

Systems-Engineering und Simulation

Leitfaden zum Vorgehen

Verfasser: Peter P. Acél, Dr. sc. techn. ETH

Umfangreiche Fassung in: Methode zur Durchführung betrieblicher Simulationen,
Effiziente Optimierung der diskreten Simulation Peter Acél 1996

Erschienen in diversen weiteren Publikationen: Argesim Report a sim

Fortschrittsberichte Simulation Band 4, ISBN 3-901 608-54-0 Simulation – Ein Blick in
die Zukunft, Steigerung der Denkqualität in Produktion und Logistik, Zürich,
25. November 1992, BWI IFOR, ETH Zürich

I. Einleitung

Planung, Organisation und Steuerung von Unternehmen sind oft schwer durchschaubar und werden immer anspruchsvoller. Die Erfordernisse des Marktes verlangen eine grosse Variantenzahl bei kurzen Lieferfristen. Dies erfordert eine schlanke Produktion (Lean Produktion) mit kurzen Durchlaufzeiten und kleinen Losgrößen. Die Simulation liefert, besonders bei der Planung knapper Ressourcen, eine gute Unterstützung. Dabei ersetzt die Simulation den Planer nicht, sondern gibt ihm ein wirkungsvolles Hilfsmittel an die Hand.

Bei der Anwendung der Simulation gilt es nicht, ein schönes Resultat zu »erspielen«, gefällige Grafiken zu zeigen oder eine Animation vorzuführen. Für transparente Ergebnisse ist ein geordnetes Vorgehen notwendig.

Langjährige Industrieerfahrung im Umgang mit der Simulation hat gezeigt, dass die den Softwaretools beigelegten Vorgehensschemata bei grösseren Anwendungen in der Regel nicht ausreichen oder gar versagen. Der Grund dafür liegt in der mangelnden Transparenz für Aussenstehende. Das Ergebnis der Integration einer erprobten Vorgehensmethode zu Simulationsanwendung in die Methodik des Systems Engineering soll im Vortrag dargestellt werden.

II. Vorgehen in der Problemlösung

1. Systems Engineering (SE)

Die SE-Methodik ist eine auf bestimmten Denkmodellen und Grundprinzipien beruhende Wegleitung zur zweckmässigen und zielgerichteten Gestaltung komplexer Systeme. Sie stellt eine systematische Zusammenstellung vielseitiger Einsichten und Erfahrungen zur Lösung von Problemen dar.

Die Grundsätze der Methode sind:

- Grundlage Einheitliche Philosophie.
- Anwendung SE ist allgemein, nicht problemspezifisch.
- Inhalt: Systemgestaltung und Projekt-Management.
- Vorgehen Vom Ganzen zum Detail.
- Prinzip Denken in Systemvarianten.
- Unterstützung Baukasten mit methodischen Hilfsmitteln.

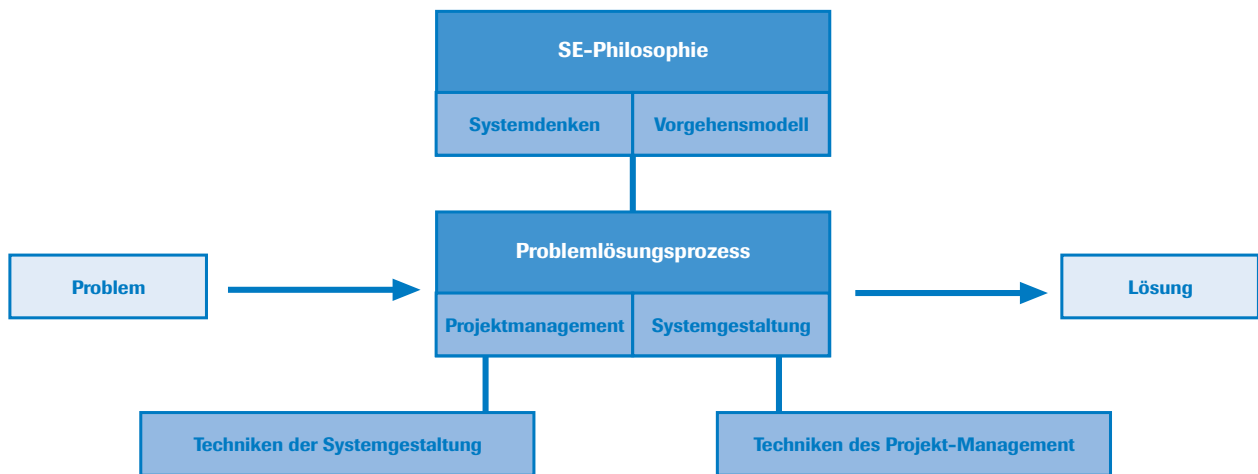


Bild 1 SE in geordneter Form als »SE-Männlein« 1

2. Projektlebensphasen

Das SE gliedert einen Prozess der Systemgestaltung im zeitlichen Ablauf. Entsprechend der unterschiedlichen Anforderungen ergeben sich verschiedene Projektlebensphasen.

