

# I. ÜBERBLICK – WISSENSCHAFTLICHES RECHNEN

## 1. Simulation als neue Methode

Bevor die Simulation als neues Symbolsystem untersucht wird, soll zuvor die Bedeutung der Simulation für die Naturwissenschaften skizziert werden. Denn als neue Methode erweitert sie aktuell die traditionellen Methoden der Theorie und des Experiments. Der Begriff Simulation kann sich dabei auf verschiedene Bereiche beziehen, denn im naturwissenschaftlichen Kontext wird zwischen der theoretischen Simulation mathematischer Systeme, der experimentellen Simulation materialer Systeme im Labor und der Computersimulation unterschieden. Während experimentelle Simulationen die materiale Beschaffenheit des simulierten Systems oder zumindest deren konstitutiven Eigenschaften erhalten, basieren theoretische Simulationen auf rein symbolischen Modellen. Diese können deterministisch, probabilistisch oder stochastisch, kontinuierlich oder diskret sein.<sup>1</sup> In der Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie wird darauf hingewiesen, daß theoretische Simulationen mit Hilfe des Computers ausgeführt (numerische Simulation) zur Darstellung der Zeitentwicklung von Systemen dienen, „... die so komplex sind, daß exakte mathematisch-analytische Methoden scheitern ...“,<sup>2</sup> daß sie zunehmend eine heuristische Rolle in den Wissenschaften spielen und darüber hinaus reale Experimente ersetzen. In diesem wissenschaftlichen Umfeld wird die Simulation als ein Verfahren der theoriegestützten Deduktion betrachtet, deren Geltung aus der Korrektheit der Annahmen sowie der Zuverlässigkeit der Ableitungsverfahren resultiert.<sup>3</sup> Die VDI Richtlinie 3633 beschreibt die Simulation als „... das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.“<sup>4</sup>

Die numerische Simulation findet neben der Mathematik in jenen Wissenschaftsbereichen Anwendung, die eine Mathematisierung ihrer Theorien vorweisen, wie etwa in der quantitativen Soziologie, der Chemie oder der Physik.<sup>5</sup> Als Ort des Simulationsgeschehens dienen in der Regel Institutionen

---

<sup>1</sup> Eine andere Einteilung schlägt Friedemann Mattern vor: ereignisorientierte -, transaktionsorientierte -, prozeßorientierte -, zeitgesteuerte- und stochastische Simulation. [Quelle 2: Mattern, F.: Modellbildung und Simulation, 1995, S. 4f]

<sup>2</sup> Blasche, S./Mittelstraß, J. (Hg.): Enzyklopädie Philosophie und Wissenschaftstheorie, 1995, Bd.3, S. 808

<sup>3</sup> Allerdings ist die theoriegestützte Deduktion im strengen Sinne nur für lineare Systeme möglich. Im Bereich nichtlinearer Systeme kommen Heuristiken hinzu.

<sup>4</sup> Zitiert nach [Quelle 2: Mattern, 1995, S. 1]

<sup>5</sup> Das Spektrum der Simulationen zeigt sich exemplarisch im Jahresbericht des Höchstleistungsrechenzentrums HLRZ Jülich für die Jahre 1992 und 1993: Es werden 81 Projekte aus der Vielteilchenphysik, 25 Projekte aus der Elementarteilchenphysik, 38

der Angewandten Mathematik mit angeschlossenen Rechenzentren.<sup>6</sup> Seit den 50er Jahren hat sich die Bezeichnung des *Wissenschaftlichen Rechnens* (scientific computing) für die Methode der numerischen Simulation durchgesetzt. Und bereits 1954 wies John von Neumann in seinem in Deutschland gehaltenen Vortrag *Entwicklung und Nutzung neuerer mathematischer Maschinen* auf die Bedeutung des Wissenschaftlichen Rechnens hin.<sup>7</sup> Diese neueren mathematischen Maschinen müssen leistungsstarke Großrechner sein, die sich in ihrer Architektur und Software grundlegend von gängigen PCs unterscheiden.<sup>8</sup>

