Diese Handlungsfolge wird mehrfach durchlaufen und eine schrittweise Verbesserung von Modellbildung, Experiment und Interpretation im Sinne der Modellierenden angestrebt.

Diese Definition der Simulation sagt noch nichts über ihre konkrete Realisierung aus, sie kann z.B. mit Hilfe physikalischer Modellbausteine, sprachlicher, geometrischer oder bildhafter Elemente, abstrakter funktionaler und logischer mathematischer Elemente oder diskreter Zustandsautomaten auf einem Digitalrechner erfolgen. Charakteristisch ist, daß jedes Simulationshilfsmittel die Modellierungsmächtigkeit und die Simulationsmethode beeinflusst. Sehr verbreitet, mit zunehmender Tendenz, ist die rechnergestützte Simulation. Hier wird mit Hilfe eines speziellen Computerprogrammes, dem **Modellierer**, ein Modell in einer speziellen Simulationssprache (mit textlichen oder graphischen Symbolen) beschrieben. Besondere Merkmale dieser Simulationssprachen (es existieren zahlreiche Varianten) sind: sie enthalten Elemente zur Beschreibung beweglicher und stationärer, aktiver und passiver Objekte und deren örtlicher und funktionaler Beziehungen zueinander, zur diskreten Veränderung des Zustandes der Objekte und Beziehungen, zur Einbeziehung äußerer und Erzeugung innerer deterministischer und stochastischer Ereignisse, zur Verwaltung der Simulationszeit, zur Messung zeitveränderlicher Größen, deren Auswertung und Darstellung. Das derartig beschriebene Modell wird dann von einem weiteren Computerprogramm, dem **Simulator**, abgearbeitet, indem dabei, häufig im Zeitraffer, die grundsätzlich spezifizierte Folge von Modellzuständen durchlaufen wird. Der **Visualisierer**, ein weiteres Programm, stellt die Ergebnisse in textlicher oder grafischer Form statisch oder dynamisch dar. Eine Einheit von Modellierer, Simulator und Visualisierer wird Simulations(entwicklungs)system ge-

nannt, es unterstützt über die o.g. Funktionen hinaus noch die Verwaltung von Modellvarianten, Experimenteserien und die entsprechende Ergebnispräsentation. Interessant ist nun die Frage, wie diese Hilfsmittel die Simulation unterstützen und einschränken.

Ziel der Forschung war es, eine empirische Grundlage für die Beurteilung der Möglichkeiten zur Überwindung vorwiegend technisch instrumenteller Sichten von Automatisierungsvorhaben unter Einsatz der Simulation zu gewinnen. Zwei bekannte, nachfolgend beschriebene Gestaltungsansätze, die ebenfalls die Überwindung einer rein technischen Sicht anstreben, dienten als Orientierungsrahmen. Die zunächst intuitive Abschätzung der Möglichkeiten und Grenzen des technisch unterstützten Diskurses bei der "*Arbeit und Technik*"-Gestaltung und der Defizite von Methode und Mittel sollten durch Fallstudien differenziert und Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt werden. Dies erforderte die Analyse vorhandener Simulatoren, den exemplarischen betrieblichen Einsatz ausgewählter Simulatoren, die Durchführung von Qualifizierungsmaßnahmen für Planer und Betroffene und die konkrete Verbesserung dieser Simulatoren.

Bereits zu Projektbeginn² war die Notwendigkeit einer Überbrückung mathematisch mächtiger, aber abstrakter und unhandlicher Techniken, wie die der Petri-Netz-Technik, und relativ anschaulicher, aber unflexibler, uneinsichtiger und schwer kontrollierbarer Simulatoren für besondere Anwendungsgebiete (wie Fördertechnik) deutlich.

3. Methoden sozialverträglicher Technikgestaltung

Zwei Methoden der Technikgestaltung, die über eine systemische Sicht hinausgehen, sind der Duale Entwurf des VDI (VDI 1989) und der Human Centered Ansatz skandinavischer Tradition (Laessoe u.a. 1989). Beide wurden als Ausgangspunkte der hier vorgestellten Arbeiten verwendet.

Handlungsempfehlung: Sozialverträgliche Gestaltung von Automatisierungsvorhaben

Die Handlungsempfehlung des VDI (VDI 1989) richtet sich an die betrieblichen Gruppen Planer, Entwickler, Anwender, Entscheidungsträger und Betriebsräte mit Handlungsempfehlungen für eine menschengerechte und wirtschaftliche Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen, die u.a. von folgenden Grundsätzen ausgehen:

- gleichzeitige Planung von menschlicher Arbeit und Technikkonzeption sowie Technikeinsatz,
- frühzeitige und kontinuierliche Zusammenarbeit von Planern, Entwicklern und Anwendern,
- Berücksichtigung der Unternehmensstrategie,
- Mitarbeiterbeteiligung, partizipativer Führungsstil, Integration von Betroffenen,
- frühzeitige und weitreichende Informations- und Schulungsmaßnahmen,
- Beachtung des Marktes und der Rückwirkungen auf die gesellschaftliche und natürliche Umwelt.