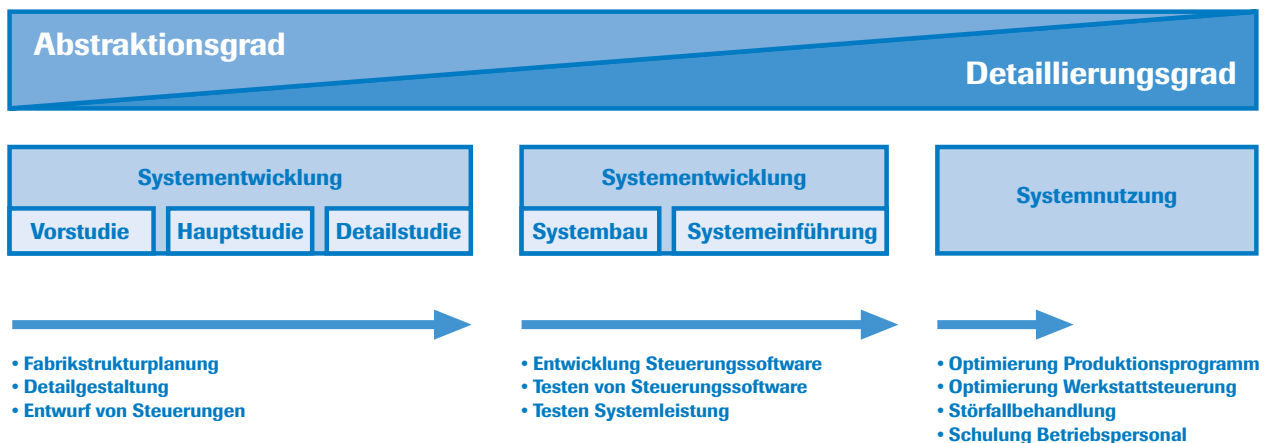


Bild 2 Projektlebensphasen

In Abhängig der Projektlebensphasen sind folgende Einsätze der Simulation zweckmässig:

- In der Vorstudie, begrenzt zur dynamischen Verifikation der IST-Analyse
- In der Hauptstudie, im Bereich der Systemgestaltung und der Variantenbildung
- Bei den Detailstudien, z.B. bei der Materialflussplanung
- Im Betrieb, bei der Mitarbeiterschulung und bei der Einlastungsplanung

3. Problemlösungszyklus

Der Problemlösungszyklus des SE stellt einen Leitfaden zur Lösung von Problemen dar. Er kann für Probleme jeglicher Art angewendet werden und kommt innerhalb jeder Lebensphase mehrmals zur Anwendung.

Als Grobgliederung des Problemlösungszyklus kann man folgende Vorgehensabschnitte abgrenzen:

- Zielsuche Was wollen wir?
- Lösungssuche Welche Lösungen gibt es?
Welche Eigenschaften weisen die Lösungen auf? (Hier greift die Simulation ein.)
- Auswahl Welche Lösung ist die geeignetste?

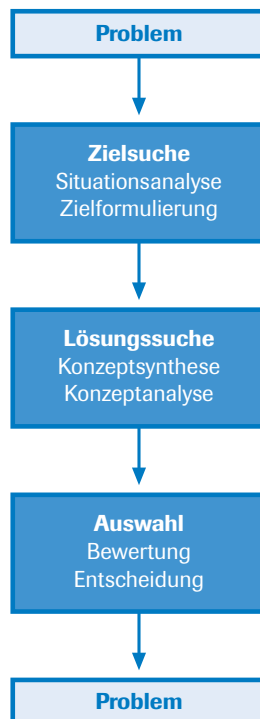
III. Vorgehen in der Simulationsanwendung

Das im Folgenden beschriebene Vorgehen zur systematischen Anwendung der diskreten Simulation ist an die Systems Engineering (SE)-Methodik des BWI der ETH Zürich angelehnt.

Der Einsatz der Simulation liegt schwerpunktmässig in der Phase der Konzeptanalyse des Problemlösungszyklus. Das Vorgehen ist interaktiv und hängt von der Art des Einsatzes sowie der Planungsthematik ab.

