

Simulation¹

Stephan Hartmann

Simulation (von lat. *simulare*, engl. *simulation*, franz. *simulation*, ital. *simulazione*), Bezeichnung für die Nachahmung eines Prozesses durch einen anderen Prozeß. Beide Prozesse laufen auf einem bestimmten System ab. Simuliertes u. simulierendes System (der Simulator in der Kybernetik) können dabei auf gleichen oder unterschiedlichen Substraten realisiert sein.

Wird ein System mathematisch simuliert, so spricht man von einer theoretischen S.; ist das betreffende simulierende System ein Computer, von einer Computers.; eine experimentelle S. liegt vor, wenn ein (nicht notwendigerweise materialer) Prozeß durch einen materialen Prozeß nachgeahmt wird.

Ein Beispiel für eine experimentelle S. ist die S. evolutionärer Mechanismen, wie sie etwa von der Gruppe um M. Eigen im Labor studiert werden („Evolutionsreaktor“). Dabei wird das Ziel verfolgt, mit dem gleichen Substrat (Aminosäuren etc.) Abläufe in der frühen Evolution künstlich nachzuvollziehen. Bei Windkanalsimulationen mit Autoattrappen ist das simulierende System zwar ebenfalls material, aber – z.B. aus pragmatischen Gründen – nicht unbedingt aus demselben Stoff wie das simulierte System.

Grundlage einer theoretischen S. ist ein dynamisches Modell, welches neben Spezifikationen der statischen Eigenschaften des zu simulierenden Systems auch Annahmen über dessen Zeitentwicklung einschließt. Zum genauen Verhältnis von simuliertem u. simulierendem System vgl. die entsprechenden Ausführungen unter Modell (dazu auch Analogie).

Folgende Typen von theoretischen S.en werden unterschieden.

1. *Deterministische bzw. stochastische S.en*: Im Gegensatz zu deterministischen S.en (Determinismus) wird bei stochastischen S.en das Element des Zufalls explizit mit berücksichtigt. Dieser Zufall mag entweder Ausdruck unseres Nichtwissens (wie z.B. in den Sozialwissenschaften) oder ontologischer Natur sein (wie in der Quantenmechanik).

¹ In: J. Mittelstraß (Hg.), *Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie*, Vol. 3, Stuttgart: Metzler 1995, 805-807.

2. *Kontinuierliche bzw. diskrete S.en*: Bei einer kontinuierlichen S. wird die zugrundeliegende Raumzeitstruktur sowie die Menge der Systemzustände als kontinuierlich angenommen; das entsprechende Modell ist dann in der Sprache der Differentialgleichungen (Differentialgleichung) formuliert. Bei einer diskreten S. wird die Raumzeit in distinkte Zellen eingeteilt. Auch die Menge der möglichen Systemzustände ist dabei diskret. Hier finden zelluläre Automaten (Automat, Automatentheorie) Verwendung. Dabei ergibt sich der Zustand einer jeden Zelle zum Zeitpunkt t_{i+1} aus dem Zustand der Nachbarzellen zum Zeitpunkt t_i nach individuell vorgebbaren Regeln. Zelluläre Automaten stehen in engem Zusammenhang zu spieltheoretischen S.en (Spieltheorie), die in den Sozialwissenschaften vielfach studiert werden. Aber auch in den Naturwissenschaften werden zelluläre Automaten im Bereich der nichtlinearen Phänomene intensiv studiert (S. Wolfram). Tatsächlich wird auch bei der numerische Integration von Differentialgleichungen mit einer endlichen Orts- u. Zeitauflösung gearbeitet; Ziel ist es dort aber immer, zum Grenzfall verschwindender Auflösung zu extrapolieren.

Theoretische S.en zeichnen sich durch ihre Multifunktionalität im Forschungsprozeß der verschiedenen Wissenschaften aus (sogar Philosophen bedienen sich der neuen Methode, etwa in der Moralphilosophie). Nicht jede der im folgenden diskutierten Funktionen gilt deshalb für alle S.en. Viele davon resultieren unmittelbar aus den Vorzügen leistungsfähiger Computer, auf denen S.en oft ablaufen.