Um die entsprechenden Programme für die Simulation einer spezifischen Aufgabenstellung zu schreiben, bedarf es etlicher Monate, meist Jahre der Vorbereitung.<sup>9</sup> An diesem Prozeß sind in interdisziplinärer Zusammenarbeit Naturwissenschaftler, Mathematiker und Informatiker beteiligt. Beginnend mit der Formalisierung der theoretischen Grundlagen des Objektbereiches und der Ausarbeitung der mathematischen Modellierung, folgt die Strukturierung des Berechnungsgitters, die Diskretisierung der Gleichungen sowie die Formulierung der Algorithmen und Programme.<sup>10</sup> Schließlich kann die Berechnung für ausgewählte Werte der Parameter, Anfangs- und Randbedingungen beginnen, die sich an experimentellen Befunden oder theoretischen Annahmen orientieren. Zu guter Letzt werden die umfangreichen Berechnungsdaten ikonisch visualisiert, denn aufgrund der Masse der Daten bieten diese Bilder einen wichtigen Zugang zu den Simulationsergebnissen. Typische Zielrichtungen der Simulation sind dabei die Prognose von Systemverhalten sowie in technischen Kontexten deren Optimierung, die Validierung von Systemen, die Überprüfung von Theorien, die Veranschaulichung von Zusammenhängen sowie die Trainingsunterstützung in diversen Ausbildungsbereichen.<sup>11</sup> Die Simulation bietet Einsichten in Bereiche, die zu klein oder zu groß, zu schnell oder zu langsam, zu gefährlich oder aus ethischen Gründen experimentell nicht zugänglich sind.

---

Projekte aus der Chemie, 14 Projekte aus der Strömungsforschung, 11 Projekte der Nichtlinearen Dynamik, 14 Projekte aus der Astrophysik, 22 Projekte aus der Kernphysik, Geophysik/Meteorologie, Plasmaphysik und sonstiger Gebiete, aufgelistet. Kremer, M. (Hg.): Supercomputing Center '94, HLRZ Jülich, 1994

<sup>6</sup> Führende Institutionen in Deutschland sind beispielsweise das ZAM-Zentralinstitut für Angewandte Mathematik im Forschungszentrum Jülich oder das SCAI-Institut für Algorithmen und Wissenschaftliches Rechnen der GMD-Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung in St. Augustin. Beide unterhalten als Partner das HLRZ-Höchstleistungsrechenzentrum, das Großrechner an verschiedenen Standorten mit Hilfe von Datenleitungen verbindet.

<sup>7</sup> Vgl. Hoßfeld, F.: Partielle Differentialgleichungen: Die permanente Herausforderung, 1996, S. 1f. John von Neumann hat nicht nur entscheidende Arbeiten zur sogenannten von-Neumann-Architektur der Computer geleistet, sondern auch die Methode der numerischen Simulation durch die Entwicklung des Differenzenverfahrens (von-Neumann Methode) auf den Weg gebracht.

<sup>8</sup> In der Regel werden Parallelrechner oder Vektorrechner verwendet, wohingegen PCs seriell arbeitende Rechner sind. Weltweit gibt ein Ranking der Großrechner den aktuellen Stand der Technologie in der computergestützten Forschung wieder. [Quelle 3: Meuer, H.-W.: Top 500, 1998]

<sup>9</sup> Dies hat zur Folge, daß fertiggestellte Simulationen, wenn sie zum Einsatz kommen, in ihren mathematischen und algorithmischen Methoden bereits veraltet sind.

<sup>10</sup> Die Triade Modell – Algorithmus – Programm bildet das Kernstück der numerischen Simulation. Helmut Neunzert bezeichnet diese als die „MAP der Wirklichkeit in Computern“. Neunzert, H.: Mathematik und Computersimulation: Modelle, Algorithmen, Bilder, 1995, S. 50

<sup>11</sup> Beispiele wären die Wettervorhersage, die Optimierung von Materialbelastungen, die Validierung von Schaltungen oder die Flugsimulation zu Trainingszwecken.

In den Blick der Öffentlichkeit dürften Computersimulationen erstmals mit den sozialwissenschaftlichen Simulationen der 60er und 70er Jahre gerückt sein.<sup>12</sup> Die spektakulären Szenarien zu Fragen der Weltsituation sowie der aufkommende Planungswille in der Politik fanden in den beiden Studien des Club of Rome *Die Grenzen des Wachstums* (Forrester/Meadows) und *Menschheit am Wendepunkt* (Mesarovic/Pestel) ihren Ausdruck.<sup>13</sup> Ziel war es, quantifizierbare Größen wie Rohstoffressourcen oder Energieverbrauch für die Zukunft anhand gegebener Gleichungssysteme zu berechnen.<sup>14</sup> Die Simulation wurde und wird in diesem Bereich als Prognose- und Planungsinstrument eingesetzt und rückte Auguste Comtes Idee einer *sozialen Physik* in greifbare Nähe.<sup>15</sup> Doch bei aller Euphorie gegenüber den Möglichkeiten der neuen Methode zeigte sich schnell, daß Computersimulationen die Komplexität globaler Situationen stark vereinfachen<sup>16</sup> und daß aufgrund der gesellschaftspolitischen Konsequenzen simulierter Szenarien und Planungsmodelle die neu entstehende Zukunftsforschung als *Wissenschaft des Überlebens*<sup>17</sup> mit Vorsicht zu bewerten ist. Neben den quantitativ faßbaren Aspekten soziologischer Systeme und deren Simulation ist vor allem das Verhalten von Individuen sowie dessen Auswirkung auf eine Gesamtheit von Interesse. Dazu werden sowohl probabilistische und stochastische Simulationstechniken als auch Methoden aus den Bereichen der Künstlichen Intelligenz (KI) und des Künstlichen Lebens (KL) verwendet, die *qualitative Formalismen* ermöglichen.<sup>18</sup> Angelehnt an die Kognitionswissenschaften nutzt man in der Soziologie mit Hilfe der KI-Sprachen LISP und PROLOG Systeme, die auf intelligenten Bewußtseinsoperationen basieren (Expertensysteme) oder auf Elementen des KL wie Neuronale Netze, Zellularautomaten oder genetische Algorithmen.<sup>19</sup> Bei