Ist die Simulation in ein grösseres Projekt eingebettet, so werden diverse Schritte im Rahmen des normalen Vorgehens abgewickelt.

Problemlösungszyklus nach Systems Engineering



Simulationsanwendung

Einsatzdefinition

Situationsanalyse
Zielformulierung

Problemabgrenzung
Versuchsplanung

Modellbau

Modellkonzeption
Datenerhebung

Modellerstellung
Verifizierung
Validierung

Simulationsläufe

Variation
Optimierung
Interpretation

Lösungsempfehlung

Dokumentation
Umsetzung

Bild 3 Vorgehen in der Simulationsanwendung im Rahmen des Problemlösungszyklus nach SE

1. Einsatzdefinition

Die Einsatzdefinition beinhaltet Abklärungen, die im Hinblick auf einen effizienten Einsatz der Simulation, vor Anwendung der Software, durchgeführt werden müssen.

1.1 Situationsanalyse

Eine Vorstudie entsprechend des SE deckt diesen Schritt, mit Ausnahme einzelner spezieller Simulationsaspekte, bereits ab.

Der erste Schritt bei einer Modellerstellung ist, das durch die Simulation zu lösende Problem zu definieren, zu formulieren und mit den übrigen Projektbeteiligten abzustimmen (Problemerkfassung).

Des Weiteren sind Strukturdaten zu erheben, die zur Problemabgrenzung und Einsatzdefinition benötigt werden. Eine umfassende Datenerhebung erfolgt erst später, wenn der Bedarf genau spezifiziert ist.

Ergebnis:

- IST-Situation analysiert,
- Problem formuliert,
- Betrachtungsbereich grob geklärt,
- Rahmenbedingungen bekannt.

1.2 Zielformulierung

Im Anschluss ist aus der Problemdefinition und den generellen Firmenzielen das Untersuchungsziel abzuleiten.

Als Ausgangspunkt für eine spätere Systemgestaltung ist ein Grobkonzept, ohne allzu feine Detaillierung, zu erstellen. Der Konkretisierungs- und Detaillierungsgrad wird mit fortschreitendem Projektstand stufenweise erhöht, was einem hierarchischen (top down) Vorgehen entspricht.

Dieser Schritt der Zielformulierung beinhaltet die Definition der relevanten Messgrößen (Beurteilungskriterien) für die Bewertung der Zielerreichung. Weiter gehören die erforderliche Auflösung des Modells (Detaillierungsgrad) und der Zeitinkremente (Diskretisierungsgrad) sowie die zu behandelnden Sonderfälle dazu.

Nach der Zielformulierung muss die Zweckmässigkeit eines Simulationseinsatzes kritisch beurteilt werden. Dabei ist zu prüfen, ob das gleiche Resultat nicht auch durch alternative, evtl. einfachere Methoden und Hilfsmittel zu erhalten ist.

Ergebnis:

- Simulationsziel formuliert,
- Entscheid Simulation ja/nein,
- Restriktionen bekannt,
- Potenzial und Nutzen ausgewiesen.

1.3 Problemabgrenzung

Das zu untersuchende System ist abzugrenzen. Die Schnittstellen zum Umsystem, mit denen das System kommuniziert und von denen es Input erhält, sind explizit zu definieren. Der zu betrachtende Bereich kann bei Bedarf in weitere Teile (Untersysteme) zerlegt werden.

Der Detaillierungsgrad im Modellinneren, die grobe Struktur sowie die Schlüsselemente müssen definitiv festgelegt sein. Diese Festlegungen hängen direkt mit der Zielsetzung und den geforderten Messgrößen zusammen.

Zur Problemabgrenzung bieten sich zwei ergänzende Wege an:

1. Schrittweise Einengen des Betrachtungsfeldes,
2. Abstrahierung des Systems bei der Umsetzung in das Modell.

Nach diesen Festlegungen muss die Notwendigkeit einer Simulation abermals kritisch anhand der Rahmenbedingungen untersucht werden.

- Es kann sein, dass die Lösung nach einer genauen Betrachtung und guter Strukturierung auf der Hand liegt;
- dass eine Lösung, infolge der Komplexität oder der restriktiven Rahmenbedingungen, nicht mit einem vertretbaren Aufwand zu finden ist;
- oder andere Methoden und Hilfsmittel sich besser eignen.