Besonderes Merkmal des methodischen Vorgehens ist der **iterativ** durchlaufene Gestaltungsprozeß, bestehend aus Planungsphase, Konzept-/Umsetzungsphase und Testphase, der unter aktiver Mitarbeit der Betroffenen die gleichzeitige Erarbeitung von zwei Entwurfsansätzen vorsieht:

"a) Ein tätigkeitsorientierter Entwurf, bei dem eine möglichst qualifizierte und motivierte Arbeit bei optimaler Arbeitsorganisation und Arbeitsgestaltung konzipiert wird und

²Das Projekt wurde im Rahmen des Bremer Landesprogramms "Arbeit und Technik" gefördert und in Kooperation mit J. Scheel (Hochschule Bremen) durchgeführt.

b) Ein technikorientierter Entwurf, bei dem verschiedene Automatisierungsmöglichkeiten konzipiert werden." (ebenda, S. 13)

Die möglichst aus Mitarbeitern der Führungsebene, den Anwender-, Entwicklungs-, Planungsbereichen und aus dem Betriebsrat des Unternehmens bestehenden Gestaltungsteams, sollen durch eine weitgehende Integration der Betroffenen eine aktive Beteiligung der Mitarbeiter am Gestaltungsprozeß erreichen. Um die Auswirkungen von Automatisierungsvorhaben auf den Menschen und die Umwelt besser zu erkennen und abzuschätzen, werden Leitfragen zu Arbeitsbedingungen/Arbeitsorganisation, Entwicklung von Persönlichkeit und Fähigkeiten, Benutzerschutz, übergreifende Auswirkungen (Beschäftigung, Volkswirtschaft, Natur, Gesellschaft) und betriebswirtschaftliche Rahmenbedingungen als Diskussionshilfe im Gestaltungsteam vorgeschlagen.

Human-Centered Methods

J. Laessoe und L. B. Rasmussen (Laessoe 89) stehen mit ihrem methodischen Ansatz der Kooperation zwischen Forschern/Entwicklern und Planern/Anwendern in der Tradition der skandinavischen "Collective Resource"- und "Action Research"-Forschung. Ihren eigenen Ansatz grenzen sie gegenüber soziotechnischen Ansätzen, bei denen eine Gleichgewichtung zwischen technischen und humanen Perspektiven angestrebt wird, ab. Ihr Ziel ist es, den Menschen und seine Interaktionsmöglichkeiten als Grundlage für die Entwicklung von Produktionstechnik und Arbeitsorganisation zu sehen. Methodische Grundsätze ihres Vorgehens sind:

- experimentelles Prototyping,
- aktive Beteiligung der Anwender und Betroffenen bei der Diskussion und Formulierung der Ziele und Mittel der Planungsphase als auch der Realisierung,
- Verzicht auf den Versuch, eine objektive externe Beziehung zu dem Untersuchungsgegenstand zu erreichen, stattdessen Anerkennung der Subjektivität der Beziehung zwischen Forschern und Forschungsgegenstand mit der Verpflichtung zu ihrer Erhellung und kritischen Reflektion,
- gemeinsame Problemformulierung unter Offenlegung der verschiedenen Interessen und Motivationen, Weltansichten, Perspektiven und Konzepten,
- Erkennen der Bedeutung des Dialoges zwischen unterschiedlichen Konzepten in der Anfangsphase eines Projektes,
- Design-by-doing,
- Wechselwirkung ("reciprocity") statt Modelleigendynamik ("model power"). Es sollte vermieden werden, daß die häufig besseren Arbeitsbedingungen und größeren Erfahrungen der Forscher und Entwickler mit Projektarbeit zu einer Dominanz bei Modellierung und Ergebnisinterpretation führen.

4. Methodischer Ansatz im Projekt

Zunächst wurde eine Übersicht über verfügbare Simulationssysteme erstellt. Aus dem großen Angebot wurden drei typische und funktionsmächtige Produkte ausgesucht, von denen zwei darüberhinaus die Möglichkeit boten, sie in ihrer Struktur und Funktionalität zu erweitern (durch neue Sprachelemente und Veränderung der Benutzungsoberfläche). Diese Simulationssysteme wurden in ausgewählten Betriebsfallstudien und Weiterbildungskursen eingesetzt. Für die Fall-

studien wurden kleine und mittlere Betriebe gesucht, die sich gegenüber dem Partizipationsgedanken offen zeigten, wurden aber nicht gefunden. Ersatzweise wurden Abteilungen von Großbetrieben ausgewählt werden. Die Kurse waren für Ingenieure, Meister, Facharbeiter und Arbeitnehmervertreter.

Zentrale Fragen, die durch die Praxis erhellt werden sollten, waren:

"Welche Aspekte der Realität lassen sich simulieren?"

"Welche Qualifikation ist zur kompetenten Nutzung von Simulatoren erforderlich?"

"Welche Qualifikation ist zum Verständnis und zur Einschätzung der Simulationsergebnisse erforderlich?"

"Wie schnell ist ein Simulationszyklus durchlaufbar?"

"Welchen Beitrag können Ablaufvisualisierungen und Ergebnispräsentationen zum Verständnis leisten?"