<sup>12</sup> Die Anfänge der Computersimulation sind jedoch schon älteren Datums. „Ihre [numerische Simulation] *Geburtsstunde* läßt sich durchaus festlegen auf das Jahr 1946, als John von Neumann - zusammen mit H. H. Goldstine - sein programmatisches Manifest über die Zukunft und Notwendigkeit des digitalen Computing schrieb.“ Hoßfeld, F.: *Wissenschaftliches Rechnen - Motor der Rechenentwicklung*, 1992, S. 2

<sup>13</sup> Forrester, J.: *World Dynamics*, 1973. Für die zweite Studie schufen Mihailo Mesarovic und Eduard Pestel mit dem Modellierungsprogramm MODEL BUILDER ein komplexes Mehrebenenmodell. Mesarovic, M./Pestel, E.: *Menschheit am Wendepunkt*, 1974; Pestel, E.: *Das Deutschland-Modell*, 1978. Vgl. Harbrodt, S.: *Computersimulation in den Sozialwissenschaften*, 1974, S. 144ff

<sup>14</sup> Dies ist die klassische, deterministische Simulation wie sie auch in der Physik verwendet wird. Doch für die Soziologie bedeutet es eine unnötige Einschränkung, denn: „In vielen Sozialbereichen ist es nämlich weder möglich noch sinnvoll, soziale Beziehungen durch exakte Gleichungen darzustellen, und der „Sinn“ sozialer Interaktionen, wie immer man diesen bestimmen will, ist kaum als Realisation strenger mathematischer Zusammenhänge wiederzugeben.“ Klüver, J.: *Soziologie als Computerexperiment*, 1995, S.15

<sup>15</sup> „So besteht der wahre positive Geist vor allem darin zu sehen um vorauszusehen, zu erforschen was ist, um daraus auf Grund des allgemeinen Lehrsatzes von der Unwandelbarkeit der Naturgesetze – das zu schließen, was sein wird.“ Comte, A.: *Rede über den Geist des Positivismus*, 1956, S. 20

<sup>16</sup> Das Mehrebenenmodell von Mesarovic/Pestel war wesentlich komplexer als das erste von Forrester/Meadows, welches die Welt als ein homogenes System modelliert.

<sup>17</sup> „... um mit Hilfe der neuen Methoden der permanenten Überschau und Vorausschau ... die immer komplexeren und krisenbedrohlicheren Entwicklungen der nächsten Jahrzehnte [zu] meistern.“ Jungk, R.: *Menschen im Jahr 2000*, 1969, S. 10. Ein konkretes Beispiel ist das PLATO-System (Programmed Logic for Automated Teaching Operations) für das DELPHI Spielprogramm, das Mitte der 60er Jahre entwickelt wurde.

<sup>18</sup> Klüver, 1995, S. 8

<sup>19</sup> Neuronale Netze lassen sich beispielsweise zur Modellierung von Übergangsgesellschaften verwenden, Zellularautomaten zur Simulation theoretischer Annahmen über das Interaktionsverhalten verschiedener Gesellschaftsklassen und genetische Algorithmen zur selektiven Konkurrenz von Theorien nach der These von Thomas Kuhn. Vgl. Klüver, 1995, S. 10ff; Kuhn, T.: *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, 1993

diesen Techniken stehen weniger die Prognose- und Planungszwecke im Vordergrund als vielmehr der Verstehensprozeß dynamischen Systemverhaltens.