Ergebnis: • Fokussierung auf den Problembereich

1.4 Versuchsplanung

Die Simulation dient der Bewertung von Lösungsalternativen. Sie ist nicht selbstoptimierend, sondern erlaubt es dem Benutzer, durch eine Reihe von Modellexperimenten die Variante auszuwählen bzw. die Alternative aufzuzeigen, die seinen Vorstellungen am besten entspricht. Sie ist ein Denkverstärker oder eine Antwortmaschine, die – auf Basis von Experimenten – Datenmaterial (Antworten) zur Beurteilung liefert. Es ist sinnvoll und notwendig, das experimentelle Vorgehen soweit als irgend möglich im voraus explizit festzulegen. Um gezielt und schnell aussagekräftige Planungsdaten bzw. Ergebnisse zu erhalten, muss eine spezielle Versuchsplanung über Vorgehen und Art des Simulationseinsatzes erfolgen.

Eine spätere, gezielte Ausweitung der Experimente ist damit nicht ausgeschlossen. Wird aber keine Versuchsplanung durchgeführt, besteht die Gefahr, dass die Simulation zum zufallsgesteuerten trial and error wird.

Input			Output		Variante I						Variante II					
			3.000 Stk		4.000 Stk		2.000 Stk		3.000 Stk		4.000 Stk		2.000 Stk			
			DLZ	WiA	DLZ	WiA	DLZ	WiA	DLZ	WiA	DLZ	WiA	DLZ	WiA		
Losgrößenbegrenzung	nach Stückzahl,	1.000 Stk														
	Losgrösse max.	500 Stk														
		250 Stk														
Losgrößenbegrenzung	nach Arbeitsstunden	≤ 500 h														
Programmfertigung	Fertigungsrhythmus	2 Wochen														

Basis
 zu untersuchen
 entfällt
 DLZ / Durchlaufzeit
 WiA / Waren in Arbeit

Bild 4 Beispiel für einen Versuchsplan (ACÉL 1996)

Bei der Planung von Simulationsläufen ist darauf zu achten, dass vom Groben (Allgemeinen) zum Detail vorgegangen wird. Alternativen und Sensitivitätstests des Modells werden durch definitive, getrennte Varianten abgedeckt.

Ergebnis:

- Versuchsalternativen,
- Vorgehensreihenfolge.

2. Modellbau

Im zweiten Hauptschritt wird das Modell des zu untersuchenden Systems konzipiert, mittels des Softwaretools abgebildet und ausgetestet. Die anspruchsvollste Aufgabe bei der Simulation ist der Modellbau, d.h. die Schaffung einer aussagefähigen Nachbildung der Wirklichkeit.

Damit erhält man nach diesem Hauptschritt ein formal korrektes, fehlerfreies Grundmodell als Basis für die Simulationsabläufe.

2.1 Modellkonzeption

Ein Modell ist ein Abbild eines Systems zum Zwecke von Untersuchungen. Die Modellkonzeption verlangt eine eindeutige Zuordnung der Systemkomponenten zu den Modellelementen. Es muss strikt nach Elementen und Aktivitäten getrennt werden.

Die Modellierung ist eine hoch kreative Tätigkeit. Sie basiert sehr stark auf der generellen Planungserfahrung, der Abstraktionsfähigkeit und der speziellen Erfahrung mit dem Simulationstool. Man muss beachten, dass dabei die Schwierigkeit nicht in der prinzipiellen Machbarkeit liegt, sondern in der Aussagefähigkeit der Lösung im Verhältnis zum Aufwand.

Ein Hauptproblem bei der Modellerstellung besteht in der Anforderung, das Modell einerseits so einfach als möglich zu gestalten (Transparenz), andererseits alle für die Untersuchung wesentlichen Eigenschaften zu erfassen (Genauigkeit). Der daraus resultierende Konflikt verlangt einen Kompromiss, d.h. ein Abwägen zwischen einer hohen Realitätstreue und einem schnellen Lösungsweg.

Dieser Schritt sollte abgeschlossen sein, bevor gezielt die systemrelevante Datenbeschaffung begonnen wird. Dadurch erreicht man, dass alle erforderlichen Daten in einem Anlauf erfasst werden.

Ergebnis:

- Formales, abstraktes Modell

2.2 Datenerhebung

Die zu erhebenden Daten umfassen die Beschreibung der Systemkomponenten mit ihren Eigenschaften, Beziehungen und Kenngrößen für alle Lösungsvarianten. Dabei erweist es sich als hilfreich, einen typischen Zustand des Systems als Ausgangsbasis zu definieren. Sollen verschiedene Modellkonfigurationen untersucht werden, sind alle dafür notwendigen Daten zu erheben.