"Ist die Simulation als Diskursmittel, als nichtverbale Sprache hilfreich?"

Die methodische Orientierung erfolgte, wie erläutert, an der Handlungsempfehlung des VDI zur sozialverträglichen Gestaltung von Automatisierungsvorhaben (dem Dualen Entwurf) und an dem Konzept des skandinavischen "human centered" Ansatzes. Dieses drückte sich in einer heterogenen Zusammensetzung der Forschungsgruppe (Designer, Pädagoge, Kommunikationswissenschaftler, Produktionstechniker, Arbeitspsychologin, Informatiker, Ingenieur), einer engen Zusammenarbeit mit Betriebsmitgliedern unterschiedlicher Aufgabenbereiche und dem Versuch der möglichst diskursiven, transparenten und iterativen Projektarbeit aus.

4. Zur praktischen Durchführung

Trotz mehrfacher Werbeveranstaltungen gelang es nicht, einen Betrieb zu finden, der unseren Wunschvorstellungen entsprach. Stattdessen erfolgte der erste Praxiseinsatz eines Simulators bei der Angebotserstellung eines lokalen Herstellers von Fördermitteln für einen entfernten Automobilhersteller. Hierbei hatten wir wegen der örtlichen Distanz keinen Kontakt zu den potentiell Betroffenen. Da es sich nur um die Unterstützung einer Angebotserstellung handelte, war dieses Vorgehen nicht sehr folgenreich, erlaubte uns aber, mit den Simulationssystemen an realen Betriebsproblemen Erfahrungen zu sammeln. Die zweite Studie über die Fließfertigung von Nahrungsmitteln bezog sich auf eine Anlage, die schon in hohem Maße automatisiert war und keinen Spielraum für grundsätzliche Alternativen bot. Die dritte Fallstudie fand für einen großen Containerhafenbetreiber statt. Es sollten verschiedene Alternativen der technischen Automatisierung und der damit verbundenen Arbeitsorganisation bezüglich der Be- und Entladung von Containerschiffen untersucht werden. Die Aufgabenstellung war für unsere Forschung gut geeignet.

Bei der praktischen Durchführung wurde der Partizipationsansatz dadurch eingeschränkt, daß der Betrieb durch eine politisch polarisierte Arbeitnehmervertretung gekennzeichnet war und unter starkem Zeitdruck stand. Ersteres verlangte von uns größte Zurückhaltung und Sensibilität gegenüber innerbetrieblichen Interessenauseinandersetzungen, letzteres ließ uns während der offiziellen Projektdauer nicht die nötige Zeit der Reflexion. Andererseits arbeiteten wir mit einer

Planungsabteilung zusammen, die mit dem Konzept des "Dualen Entwurfs" vertraut war und erwarten ließ, keine einseitig technisch orientierte Rationalisierungszwecke anzustreben.

Die Simulationsstudie hatte verschiedene Grade der Automatisierung von Containerverladebrücken und Containerzwischenlager zum Gegenstand. Dabei interessierten der Durchsatz, die Auswirkungen auf die individuellen Arbeitsbedingungen der in und mit diesen technischen Systemen arbeitenden Menschen, Sicherheitsfragen (Aufenthalt unter schwebenden Lasten), Koordinationsbeziehungen und Konsequenzen von Störungen. Obwohl bei der Fallstudie nicht in dem Maße direkt betroffene Arbeitnehmer beteiligt waren, wie wir es erhofft hatten, brachte sie doch einige fruchtbare Erkenntnisse.

Das wichtigste äußere Resultat dieser Simulationsstudie war die Unterstützung einer Lösung, die stärker auf menschliche Erfahrung als auf Automatisierung baut. Elemente der behandelten Problemstellung soll im folgenden kurz dargestellt werden (für eine ausführliche Beschreibung siehe Scheel et al, 1994)

Funktionsstudien eines geplanten vollautomatischen Containerdurchgangslagers

Im Rahmen der Konzipierung eines großen Containerhafens wurden verschiedene Konzepte der Containerzwischenlagerung auf dem Hafengelände untersucht. Eine Möglichkeit der Lagerverwaltung ist die mit Hilfe eines automatischen Portalkranes, der die Container in langen Lagerfeldern speichert oder aus diesen entnimmt. Wasserseitig und landseitig werden von dem Kran Fahrzeuge bedient, die den Transport zu externen Transportmitteln, wie Schiff, Zug oder LKW, durchführen (Abb. 2).