Andere Schwerpunkte des Simulierens setzt die Chemie, die über die numerischen Daten der Berechnung chemischer Eigenschaften hinaus qualitative Informationen aus der graphischen Symbolik der chemischen Strukturformeln gewinnt. Die Visualisierung erhält daher neben der Berechnung eine entscheidende Bedeutung.<sup>20</sup> Die Darstellung von Molekülen – früher mit geometrisch-mechanischen Modellen wie Strichformel, Kugelstab- oder Kalottenmodell – wird nun mit Hilfe des molecular modelling zu einer berechneten Graphik, die es erlaubt, anhand der simulierten Moleküle neue Eigenschaften visuell zu identifizieren und die Synthese von Molekülen am Bildschirm planbar zu machen.<sup>21</sup> Aufwendige Bildtechniken erlauben die interaktive Stereo-3D Darstellung der Moleküle, die dem Forscher plastisch vor Augen stehen und die er ähnlich realen Objekten in jede beliebige Richtung drehen kann. Damit erhält er Einblicke in die an sich unsichtbare Welt molekularer Szenarien.<sup>22</sup>

## 2. Deterministische Simulation als Gegenstand der Arbeit

Die für die vorliegende Arbeit relevante Form der Simulation ist die numerische Simulation des Verhaltens komplexer Systeme in Raum und Zeit auf Basis partieller Differentialgleichungen (deterministische Simulation).<sup>23</sup> Die numerische Simulation ist ein Verfahren, welches das Untersuchungsspektrum von mathematisch symbolisierten Systemen erheblich erweitert, indem es komplexere Systeme, für die keine analytischen Lösungen bekannt sind, einer numerischen Handhabung zugänglich macht, gleichwohl ausschließlich auf computergestützter Basis.<sup>24</sup> Die numerische Simulation bietet neben

---

<sup>20</sup> Die Geometrie eines Moleküls ergibt sich aus der Berechnung der Schrödinger-Gleichung für die Elektronenkonfiguration (ab-initio-Methode). Die Steigerung der Rechenkapazitäten ermöglicht die Berechnung komplexerer Moleküle, doch große Moleküle aus einigen hundert Atomen würden auch heutige Großrechner überfordern. Deshalb werden die Bewegungen der Atome mit einer Mischung aus klassischen und quantenmechanischen Verfahren berechnet, die komplexe Molekülsysteme als eine Menge von Massepunkten (Atome) beschreiben. Die Wechselwirkungen der Atome erzeugen ein Kräftefeld, in dem sich die Massepunkte bewegen, wobei relevante Parameter an Meßergebnisse angepaßt oder quantenmechanisch berechnet werden.

<sup>21</sup> Während die geometrisch-mechanischen Modelle nur zu rein didaktischen Zwecken verwendbar sind, „... kann die computergestützte Modellierung die Sichtweise des Chemikers und die Forschungsentwicklung der Chemie verändern. ... Das computergestützte Design ermöglicht die Voraussage von Experimenten und verbessert damit die Effizienz des Entdeckungsprozesses in der chemischen Forschung und des Produktionsprozesses in der chemischen Industrie.“ Mainzer, K.: Chemie, Computer und moderne Welt, 1992, S. 119. Vgl. auch Kaufmann, W./Smarr, L.: Simulierte Welten. Moleküle und Gewitter aus dem Computer, 1994; Horwood, N. (Hg.): Mathematical and Computational Concepts in Chemistry, 1986; Brickmann, J.: Fraktale Dimension in der Chemie, 1988; Brickmann, J./Knapp, W.: Der Computer ersetzt das Labor, 1984

<sup>22</sup> Vgl. Brickmann, J.: Molecular graphics: how to see a molecular scenario with the eye of a molecule, 1992

<sup>23</sup> Hartmut Bossel ordnet die deterministischen Simulationen den strukturtreuen Modellen im Unterschied zu den statistischen Modellen zu. Er unterscheidet zeitabhängige sowie zeit- und raumabhängige deterministische Simulationen. Vgl. Bossel, H.: Simulation dynamischer Systeme, 1989, S. 18f. Alle sogenannten *dynamischen Simulationen* sind zeitabhängig.

<sup>24</sup> „Die großen Fortschritte in der Naturwissenschaft des 19. und 20. Jahrhunderts wie in der klassischen Mechanik, Elektrodynamik und Quantenmechanik waren allesamt im linearen Bereich. Nichtlineare Systeme wurden als exotische Ausnahmen betrachtet. Man tat sogar, als ob alle wesentlichen Phänomene der Welt mit linearen Approximationen hinreichend beschreibbar waren. Kein Wunder, denn die nichtlinearen Differentialgleichungen ... waren zum überwiegenden Teil nicht analytisch lösbar.“