Der Aufwand für die Datenerfassung und -bereinigung ist nicht zu unterschätzen. Die Erfahrung zeigt, dass dieser Schritt bis zu 50% der insgesamt benötigten Zeit beanspruchen kann. Man ist dabei auf auswärtige Daten und oft auch auf plausible Annahmen angewiesen.

Bei der Datenerfassung ist zu beachten, dass die Ergebnisse der Simulation nicht besser sein können als die zugrunde liegenden Daten. Andererseits kann die Erfassungsgenauigkeit der Daten keine konzeptionellen oder strukturellen Fehler im Modell ausgleichen.

Ergebnis:

- Notwendige Ausgangsdaten in Varianten, über Struktur und die zeitverbrauchenden Elemente sowie über die Aktivitäten

2.3 Modellerstellung

Das Modell entsteht als computergerechte Übersetzung der Modellkonzeption mit Hilfe einer Simulationstools. Dieser Schritt ist der erste Software- und Rechnerkontakt im Vorgehen. Die Art der Umsetzung ist stark von dem verwendeten Simulationstool abhängig.

Gelingt es, die Modellkonzeption mit ihrer Struktur umzusetzen, ohne sie dabei wesentlich einzuschränken, kann mit der Modellverifikation begonnen werden.

Ergebnis:

- Simulationsmodell auf Rechner

2.4 Verifizieren

Das Verifizieren umfasst den internen Modellabgleich, d.h. Konsistenzprüfung der inneren Logik. In diesem Schritt wird das Modell auf semantische und syntaktische Fehler überprüft. Im Vergleich zu statischen Berechnungen wird untersucht, ob das Modell ausführbar ist und sich wie beabsichtigt verhält. Nicht nur das Ergebnis muss auf Plausibilität und Korrektheit des Verhaltens untersucht werden, sondern auch das Modell als Ganzes sowie alle Elemente im einzelnen.

Dieser Schritt erfordert einen kritischen, zum Teil manuellen Abgleich zwischen der Zielsetzung, dem Entwurf des Modells und dessen programmtechnischer Umsetzung. Je nach Simulationsprogramm sind diverse Plausibilitätstests toolmässig integriert, z.B. das Erkennen von unerreichbaren Maschinen oder widersprüchliche Prioritäten.

Nicht nachvollziehbare Sachverhalte müssen geklärt und gegebenenfalls behoben werden. Sie ergeben sich oft aus der zu wenig bekannten internen Arbeitsweise der Simulationstools mit ihrer sequenziellen Abarbeitung der einzelnen Vorgänge.

Ergebnis:

- Ausführbares, semantisch und syntaktisch fehlerfreies Rechnermodell

2.5 Validierung

Während im vorherigen Schritt die innere Logik des Modells überprüft wurde, umfasst das Validieren des Modells den externen Abgleich, d.h. es wird überprüft, ob das Modell die Wirklichkeit hinreichend genau nachbildet.

Bei bereits bestehenden Systemen gibt es folgendes Vorgehen: Als erstes wird die Struktur sowie die Arbeitsweise mit dem bestehenden System verglichen. Zweitens müssen die Input-, Output- und die kritischen Messgrößen mit den IST-Werten überprüft werden. Abweichungen kann man durch direkten Vergleich feststellen und im Rückgriff auf vorhergehende Schritte beheben.

Bei neu zu entwickelnden Systemen ist die Validierung umständlicher, da ein direkter Vergleich nicht möglich ist. In diesem Fall empfiehlt es sich, besonderen Wert auf den Schritt Verifizierung zu legen. Eine weitergehende Beurteilung erfordert grosse Erfahrung mit ähnlichen Produktionssystemen.

Ergebnis:

- Übereinstimmung der Modellaussagen mit dem betrachteten realen System geprüft,
- Basismodell für die Versuche

3. Simulationsläufe

Die folgenden Teilschritte – Variation, Optimierung, Interpretation – sind nicht zu trennen. Diese drei Teilschritte werden solange interaktiv durchlaufen, bis eine befriedigende, d.h. »gute« Lösung gefunden ist. Das beinhaltet eine stufenweise Variantenbildung, Optimierung und Auswahl bzw. Ausscheidung. Dabei wird vom getesteten Basismodell ausgegangen.

3.1 Variation

In diesem Teilschritt werden die im Versuchsplan festgelegten Alternativen simuliert. Das vorgesehene Vorgehen soll unbedingt eingehalten werden, um nicht in ein »wildes« Spielen abzugleiten. Es kann vorkommen, dass ergänzende Alternativen getestet werden müssen, z.B. bedingt durch zu beseitigende Engpässe, die nicht vorausgesehen wurden.