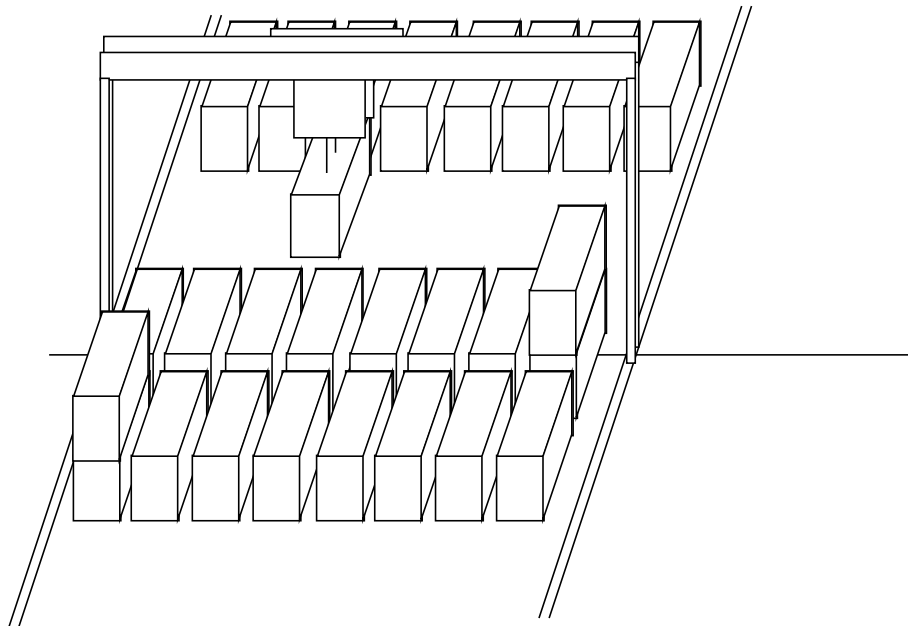


Abb. 2: Containerlager

Hierbei interessierten die Auswirkungen der unterschiedlichen Längen, Breiten und Höhen der Lagerfelder, unterschiedlichen Füllgrade des Lagers, Bedienungsstrategien für die Fahrzeuge bei gemischtem Betrieb des wasser- und landseitigen Ein- und Auslagerns auf den Betrieb. Es wurden typische Lastfälle, Stoßzeiten und Störfälle untersucht.

Die Simulation erfolgte mit Hilfe der Simulationsentwicklungsumgebung SLAM (Simulation Language for Alternative Modeling), die eine grafische Symbolsprache für die diskrete ereignisgesteuerte Beschreibung von Prozessen zur Verfügung stellt (Abb. 3).

Die dynamischen Abläufe der Experimente konnten in einer frei zugeordneten Animationsgrafik visualisiert (Abb. 4) und in Form von Detailstatistiken weiteren Analysen zugeführt werden. Da es sich um ein vollautomatisches System handelte, war es nicht erforderlich Menschen als Systemelemente zu modellieren.

Das Bemerkenswerte an dieser, wie an der folgenden Fallstudie, war, daß nicht eine bestimmte, als optimal zu bezeichnende Anlage als Ergebnis entstand, sondern daß der mehrfach durchlaufene Zyklus von Modellbildung, Experimente und Auswertung ein besonders tiefes Problemverständnis ermöglichte.

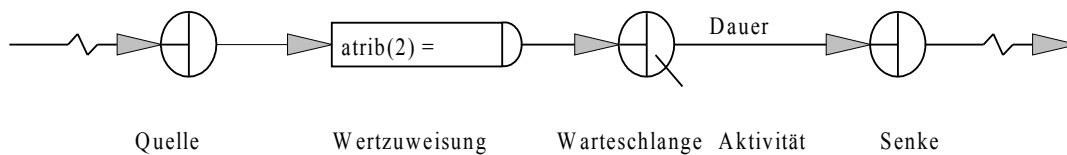


Abb. 3: Grafische Modellersprache

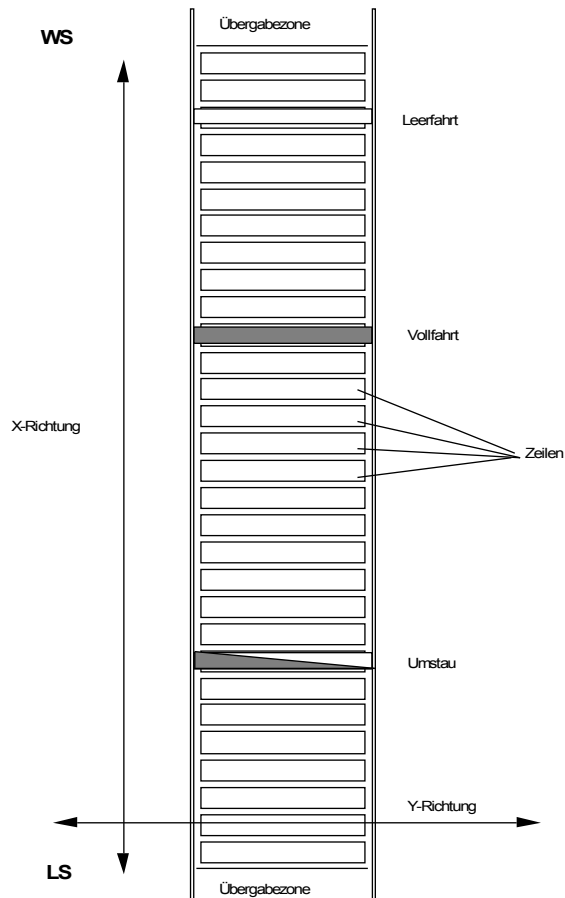


Abb. 4: Visualisierung der Simulation

Funktionsstudien einer geplanten Containerladebrücke

Wichtige Komponenten in einem Containerhafen (Terminal) sind die Kräne (Brücken) zum Be- und Entladen der Schiffe. Im oben genannten Vorhaben wurden daher auch verschiedene technische Konzepte und Betriebsweisen eines geplanten neuen Containerbrückentyps simuliert. Je nach Art der Transportfahrzeuge (bemannt oder unbemannt, den Container hängend oder tragend befördernd, ergeben sich unterschiedliche Sicherheitsanforderungen und Synchronisationsformen bei der Containerübergabe. Die Brücke selbst kann mit einer oder mehreren Laufkatzen versehen sein, und es können verschiedene Formen der Zwischenpufferung von Containern realisiert werden (Abb. 5).