dem rein formalen Weg eine Alternative an, die vor allem für den Bereich der nichtlinearen Differentialgleichungen von Interesse ist.<sup>25</sup> Im Unterschied zum Formalismus der exakten analytischen Lösungen arbeitet die Simulation mit Approximationen und im nichtlinearen Bereich verstärkt mit Heuristiken. Vor allem in der Physik findet dieser Typ der Simulation Anwendung, beispielsweise in der Strömungsdynamik auf Basis der Erhaltungsgleichungen (Euler-Gleichungen oder Navier-Stokes-Gleichungen). Die numerische Simulation spezifischer Lösungen läßt sich - unter Vorbehalt aufgrund der verwendeten Heuristiken und Approximationen - als theoriegestützte Deduktion betrachten, und die Visualisierung der Simulationsresultate erzeugt Bilder dieser Theorien. Dieser Zusammenhang ist für die vorliegende Untersuchung von besonderem Interesse, da die Transformation einer theoretischen Beschreibung in eine formale Struktur und schließlich in ein Bild einen bemerkenswerten Vorgang darstellt. Für die Naturwissenschaften bieten sich auf diese Weise neue Einblicke in theoretische Zusammenhänge und neue Ausblicke auf die Welt. Die Frage ist: Was sind das für Bilder und was zeigen sie?

Angesichts der Tatsache, daß sich die numerische Simulation mittlerweile neben der Theorie und dem Experiment als gängige Methode durchsetzt, ist es erstaunlich, daß in der Wissenschaftstheorie und -philosophie der computergestützten Forschung insbesondere der numerischen Simulation bislang wenig Aufmerksamkeit beschert wurde.<sup>26</sup> Aufgrund der Fortschritte in der Entwicklung der Hochleistungsrechner darf zudem von einer steigenden Tendenz des Einsatzes der Simulation an Stelle des Experiments ausgegangen werden. Aus wissenschaftsphilosophischer Perspektive ist die Frage von Interesse, woher die Simulation ihre welterschließende Funktion über die Theorie hinaus erhält, wenn sie als theoriegestützte Deduktion nicht mehr Aussagekraft besitzen kann als diese selbst? Der Grund dafür dürfte zum einen in den Heuristiken liegen, die für die Simulation nichtlinearer Probleme eine Rolle spielen, und zum anderen in der unterschiedlichen Realisierung von Theorie und Simulation,

---

*Es gab für sie zwar numerische Lösungsverfahren, aber keine Computer, um sie in einer vernünftigen Zeit auszuführen!* Carty, M. J.: Chaos und Systeme, 1995, S. 35. Seit den letzten 40 Jahren hat sich die Rechengeschwindigkeit alle zehn Jahre um den Faktor 100 erhöht und heute werden rund 100 Milliarden Operationen in der Sekunde durchgeführt. Dies erlaubt seit Ende der 70er Jahre die Simulation von Klimaszenarien, die weniger Berechnungszeit erfordern als die simulierte Wetterentwicklung. Für eine Prognose müssen rund 250 Millionen unbekannte Zustandsgrößen wie Luftdruck, Windgeschwindigkeit, Temperatur u.a. auf Basis der Euler-Gleichungen, ein System nichtlinearer partieller Differentialgleichungen, von den Anfangswerten für den Zeitpunkt  $t_0$  ausgehend berechnet werden. Dabei steht ein Berechnungsgitter zur Verfügung, dessen Abstände zwischen den einzelnen Gitterpunkten am Äquator 120 km beträgt. Seit Ende der 90er Jahre konnte das Gitter auf einen Abstand von 60 km verfeinert werden. Dies wurde durch die Weiterentwicklung der Hardware möglich und durch die Parallelisierung der Rechenoperationen. Mit der Verfeinerung des Gitters erhöht sich auch die Genauigkeit der Vorhersage. Vrgl. Trottenberg, U.: Quantensprünge in der Numerischen Simulation, 1998, S. 7ff

<sup>25</sup> Populär wurden manche Effekte der nichtlinearen Dynamik komplexer Systeme in den 80er Jahren unter dem Begriff der Chaosforschung.

<sup>26</sup> Loeck, G.: Der cartesische Materialismus, Maschine, Gesetz und Simulation, 1983; Bossel, 1989; Randow, G. von: Computer-Simulation, Bild statt Welt?, 1991; Mainzer, 1995; Gramelsberger, G.: Theorie – Simulation - Experiment, 1996; Hartmann, S.: The World as a Process. Simulations in the Natural Science, 1996; Mader, A. (Hg.): Computersimulationen: Möglichkeiten zur Theoriebildung und Ergebnisinterpretation, 1996; Lux-Endrich, A./Wachsmann, A. (Hg.): Konstruierte Wirklichkeiten, 1997; Stäudner, F.: Virtuelle Erfahrung: eine Untersuchung über den Erkenntniswert von Gedankenexperimenten und Computersimulationen in den Naturwissenschaften, 1998; Casti, J.: Would-be-worlds, 1997