Ergebnis: • SOLL-Entwurf einer Variante.

3.2 Optimierung

Ist eine brauchbare Lösungsvariante gefunden, muss sie vor der definitiven Bewertung noch optimiert werden. Die Optimierung muss durchgeführt werden, um einen gleichwertigen Vergleich mit weiteren Varianten zu erhalten.

Dieser Teilschritt ist notwendig, da die Simulation nicht selbstoptimierend ist. Bei einem wahlfreiem Teile- oder Strategie-Input einen optimalen Output zu erhalten, ist mit heute auf dem Markt erhältlichen Softwaretools nicht möglich.

Für ganz spezielle Probleme existieren einige Optimierungsverfahren, entweder mathematisch geschlossen (analytisch) oder zunehmend regelbasiert. Eine generelle Lösung auf analytischer Basis gilt heute wegen der Vielfalt der Anwendungen als unmöglich.

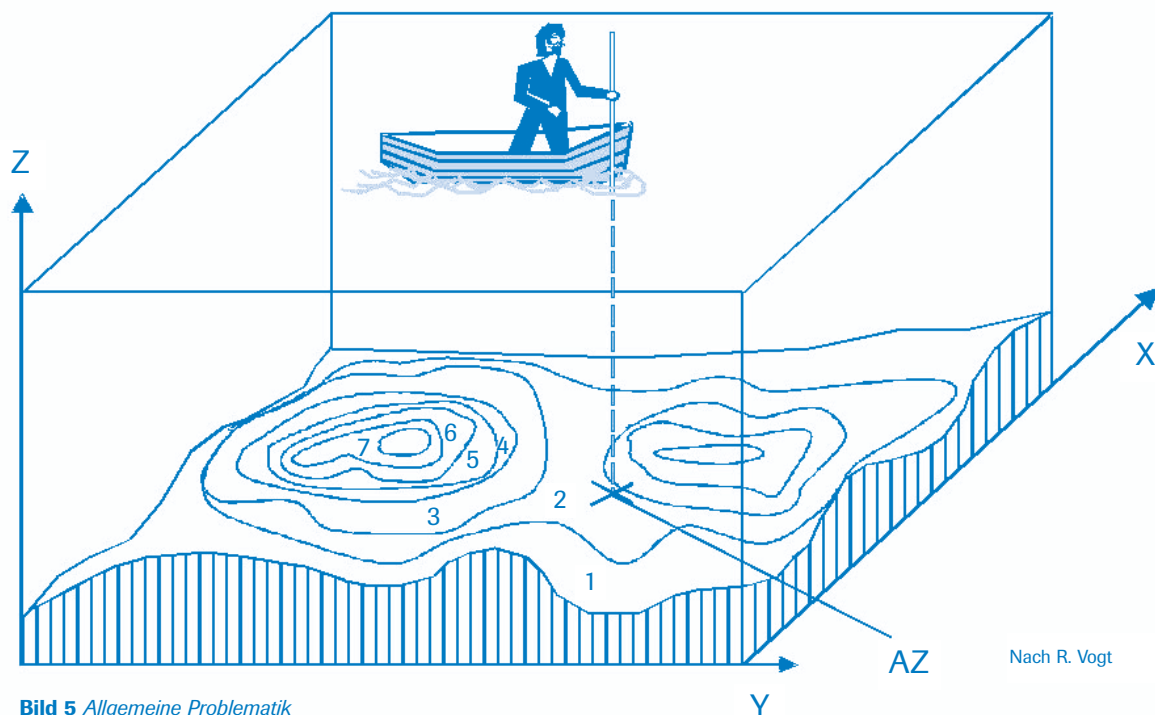


Bild 5 Allgemeine Problematik

In der heutigen Praxis hat sich das Vorgehen bei der Optimierung als ein zeitraubendes, aus der Erfahrung resultierendes und iteratives Vorgehen bezeichnet werden. Dabei wird das Modell nach gewissen Kriterien bezüglich Zielwerten (Messgrössen) optimiert.

Das Problem wird dadurch erschwert, dass bei Änderung von beliebigen Parametern auch das Modell ändert. Dies führt unter anderem zu Unstetigkeiten bei den Modellergebnissen.

Unter Optimum sei in diesem Zusammenhang nicht das mathematisch exakte, absolute Optimum verstanden, sondern eine »gute« Lösung, die mit vertretbarem Aufwand zu finden ist, die Randbedingungen erfüllt.