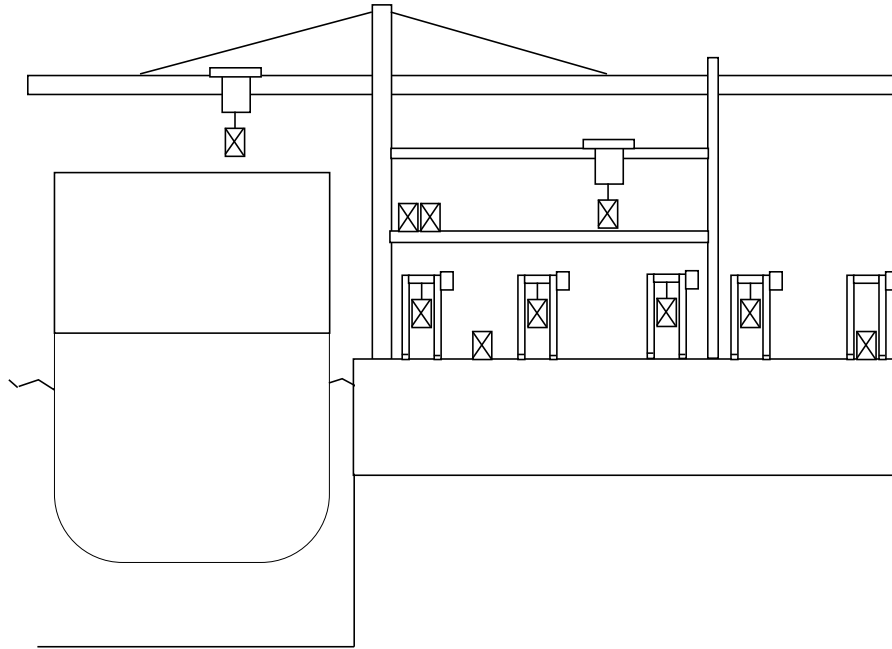


Abb. 5: Containerbrücke

Die technischen Parameter (Höhe, Breite, Fahr- und Hubgeschwindigkeit der beweglichen bemannten und unbemannten Teile) und die Übergabeprozesse haben erheblichen Einfluß auf die Sicherheit und Belastung der Menschen in dem System und die Leistungsfähigkeit der Anlage. Bei einer derartigen Simulation ist es notwendig, auch Annahmen über das Verhalten der Anlage Betreibenden zu treffen. Diese Annahmen, die ohne Simulation mehr oder weniger implizit in die Planung eingehen, werden durch eine Simulation expliziert und können von den Betroffenen eingesehen werden. Anhand typischer Lastsituationen können so frühzeitig Bedenken, Einwände und Vorschläge in die Konstruktion einfließen.

Die durchgeführten Simulationen verdeutlichten Arbeits- und Systemengpässe, Störfallkonsequenzen, Sicherheitsrisiken, Belastungsfaktoren und Kapazitätsgrenzen und bestärkten die Planer in der Auswahl einer Systemvariante, die sich statt auf vollautomatisierten Komponenten auf flexibel gestaltbaren Arbeitsplätzen gründet (z.B. manuelles Zugangslager statt Automatiklager).

4. Ergebnisse des Forschungsprojektes

Wichtigstes Ergebnis der Fallstudien war, daß für eine heterogene Gestaltungsgruppe, so wie sie vom Konzept des Dualen Entwurfs oder von der "Human Centered"-Gruppe gefordert wird, die heute verfügbaren Simulatoren ungeeignet sind. Sie verlangen ein sehr spezialisiertes und intensives Umgehen mit dem Hilfsmittel selbst und tendieren zur Perspektivverengung. Wichtige vorbegriffliche Einflüsse können zu wenig bei der Modellierung berücksichtigt werden.