welche für die Simulation durch den Wechsel ins Medium des Computers zwei maßgebliche Darstellungsvorteile besitzt: den der Dynamik und den der ikonischen Präsentation, die zugleich Abgrenzungskriterien zwischen Beschreibung, formaler Struktur und Simulation sind. Mathematische Gleichungen strukturieren die Relationen konstitutiver Entitäten eines Systems. Im Rahmen physikalischer Zusammenhänge dienen sie als Interpretationsstrukturen (symbolische Modelle) und sind als solche im Medium der Schrift fixiert. Simulationen nun sind Instrumente zur dynamischen Darstellung der schriftbasierten Strukturen. Dies kann als computerbasierte numerische Simulation oder als experimentelle Simulation geschehen, wobei sich Simulation und Experiment in ihrer Realisierung unterscheiden. Ist erstere semiotisch, so ist letzteres material umgesetzt. Trotzdem wird im Falle der Computersimulationen oft von Computerexperimenten gesprochen, die mitunter Experimente ersetzen. Diese Rede verweist auf eine strukturelle Ähnlichkeit zwischen beiden Methoden, die zum einen teoriengeleitet sind, zum anderen eine Anwendung eben dieser Theorien außerhalb ihrer schriftbasierten Funktion darstellen. Für die Simulation ist dies der Berechnungsprozeß, für das Experiment der materiell implementierte Experimentablauf. Beide lassen sich zur Bestätigung von Hypothesen und Prognosen verwenden, wenngleich sie bezüglich des Geltungsanspruches differenziert zu betrachten sind. Kriterien der Abgrenzbarkeit und Wiederholbarkeit gelten für beide Methoden.

### 3. Philosophischer Begriff der Simulation

Obwohl der Begriff der Simulation in der Philosophie explizit keine bedeutende Rolle spielt, zählen die ontologischen, epistemologischen und ästhetischen Aspekte der Simulation zu den grundlegenden Themen der Philosophie.<sup>27</sup> Eine philosophische Auseinandersetzung mit dem Begriff der Simulation müßte den unterschiedlichen Bedeutungen des Begriffs Rechnung tragen, denn die bislang skizzierte, methodenorientierte Interpretation der Naturwissenschaften und der Mathematik ist nur eine Version. Ein anderes Verständnis der Simulation ist in Bereichen wie der Literatur- oder Medienwissenschaften zu finden. Simulation (lat. *simulare*) läßt sich wörtlich als *nachbilden* verstehen und bezeichnet allgemein die stellvertretende Nachbildung eines Prozesses oder von Teilen davon. Im Sinne von *nachahmen* verweist die Simulation auf das Ende einer langen Tradition, die bei Aristoteles mit dem Begriff

---

<sup>27</sup> Der 16. Deutsche Kongreß der Philosophie beschäftigte sich 1993 mit diesem Thema. Das Kolloquium *Code, Medium, Computer - Künstliche Welten* versuchte eine Positionsfindung zum Verhältnis von Philosophie und Neuen Medien. Dabei herrscht jedoch die von Sybille Krämer skizzierte Haltung in der Philosophie vor: „*Die Philosophie ist geprägt durch eine Abstinenz. Sie betrifft die Reflexion der medialen Grundlagen des Denkens und Erkennens. Mit bemerkenswerter Hartnäckigkeit wird, was medial konstitutiv ist, kategorial verleugnet oder marginalisiert.*“ Krämer, S.: Philosophie und Neue Medien, 1995, S. 185. Vgl. Lenk, H. (Hg.): Neue Realitäten - Herausforderung der Philosophie, 1995

der Mimesis ihren Anfang hat.<sup>28</sup> Dabei handelt es sich jeweils um semiotische Kategorien verschiedener Formen der Bezugnahme.<sup>29</sup> Die Auflösung der Abbildungsfunktion durch konstruktive Elemente entbindet die Simulation von einer Verweisstruktur auf einen vorgeordneten Natur- oder Realitätsbereich bis hin zu einem fiktionalen Darstellungsgehalt, der - dank der Neuen Medien - in seiner ästhetischen Verfaßtheit Realismus vorspiegeln kann. Möglich wird dies durch die Emanzipation der Simulation von der abbildenden Darstellungsfunktion zu einem eigenständigen Ereignis und dem damit einhergehenden Wandel von der Repräsentanz zur Präsenz.