Ergebnis: • Optimum einer grundsätzlichen Lösungsvariante

3.3 Interpretation

Die Interpretation erfolgt bezüglich der Zielerfüllung (Messgrössen) und der Machbarkeit in:

1. technischer,
2. organisatorischer und
3. ökonomischer Hinsicht

Ergebnis: • Eine inhaltlich korrekte Lösungsalternative.

3.4 Iteration

Die Wiederholung ist kein eigentlicher Schritt der Vorgehensmethode. Die vorherigen drei Teilschritte müssen mindestens so oft wiederholt werden, bis der Versuchsplan abgearbeitet und Varianten gefunden sind, welche die Vorgaben optimal erfüllen. Darüber hinaus ist darauf zu achten, dass am Schluss mehrere Varianten zur Auswahl vorliegen sollten.

Bieten sich während der Simulation zusätzliche planungsrelevante Alternativen an, so sind diese im Anschluss an die ursprüngliche Versuchsreihe zu überprüfen. Sind die Varianten unbefriedigend, oder ist ihre Zahl nicht ausreichend, so sind gegebenenfalls die Rahmenbedingungen und die Zielsetzungen zu überprüfen.

Alle Lösungen, welche die Anforderungen erfüllen und umsetzbar sind, werden als »gut« im Sinne der Aufgabenstellung bezeichnet.

Eine integrale Bewertung verschiedener Varianten erfolgt erst im Rahmen der Entscheidungsphase des übergeordneten Projektes. Die Simulationsstudie liefert die Lösungsempfehlungen.

Ergebnis: • Vergleichbare Lösungsalternativen

4. Lösungsempfehlung

Dieser Hauptschritt bildet den Abschluss oder gegebenenfalls den Zwischenabschluss einer Simulationsstudie.

4.1 Dokumentation

Die gewählten Varianten müssen so aufbereitet und dokumentiert sein, dass sie als Entscheidungsgrundlage dienen und eine Lösung real und eindeutig in ein bestehendes oder geplantes System implementiert werden kann. Dabei ist die Transparenz des Lösungsweges ein Qualitätsmerkmal.

Ergebnis: • Entscheidungsfähige Unterlagen mit einer Vorauswahl verschiedener Lösungsvarianten.

4.2 Umsetzung

Bei der Umsetzung bzw. Realisierung kann ein einmal erstelltes Modell helfen, Fehler, Missverständnisse und damit Zeitverluste zu vermeiden. In der Einführung kann man es evtl. zu Mitarbeiter-Schulung heranziehen und im Betrieb zur strategischen oder, je nach Softwaretool, zur direkten Steuerung verwenden.

Ergebnis: • Weitere Verwendung des Simulationsmodells.

IV. Kosten / Nutzen

Auf den grossen Nutzen der Simulation wird in anderen Vorträgen eingegangen. Deshalb beschränke ich mich auf zwei Hinweise.

Es ist zu bedenken, dass die computerunterstützte Simulation nicht nur einen Nutzen bringt, sondern auch Aufwand verursacht [Bild 6]