Dynamische Vorgänge, schon wenn sie nur aus zwei zeitlich parallel verlaufenden Aktivitäten bestehen, sind umgangssprachlich schwer zu beschreiben. Eine gleichberechtigte Teilnahme unter-

schiedlich Vorgebildeter und Spezialisierter am Technikgestaltungsprozeß setzt die *gemeinsame* Begriffs- und Theoriebildung voraus. Diese läßt sich bei komplexen dynamischen Vorgängen aber nicht auf eine Verständigung im Sinne einer formalen Begriffsanalyse, wie sie von Wille u.a. (1987) entwickelt wurde, reduzieren. Im Verlauf des Projektes waren neben statischen und dynamischen Visualisierungstechniken, wie Wandskizzen, Videoaufnahmen, Computeranimationen auch Handhabungstechniken von Bedeutung. Es zeigte sich, daß für bestimmte Prozeßabläufe das manuelle Vormachen mit handlichen Modellen am Tisch sehr förderlich für die Herausbildung eines gemeinsamen Verständnisses war. Diese Erfahrung warf Fragen bezüglich einer zu frühen Begriffsbildung und Computerformalisierung im Hinblick auf kommunikatives Handeln auf. Im Interesse einer über die gesamte Projektlaufzeit möglichen Kritisierbarkeit von Geltungsansprüchen war eine enge Kopplung zwischen abstrakter werdendem Modell und konkret sinnlich erfahrbaren Modellabläufen erwünscht. Diese Kopplung wird aber bisher von keinem Simulationssystem unterstützt. Die festgestellten Defizite von Methode und Hilfsmittel führten zu einem Auseinanderfallen objektiver (technischer), sozialer und subjektiver Aspekte des Gestaltungsprozesses. Die Probleme lassen sich vier Bereichen zuordnen.

1. Abbildungsprobleme

Die Frage der Abbildbarkeit von Aspekten der Realität hängt stark von unserer erkenntnistheoretischen Position ab. Sehen wir die Realität als eine Menge gekoppelter und einander enthaltender Systeme unter funktionalen Aspekten an, so lassen sich im Sinne einer allgemeinen Systemtheorie z.B. Maschinen, Organismen, soziale Systeme, psychische Systeme auf einer Abstraktionsebene behandeln (vgl. Luhmann 1987). Sehen wir die Systemtheorie als eine bloße Methode der Wirklichkeitsanalyse an, so ist die Simulation in dem Maße ungeeignet, in dem der untersuchte Wirklichkeitsbereich nichtmaschinellen Charakter hat. Die hier vertretene Position ist die letztere. Diese führt dazu, daß die Modellgrenzen und der Modellierungsgrad sehr kritisch und restriktiv zu handhaben sind, wenn es um die Modellierung nicht maschineller Komponenten geht.

2. Perspektivenprobleme

Aus der oben genannten Grundposition folgt unmittelbar die besondere Bedeutung der subjektiven Perspektive. Die Ergebnisse der Simulation einer nichtmechanistischen Wirklichkeit hängen stark von der jeweiligen Betrachtungsweise ab. Es ist deshalb wichtig, das Perspektivenproblem offenzulegen und in einer diskursiven Weise zu behandeln. Hierfür eignen sich Gestaltungszirkel aus Planern, Betroffenen und Simulationsexperten, deren heterogene Anforderungen an die Simulation durch geeignete Mittel zu unterstützten sind.

3. Einbettungsprobleme

Bei einer kontextabhängigen Simulation gewinnt die Einbettung des Simulationsmodells in die Wirklichkeit eine besondere Bedeutung. Rechnergestützte Simulationswerkzeuge haben bisher häufig den Nachteil, daß sie relativ geschlossene Modelle erzeugen. Diese sind in zweifacher Hinsicht geschlossen: erstens bezüglich der Beteiligung eines größeren Kreises informationstechnisch Ungebildeter am Simulationszyklus, zweitens bezüglich einer Bindung des Rechnermodells an die reale Außenwelt. Beide Problembereiche, der der Partizipation und der der Realitätsbindung erfordern grundsätzliche Umorientierungen der technischen Instrumente der Simulation und des methodischen Vorgehens.

4. Übertragungsprobleme

Komplexe³ Modelle und ihre technische Realisierung entziehen sich häufig einer Verifikation, also des Nachweises, daß die technischen Hilfsmittel Rechner und Algorithmus das tun, was sie sollen, und erst recht einer Validierung, also des Nachweises, daß das Modell die zu betrachtenden besonderen Aspekte der Wirklichkeit richtig, bzw. so wie gewollt, beschreibt. Wie kann dann von den Ergebnissen der Simulation eine Übertragbarkeit auf die Wirklichkeit erwartet werden? Dieses Grunddilemma rechnergestützter Simulation ist nicht auflösbar, verweist aber auf eine Bedeutungsverlagerung der Simulation von den konkreten Ergebnissen zum Verfahren selbst.

Aus diesen Erfahrungen können einige methodische Konsequenzen gezogen werden:

1. Die Simulation kann ein geeignetes Mittel sein, um mit Komplexität umzugehen, ihr Hauptwert wird aber in dem experimentellen **Vorgehen** und nicht in den Einzelergebnissen oder gar einer optimalen Lösung gesehen.
2. Mit Hilfe der Simulation werden Modellvorstellungen expliziert und sind damit diskutierbar.
3. Bisherige rechnergestützte Simulation hat die Tendenz, Perspektiven zu verfestigen, einzuschränken und Alternativen durch Technik zuzudecken. Eine einmal mit unhandlichen und unanschaulichen Hilfsmitteln erzeugte Lösungsvariante erzeugt ein gewisses Beharrungsverhalten je aufwendiger es ist, diese Variante zu ändern oder gar grundsätzliche Alternativen anzugehen. Eine kybernetische Sicht der Wirklichkeit birgt darüberhinaus grundsätzlich die Gefahr des Verlustes an Mehrdeutigkeit, Unschärfe und Widersprüchen. Dieser Gefahr sollte in einem Reflexionsprozeß bewußt begegnet werden.
4. Die Ergebnisse der Simulation sind diskursabhängig und sind als solche auch auszuweisen.
5. Die Ergebnisse der Simulation sind erfahrungsabhängig. Makroskopische Wechselwirkungen (betriebsweit) können nur sinnvoll beschrieben werden, wenn sie an den konkreten Erfahrungsbereich der in den Betrieben Tätigen gekoppelt bleiben.
6. Simulationsmittel sollten unterschiedliche und durchgängige Ebenen der Abstraktion unterstützen, bei Auseinandersetzungen zur Klärung beitragen und Widersprüche aufdecken.

Bisher verfügbare Simulationsmittel sind für die Unterstützung dieser methodischen Anforderungen nur unzureichend geeignet und verlangen daher großes Mißtrauen bei ihrem Einsatz. Eine grundsätzliche Neugestaltung ist wünschenswert.

Diese Forderung führt zu einer Suche nach neuen Umgangsformen mit dem Rechner. Wie kann die Wirkung minimiert werden, wonach sich der Rechner, mit seinen an Tastatur und Bildschirm fesselnden, auf Einzelnutzer bezogenen Betriebsarten zwischen die Kommunizierenden drängt? Wie kann erreicht werden, daß die Nutzer im direkten Umgang kommunizieren und handeln, also von Angesicht zu Angesicht, den Rechner aber trotzdem unterstützend im Rücken haben? Wie kann verhindert werden, daß menschliches Handeln im Gestaltungsprozeß auf abstrakte

³Hier Verstanden als hochgradig vernetzt und nebenläufig (parallele Ursache-Wirkungsbeziehungen).

Denkprozesse reduziert wird? Die Beantwortung dieser Fragen kann nicht nur theoretisch erfolgen, sondern erfordert kritisierbare Prototypen (vgl. Bruns et al 1993). Was sind die ersten zu erwartenden Systeme? Ein *Labilbaukasten* mechanischer Elemente, mit dem stofflich experimentiert werden kann, wie mit einem traditionellen Stabilbaukasten, bei dem aber die Struktur des Systems und ihr dynamisches Verhalten durch das Vormachen einem im Rücken befindlichen Rechner mitgeteilt wird, von diesem analysiert, aufgezeichnet und interpretiert und vom Nutzer wiederholt und variiert werden kann (Abb. 6).

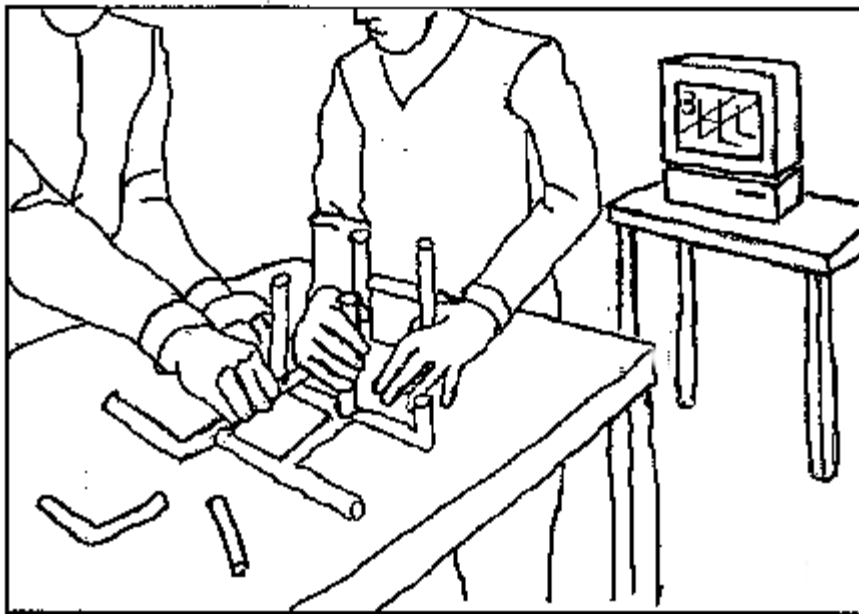


Abb. 6 : Den Rechner im Rücken

Wird Simulation nicht primär zweckorientiert im Sinne der Optimierung eingesetzt, so kann das übliche Verständnis von Simulation als Reduktion von Realität auf ein abstraktes Modell erweitert werden. Simulation als Fortsetzung des Spiels mit ernsterem Hintergrund kann realitätsbildend und konstruktiv sein. Der spielerische Umgang mit Vorhandenem fördert neue Ideen. Simulation übernimmt dann eine Übergangsrolle auf dem Weg zur Objektivität, über die kommuniziert werden kann: vom unbewußt dominierten Spiel über das plamäßige Experimentieren mit formalen Strukturen zum objektivierten Äußeren. Simulation könnte für den Einzelnen die Funktion eines Übergangs-OBJEKTES im psychoanalytischen Sinne haben (vgl. Winnicott 1971), also als ein Übergangsphänomen von inneren, unsicheren, unscharfen Gestaltungsphantasien zum sozial reflektierten, kritisierten und angenommenen Produkt.