Mit dem Einzug der Medien eröffnet sich jedoch eine weitere, postmoderne Deutungsweise, welche in ihrer Bezugnahme auf vorgeordnete, medienvermittelte Wirklichkeiten, die selbst als Simulationen charakterisiert werden, eine rekursive Funktion beinhaltet und so von der *endlosen Simulation* handelt.<sup>30</sup> Die inhaltliche Ausrichtung der endlosen Simulation ist durch die Bezugnahme auf vorgeordnete Zeichen oder Bilder gekennzeichnet. Vor allem die Bilder spielen mit dem Aufkommen der visuellen Medien Fotografie, Film und TV eine zunehmende Rolle und ihre ubiquitäre Präsenz „... schafft nicht nur die traditionellen Deutungen und Bedeutungen ab, sondern die Realität – die sogenannte objektive Außenwelt – gleich mit dazu.“<sup>31</sup> Das Simulationsverständnis in den Medien- und Literaturwissenschaften basiert auf dem Gegensatzpaar von Schein und Realität und postuliert die gelungene Ablösung der Realität durch die medienvermittelten Bilder. Dies scheint durch das Medienspektakel der rumänischen Revolution oder des Golfkrieges hinreichend bestätigt.<sup>32</sup> Schließlich erfüllen sich die Erwartungen beinahe vollkommen mit dem Cyberspace, der als Inbegriff der simulierten Umgebung das vollständige Eintauchen in dieselbe gewährleistet und nach und nach alle Sinne involviert.<sup>33</sup> Im Mittelpunkt dieser neueren Entwicklung steht nach den audiovisuellen Medien nun die Computertechnologie, deren schier grenzenloses Manipulationspotential die realitätsimitierende Erscheinung der

---

<sup>28</sup> Mimesis umfaßt als Ausdruck bei Aristoteles die nachahmende Darstellung der Natur in der Kunst – Epos, Tragödie, Komödie und Musik. „Das Darstellen nämlich liegt den Menschen im Blute von Kindheit an, und dadurch unterscheiden sie sich von den anderen Geschöpfen, daß sie aufs Nachahmen versessen sind. Auch das Lernen beruht anfänglich auf Nachahmen...“ Aristoteles: Poetik, 1959, S. 59. Zur Simulation in den Literatur- und Medienwissenschaften u.a.: Schonberg, A. (Hg.): Simulation und Wirklichkeit, 1988; Rötzer, F. (Hg.): Digitaler Schein. Ästhetik der elektronischen Medien, 1991; Großklaus, G.: Natur-Raum: von der Utopie zur Simulation, 1993; Iglhaut, S. (Hg.): Illusion und Simulation: Begegnungen mit der Realität, 1994; Jung, W.: Von der Mimesis zur Simulation: eine Einführung in die Geschichte der Ästhetik, 1995; Venus, J.: Referenzlose Simulation, 1997; Gendolla, P.: Über Simulationsmodelle, 1997; Kablitz, A/ Neumann, G. (Hg.): Mimesis und Simulation, 1998; Bolik, S. (Hg.): Medienfiktion: Illusion – Inszenierung – Simulation, 1999; Bolz, N.: Die Welt als Chaos und als Simulation, 1992.

<sup>29</sup> „So, wie im Begriff „Mimesis“ sich das semiotische Leitbild der klassischen Antike niederschlägt und so, wie im Begriff „Repräsentation“ sich die Bedingungen des neuzeitlichen Zeichengebrauchs kondensieren, scheint „Simulation“ zum epochalen Markenzeichen semiotischer Konzepte in der Moderne/Nachmoderne zu avancieren.“ Krämer, 1995, S. 187/188

<sup>30</sup> Baudrillard, J.: Der symbolische Tausch und der Tod, 1982; Baudrillard, J.: Agonie des Realen, 1978.

<sup>31</sup> Jung, 1995, S. 230. Ohne den Bezug auf die Realität sind wir in den Endlosschleifen der Simulation gefangen.

<sup>32</sup> Sei, K. (Hg.): Von der Bürokratie zur Telekratie. Rumänien im Fernsehen, 1990; Virilio, P.: Krieg und Fernsehen, 1993; Bredekamp, H.: Das Bild als Leitbild. Zur Überwindung des Anikonismus, 1997

<sup>33</sup> Nach dem Seh- und Hörereignis läßt sich mittlerweile auch das Tastereignis simulieren.