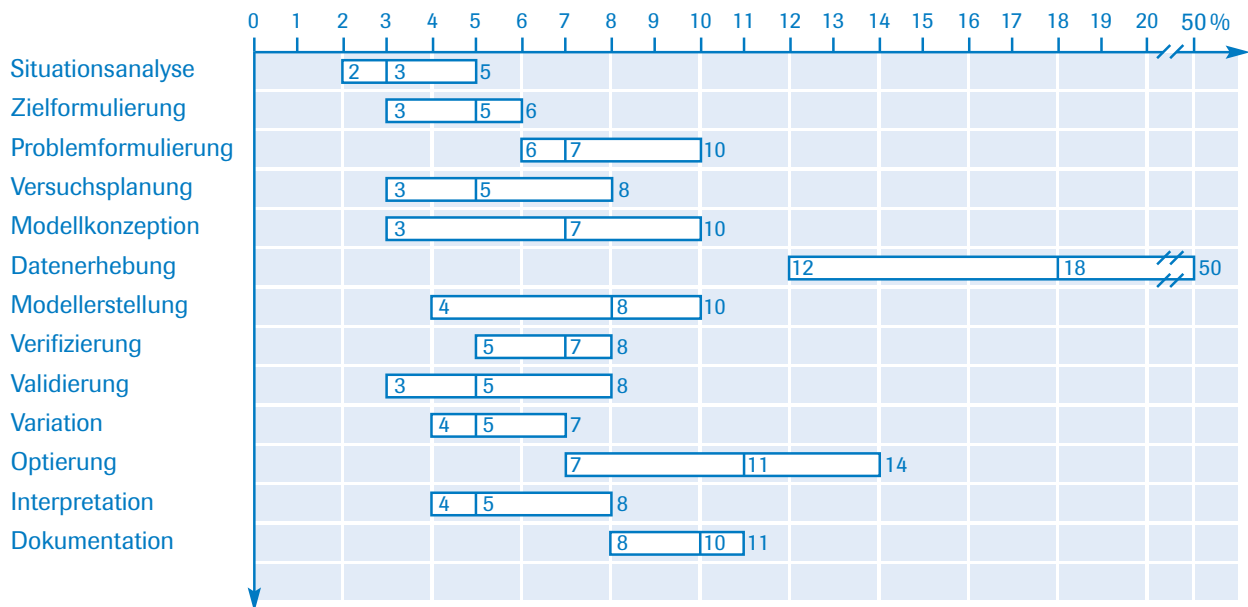


Bild 6 Aufwandsverteilung beim Simulationseinsatz

Zum Scheitern von Projekten oder der Umsetzung führt oft mangelnde Akzeptanz von Betroffenen und/oder den Entscheidungsträgern. Nach Woolsey und Swanson gilt: »Ein Mensch wird eher bereit sein, mit einem Problem zu leben, das er nicht zu lösen vermag, als eine Lösung anzunehmen, die er nicht versteht.«

Deshalb: »Simulation ist Aufwand, der Nutzen darf nicht Zufall sein!
Simulation muss für Betroffene verständlich sein.«

Literaturangaben

- BÜCHEL A. »Betriebswissenschaftliche-Methodik«, ETH / BWI Skript 1990 und DAENZER W.F., HUBER F. Hrsg., »Systems Engineering: Methodik und Praxis«, 7. Auflage, Verlag Industrielle Organisation Zürich, 1992
- HUBER PH., Stiftung für Forschung und Beratung am Betriebswissenschaftlichen Institut der ETH Zürich, BT. Produktion und Logistik
- ACÉL P. Auszug aus einem internen, unveröffentlichten Dokument einer Forschungsarbeit an der Stiftung für Forschung und Beratung am Betriebswissenschaftlichen Institut der ETH Zürich, Abt. Forschung
- ACÉL P. Metzler V., Anwenderkongress: Computer Aided Technologies CAT'87 in Stuttgart, Vortrag »Simulation – Mittel für die Planung und Steuerung einer Fabrik«, Tagungsband und Maschinen Anlagen Verfahren mav Sept. 1987, Sonderteil Schweizerische Spitzentechnologie »Computersimulation«.
- ACÉL P. 1996: »Methode zur Durchführung betrieblicher Simulationen – Effiziente Optimierung der diskreten Simulation«, Dissertation ETH, Selbstverlag, Zürich
- ACÉL P., HRDLICZKA V. 1996: »Simulation in der Produktion«, Vorlesungsunterlagen BWI ETH, Zürich
- ACÉL P. 1995: »Effizient simulieren«, Tagungsband zweiter Tag: Innovation durch Simulation – Praxis, Methodik und Werkzeuge, Hrsg. BWI/IFOR ETH, Zürich, 9. März 1995
- ACÉL P. 1992: »Systems Engineering und Simulation«, Tagungsband: Simulation – Ein Blick in die Zukunft, Hrsg. BWI/IFOR ETH, Zürich, 25. Nov. 1992
- HABERFELLNER R., NAGEL P., BECKER M., BÜCHEL A., V. MASSOW H. 1992: METZLER V., ACÉL P. 1987: »Simulation – Mittel für die Planung und Steuerung einer Fabrik«, Tagungsband CAT87, Computerunterstützte Technologien in der Fertigungs-Industrie, 3. Internationale Fachausstellung und Anwenderkongress, Stuttgart
- Zweitveröffentlichung: »Computer-Simulation, Mittel für die Planung und Steuerung einer Fabrik«, Rubrik Schweizer Spitzentechnik, mav (Maschinen Anlagen Verfahren), September 1987
- VOGT R. 1981: »Individuelle, innovative Problemlösungsprozesse«, Haag + Herchen-Verlag, Frankfurt/Main
- 1 HABERFELLNER et. al. 92, BÜCHEL 90
- 2 HABERFELLNER et. al. 92, BÜCHEL 90
- 3 ACÉL 96, ACÉL 92
- 4 Vgl. METZLER, ACÉL 87, S. 238. Diese Aussage trifft auch noch heute zu.
- 5 Vogt 81, S. 260