1. Bestimmung der Zeitentwicklung eines Systems. Ist das betrachtete System so komplex, daß exakte mathematisch-analytische Methoden unzureichend sind bzw. ggf. eingeführte Näherungen relevante Effekte zum Verschwinden bringen, so stellen Computers. oftmals das einzige Werkzeug dar, um etwas über die detaillierte Dynamik des Systems zu lernen. Die Chaostheorie zeigt, daß nichtlineare Systeme qualitativ Neues hervorbringen (z.B. seltsame Attraktoren). Diese Effekte treten erst dann auf, wenn die entsprechenden Gleichungen direkt auf dem Computer gelöst werden. Aufgrund der Möglichkeit, Gleichungen ohne weitere Näherungen zu lösen, dienen Computers. auch dazu, Modelle u. Theorien zu testen. Manchmal spricht man auch im Zusammenhang von mathematisch-statistischen Verfahren von S.en (z.B. Monte-Carlo-S.) Dabei handelt es sich jedoch allein um effiziente Algorithmen, die ein einzelnes Resultat (etwa den Wert eines Integrals) durch "Dynamisierung" (Wählen von Zufallszahlen, Mittelungen etc.) des Problems liefern.

2. Entwicklung von Hypothesen, Modellen u. Theorien. Durch eine möglichst umfassende Durchmusterung des Parameterbereiches des zugrundeliegenden Modells läßt sich ggf. auf einfache funktionale Beziehungen schließen, die man im nächsten Schritt entweder analytisch aus dem

Modell zu deduzieren versucht oder als Annahme eines einfacheren Modells oder einer Theorie verwenden kann.

3. Ersatz von Experimenten. S.en ersetzen reale Experimente, wenn die grundlegenden Gesetze bekannt sind u. pragmatische Überlegungen die Durchführung realer Experimente ausschließen. So simulieren Chemiker den Ablauf aufwendiger Reaktionen u. Physiker vollziehen die mehrere Millionen Jahre dauernde Entwicklung eines Sternes in wenigen Minuten auf dem Computer nach. Diese Praxis unterstützt die zuweilen geäußerte These, Simulieren sei eine neuartige Methode, die weder dem Experiment noch der Theorie zuzuordnen ist; S.en werden aber auch eingesetzt, wenn reale Experimente unmöglich sind. So wird etwa kontrafaktisch untersucht, welche Konsequenzen eine Veränderung der Naturkonstanten mit sich bringt (dazu auch ↑Prinzip, anthropisches). Wichtig ist jedoch immer, daß es unabhängige Gründe gibt, die vorausgesetzten Gesetze u. Annahmen für richtig zu erachten.

4. Unterstützung von Experimenten. Insbesondere in der Physik werden S.en dazu verwendet, die Auswertung u. Interpretation von Experimenten zu ermöglichen. Hochenergiephysiker simulieren z.B. die Empfindlichkeit von Nachweisdetektoren, um später im Anschluß an reale Experimente Rückschlüsse auf die Häufigkeit der betreffenden Reaktionsprodukte zu erhalten. Auch ist es möglich, mit Hilfe von S.en Effekte aufgrund bekannter, erwarteter Wechselwirkungen von denen zu trennen, die auf noch unbekannte, neue physikalische Mechanismen zurückzuführen sind.

5. Unterstützung in Ausbildung u. Lehre. Durch aktives Simulieren einschlägiger Prozesse soll ein Verständnis dieser Vorgänge erleichtert bzw. eigenes Handeln trainiert werden (S. von Aktienbörsen, Pilotentraining, Mediziner Ausbildung). Ein wesentliches Moment ist hier die unmittelbare Anschaulichkeit einer Computers. sowie die Möglichkeit, diverse Parameter schnell zu variieren.

Es gibt aber auch einige Nachteile von S.en, auf die hier aufmerksam gemacht werden sollte:

1. Oftmals kann eine S. nur für einen bestimmten Parametersatz durchgeführt werden. Man lernt also nur etwas über einen sehr kleinen Ausschnitt des Anwendungsbereichs des Modells. Darüber hinaus kann die Brauchbarkeit bestimmter Parametersätze meistens nur im trial-and-error Verfahren ermittelt werden. Dieser Nachteil wird aber z.T. durch Verwendung leistungsfähiger Computer ausgeglichen.

2. Mit der Verfügbarkeit schneller Computer wächst allerdings auch die Gefahr, das zugrundeliegende Modell immer komplizierter zu gestalten, um dessen empirische Adäquatheit zu erhöhen. Durch Hinzufügen weiterer Terme, die gewöhnlich zusätzliche neue, an gegebene Daten

anzupassende freie Parameter enthalten, wird das Modell so schließlich immer weniger widerlegbar; darüber hinaus nimmt bei diesem Vorgehen das intuitive Verständnis der studierten Prozesse stark ab. Durch eine Analyse der relativen Gewichtung der einzelnen Beiträge können aber auf diese Weise später auszuführende Näherungen bzw. Idealisierungen des Modells motiviert werden.