Simulationen als ästhetische Verfaßtheit erlaubt,<sup>34</sup> auch eben für fiktionale Inhalte.<sup>35</sup> Doch bereits das Konzept der Dualität, das Simulation mit Schein und oft auch mit Virtualität identifiziert, stößt im philosophischen Diskurs auf erhebliche Probleme, denn einerseits ist die Simulation wie die Realität durch Wahrnehmung, Sprache und Schrift vermittelt, andererseits läßt sich ein eindeutiges Abgrenzungskriterium zwischen beiden nicht angeben. Die Simulation steht Aspekten entgegen, die auf den Begriff der Realität projiziert werden, wie etwa Existenz, Notwendigkeit, Wahrheit, Objektivität, Originalität oder Natürlichkeit.<sup>36</sup> Oftmals reduziert sich der Gegensatz auf einen naiven Materialismus, der als Unterscheidungskriterium auf den pragmatischen Aufweis der Undurchdringlichkeit der materiell verfaßten Realität verweist. Doch selbst die Undurchdringlichkeit kann mittlerweile simuliert werden, und die Umschreibung der Simulation als Schein wird schwierig.<sup>37</sup> Andererseits leiten sich aus den Simulationsergebnissen in den Naturwissenschaften Konsequenzen ab, die sich in einer Überprüfung an realen Systemen bestätigten lassen und in Form von Technik eine realitätskonstituierende Funktion besitzen. Unter diesen Aspekten läßt sich die Simulation als Verfahren begreifen, dessen Resultate den Status des Virtuellen aufweisen, insofern virtuell als elektronisch realisiert verstanden wird, wobei die sichtbaren Inhalte in unterschiedlicher Weise interpretiert werden und somit in unterschiedlicher Weise Bezug nehmen auf Objektbereiche. In Abgrenzung zu den beiden skizzierten Auffassungen stellt die vorliegende Arbeit einen dritten Ansatz vor und zwar einen semiotisch orientierten.<sup>38</sup> Dabei wird jedoch nicht nur der semiotische Status der Simulationsbilder untersucht, sondern in erster Linie die Erzeugungsmechanismen, die wir Simulation nennen. Der Begriff der Simulation führt dementsprechend zu einem erweiterten Begriff der Schrift.

---

<sup>34</sup> Als Maßstab einer gelungenen Simulation in diesem Sinne kann dann der Verwechselbarkeitsansatz von Bild und Realität der Illusionstheorie gelten und die Simulation erhält den Charakter eines Trompe-l'œil Szenarios. Vgl. Gombrich, E.: Kunst und Illusion, 1978; Gramelsberger, G.: Zur Intersubjektivität ikonischer Wissensvermittlung und deren Wahrheitsfähigkeit, 1999

<sup>35</sup> Dabei wird ein Umkehrprozeß zwischen dem vorgeordneten Referenzbereich der Signifikate und der Simulation deutlich, der sich paradigmatisch im Bereich der Informationsvisualisierung zeigt. Umfangreiche Datenstrukturen, deren Organisation sich mit mathematischen Gleichungen beschreiben lassen, werden naturgesetzliche Strukturen zugrundegelegt. Aus der Simulation anhand der Naturgesetze werden Datenobjekte als Signifikate der Simulation erzeugt und für die Prognose realweltlicher Zusammenhänge genutzt. Das Projekt IVORY der ETH Zürich beispielsweise arbeitet für die Informationsvisualisierung der Korrelation von Finanz- und Zinsdaten mit Hilfe von Newtons Kraftgesetz. [Quelle 4: Sprenger, T.C./et al.: A Framework for Physically-Based Information Visualization, 1998]

<sup>36</sup> „Das Natürliche erscheint unter diesem Blickwinkel als das Noch-nicht-Simulierbare und Noch-nicht-Herstellbare, als ein Rest also, der sich aufzehrt, je mehr die künstlichen Modelle ihre anfängliche Einfachheit und Kargheit überwinden und sich durch Differenzierung und Komplizierung ihrem Vorbild annähern.“ Waldenfels, B.: Ein menschlicher Traum für Wachende, 1995, S. 194/195

<sup>37</sup> In Simulationen wird mit Undurchdringlichkeit (collision detection) gearbeitet und seit neuestem mit der haptischen Erfahrbarkeit der Objekte.

<sup>38</sup> Nicht von ungefähr tendieren die Disziplinen der *zwei Kulturen* zu ersterem respektive letzterem Verständnis, wobei der jeweils andere Aspekt leicht aus den Augen verloren wird. Snow prägte die Unterscheidung zwischen literarischen Intellektuellen und Naturwissenschaftlern in den USA. Vgl. Snow, C.P.: The Two Cultures, 1993. Dies entspricht in etwa der hiesigen Differenzierung zwischen Geistes- und Naturwissenschaften. Nun soll es nach John Brockman eine dritte Kultur geben, deren Protagonisten sich durch ein mediengewandtes und öffentlichkeitswirksames Auftreten auszeichnen und somit die Ideen und Resultate ihrer Forschungen und Theorien in populärwissenschaftlicher Art breiten Schichten zugänglich machen, obwohl sie allesamt dem Lager der *trockenen* Naturwissenschaftler entstammen. Dabei ist anzumerken, daß die bunten Simulationsbilder ihr übriges zur medienwirksamen Darstellung leisten, wie der populärwissenschaftliche Boom der Chaosforschung in den 80er Jahren bewiesen hat oder wie die populärwissenschaftlichen Infotainment-Sendungen der TV-Stationen demonstrieren. Brockman, J.: Die dritte Kultur. Das Weltbild der modernen Naturwissenschaft, 1996