Eine andere Erkenntnis aus dem Umgang mit komplexen technischen eingebetteten Systemen betrifft die Verifizierbarkeit und Validierbarkeit von Programmen. Es ist theoretisch zwar möglich, die Korrektheit von Programmen zu verifizieren, praktisch aber derzeit nicht in Sicht. Der Vorgang der Validierung, also des Feststellens, ob das, was gewollt wird, auch mit dem, was gesollt wird, übereinstimmt, ist formal unmöglich. Es ist ein diskursiver Prozeß, der den Gestaltungsprozeß möglichst eng begleiten sollte. Ich sehe den Wert der Simulation nicht so sehr in der Objektivität des Modells, als vielmehr in dem dadurch unterstützten kreativen, kommunikativen Probehandlungsakt. Als lohnenswerte interdisziplinäre Forschungsaufgabe erscheint die

Entwicklung einer Theorie des kommunikativen Probehandelns. In ihr wäre das konstruktive Verhältnis von "wildem" (Levi-Strauss 1962) zu wissenschaftlichem Denken weiter zu klären. Die Simulation, als bewußtes Experimentieren könnte hier eine sozialorientierte Brücke schlagen zwischen dem stark unbewußt, subjektiven Spiel und der objektivierten Außenwelt.

Das Ziel traditioneller Simulation ist es, größere Klarheit, analytische Schärfe, Problem- eingrenzung, Geschlossenheit und damit Sicherheit zu erzeugen. Die methodische Alternative ist, Simulation stärker als Suchmethode zu verstehen, um Fragen aufzuwerfen, Unschärfen zuzulassen, Offenheit und Unsicherheit zu erzeugen und zu ertragen. Nicht die Überprüfung von Ideen zum Zwecke der größeren Planungssicherheit, sondern die Ideenfindung steht im Vordergrund. Simulation kann das problematische Prinzip, Unsicherheit zu ertragen, unterstützen und damit zum flexibleren Denken und Umdenken führen. Sie würde damit einer Tendenz folgen, die in der Technikfolgenabschätzung, insbesondere der Szenariotechnik bereits eine größere Rolle spielt: nicht Objektivität erzwingen, sondern Ungewißheiten besser strukturieren und verstehen wollen (vgl. Müller 1993, Wiedemann 1991).

Literatur

- Bruns, F. W. (1993): Über die Rückgewinnung von Sinnlichkeit. artec-paper 19, Bremen
- Bruns, F. W., Heimbucher, A., Müller, D. (1993): Ansätze einer erfahrungsorientierten Gestaltung von Rechnersystemen für die Produktion. artec-paper 21, Bremen
- Dutke, S. (1994): Mentale Modelle: Konstrukte des Wissens und Verstehens. Verlag für Angewandte Psychologie, Reihe Arbeit und Technik, Band 4, Göttingen
- Laessoe, J., Rasmussen, L. B. (1989): Human-Centered Methods - development of Computer-Aided work processes. Esprit-projekt 1217(1199). Human-Centered CIM-systems, Deliverable R18. Institut for Samfundsfag, Danmarks Tekniske Hojskole, 1989
- Levi-Strauss, C. (1962): Das wilde Denken. Paris, Übers. Frankfurt am Main, 1968
- Luhmann, N. (1984): Soziale Systeme. Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main
- Müller, W. (1993): Technology Assessment: Hoffnungen und Realitäten. Wechselwirkung Nr. 60, S. 4-7
- Scheel, J., Bruns, F. W., Busekros, L., Frank, G., Heimbucher, A., Hofferberth, D. (1994): Simulation von Arbeit und Technik - Entwicklung, Implementation und Betrieb von Programmsystemen für Planung, Simulation und Animation im Fabrikbereich an der Hochschule Bremen, Abschlußbericht, PSA-Institut, Hochschule Bremen
- Verein Deutscher Ingenieure VDI (1989): Handlungsempfehlung: Sozialverträgliche Gestaltung von Automatisierungsvorhaben. VDI, Düsseldorf
- Verein Deutscher Ingenieure VDI (1992): Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen. VDI-Richtlinie 3633. Entwurf. VDI, Düsseldorf, S. 2
- Wiedemann, P. (1991): Ungewißheit besser verstehen. Szenariotechnik und Sozialverträglichkeit. Technische Rundschau Nr. 27, S. 28-34
- Wille, R. (1987): Bedeutung von Begriffsverbänden, in: B. Ganter, R. Wille, K. E. Wolff: Beiträge zur Begriffsanalyse, B.I.-Wissenschaftsverlag, Mannheim
- Winnicott, D. W. (1971): Vom Spiel zur Kreativität. Aus dem Engl. übers. von Michael Erdmann, 7. Aufl., Stuttgart, Klett-Cotta, 1993, Orig.: Playing and Reality, London, Tavistock Publications Ltd., 1971