In der *philosophy of mind* wird der Begriff S. im Zusammenhang mit der Explikation kognitiver Eigenschaften, wie Sprache, Verhalten oder Intelligenz, verwendet. So wird z.B. darüber gestritten, was es bedeutet, daß ein Computer gewisse Leistungen des menschlichen Geistes simulieren kann. Wann handelt es sich etwa um wirkliche Intelligenz u. wann ist es „nur“ eine S. von Intelligenz? Eine wichtige Rolle wird in Zukunft auch die philosophische Auseinandersetzung mit den Programmen zur Erzeugung einer Virtuellen Realität (Cyberspace) spielen. Dabei geht es um eine S. sensorischer (z.B. visueller u. akustischer) Reizungen des Menschen. Im Gegensatz zu den S.en in der Wissenschaft ist der Mensch in diesem Fall selbst Teil der S..

Literatur

- V. Aldrich, Behaviour, Simulating and Nonsimulating, *J. Philos.* 63 (1966), 453-457.
- D. Anderson, Is the Chinese Room the Real Thing?, *Philos.* 62 (1987), 389-393.
- K. Binder/D.W. Heermann, *Monte Carlo Simulation in Statistical Physics. An Introduction*, Berlin/Heidelberg 1988.
- M. Bunge, Analogy, Simulation, Representation, *Rev. int. philos.* 87 (1969), 16-33.
- P.M. Churchland/P.S. Churchland, Could a Machine Think?, *Sci. Amer.* 262(1) (1990), 26-31 (dt. Ist eine denkende Maschine möglich?, *Spektrum der Wissenschaft* 3/90, 47-54).
- M. Eigen, *Stufen zum Leben. Die frühe Evolution im Visier der Molekularbiologie*, München 1987.
- N. Gilbert/J. Dunan, *Simulating Societies: Computer Simulations of Social Phenomena*, London 1994.
- R. M. Gordon, Folk Psychology as Simulation, *Mind and Language* 1 (1986), 148-171.
- H. Guetzkow/P. Kotler/R.L. Schultz, *Simulation in Social and Administrative Science. Overviews and Case-Examples*, Englewood Cliffs (N.J.) 1972.
- S. Hartmann, The World as a Process. Simulations in the Natural and Social Sciences, in: R. Hegselmann/U. Müller/K. G. Troitzsch (eds.) 1996.

- R. Hedrich, Komplexe u. fundamentale Strukturen. Grenzen des Reduktionismus, Mannheim 1990, Kap. 7.3.
- R. Hegselmann/U. Müller/K.G. Troitzsch (eds.), *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*, Theory and Decision Library, Dordrecht 1996.
- M. Heim, *The Metaphysics of Virtual Reality*, New York 1993.
- P. Humphreys, Computer Simulations, in: A. Fine/M. Forbes/L. Wessels (eds.), *PSA 1990*, Vol. 2, East Lansing 1991, 497-506.
- P. Humphreys, Numerical Experimentation, in: ders. (ed.), *Patrick Suppes: Scientific Philosopher*, Vol. 2, Dordrecht 1994, 103-121.
- P. Humphreys, Computational Empirism, *Foundations of Science*, Vol. 1 (1995), 119-130.
- W.J. Kaufmann/L. L. Smarr, *Supercomputing and the Transformation of Science*, New York 1993 (dt. *Simulierte Welten*, Heidelberg 1994).
- D.H. Meadows/D.L. Meadows/J. Randers, *Beyond the Limits. Global Collapse or a Sustainable Future*, London 1992 (dt. *Die neuen Grenzen des Wachstums. Die Lage der Menschheit: Bedrohung u. Zukunftschancen*, Stuttgart 1992).
- T. Metzinger, *Subjekt u. Selbstmodell. Die Perspektivität phänomenalen Bewußtseins vor dem Hintergrund einer naturalistischen Theorie mentaler Repräsentation*, Paderborn 1993.
- G.A. Mihram, Simulation Methodology, *Theory and Decision* 7 (1976), 67-94.
- F. Rohrlich, Computer Simulations in the Physical Sciences, in: A. Fine/M. Forbes/L. Wessels (eds.), *PSA 1990*, Vol. 2, East Lansing 1991, 507-518.
- J. Searle, Is the Brain's Mind a Computer Program? *Sci. Amer.* 262(1) (1990), 20-25 (dt. Ist der menschliche Geist ein Computerprogramm?, *Spektrum der Wissenschaft* 3/90, 40-47).
- H.A. Simon, *The Sciences of the Artificial*, Cambridge, Mass. 1969, ²1981.
- W. Todd, The Use of Simulations in Analytic Philosophy, *Metaphilos.* 8 (1977), 272-297.
- R. Trenholme, Analog Simulation, *Phil. Sci.* 61 (1994), 115-131.
- S. Wolfram, *Cellular Automata and Complexity*. Collected Papers, Reading 1994.