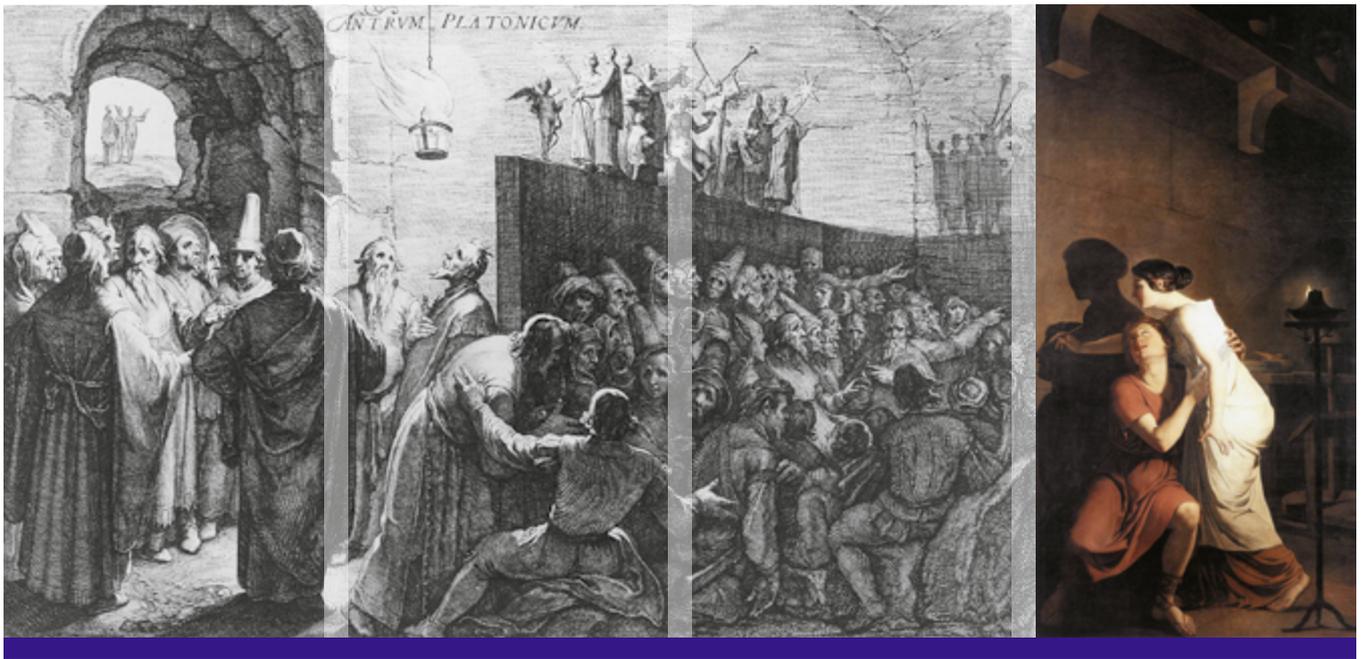


Simulation – die dritte Säule der Wissenschaft



Links ein Ausschnitt aus dem Höhlengleichnis Platons, in dem sich die Höhlenbewohner nur zum Teil bewusst sind, statt der realen Welt lediglich ihre Schatten wahrzunehmen. Rechts das Bild „Die Erfindung der Kunst“ von Joseph-Benoit Suvée, in dem der Mythos vom Ursprung aller Kunst beschrieben wird. Ein korinthisches Mädchen zeichnet den Umriss ihres aufbrechenden Liebhabers an die Wand, um sein Bild so festzuhalten.

Ob es die Schatten in Platons Höhlengleichnis sind, die die Welt so nachbilden, wie wir zunächst nur glauben können, dass sie ist, oder das Ursprungsmotiv der Kunst, die das Flüchtige für unsere Sinne, allen voran das Auge, festzuhalten versucht – Abbilder prägen unsere Weltansicht seit Menschengedenken. In der Wissenschaft spricht man von Modellen, die wie Abbilder genutzt werden. Sie geben reale Prozesse und Systeme reduziert wieder und machen sie mit Hilfe moderner Simulationen „berechenbar“. So eröffnet sich die Chance, neue Erkenntnisse über die dahinter liegenden realen Problemstellungen zu gewinnen.

So tun als ob – wenn im Alltag vom Akt der Simulation gesprochen wird, ist damit meist wenig Positives verbunden. „Der simuliert nur“ heißt es etwa über den eingebildeten Kranken, der über die Simulation einzelner Symptome wie dem Husten auf einen Grundzustand – Erkältung – verweist, der bei ihm gar nicht vorliegt. Simu-

lation im umgangssprachlichen Gebrauch meint also einmal die bewusste Verstellung, die Vorspiegelung falscher Tatsachen mit dem Vorsatz, die Wirklichkeit – in diesem Fall: Gesundheit – zu verschleiern. Simulation in diesem Sinne verstellt den Blick auf die Wirklichkeit, statt ihn zu befördern.

Im landläufigen Verständnis der Simulation existiert neben der negativen Dimension der *Vor-Täuschung* aber auch die positive Assoziation der *Nach-Ahmung*. Wer sich einmal wie ein Rennfahrer fühlen will, kann in den dunklen Kabinen von Jahrmarkts-Simulatoren mit gefühlten 300 PS seine virtuellen Runden drehen; wer seine Flugangst bezwingen will, besucht Trainings, in denen einzelne Flugphasen simuliert werden. Auch die Planspiele auf Führungsebene oder die jährlichen UN-Vollversammlungen, die von Jugendlichen nachgestellt werden, beruhen auf dem Prinzip der Simulation: Reale Prozesse oder Systeme in einem vereinfachten Modell nachzubilden, um so ihre innere Dynamik beschreiben, erklären oder gar vorhersagen zu können.

Darum geht es auch im Kern der Simulationstechnologie, die sich als Instrument und Methode der Erkenntnisgewinnung in den vergangenen 50 Jahren in der Forschung durchgesetzt hat und heute neben Theorie und Praxis als dritte Säule moderner Wissenschaft gelten kann. Im Begriff *Simulationstechnologie* steckt bereits der Verweis auf den komplexen handwerklichen Charakter: Heutige Simulationen sind fast immer Computersimulationen, hinter denen immer komplexere Modelle, mächtige Algorithmen sowie leistungsfähige Rechen- und Speicherleistungen stehen.

1. Geschichte der Simulationstechnologie

Die mathematischen Anfänge der Modellbildung und damit auch der Simulation sind bereits im sogenannten Nadelproblem von Buffon und Laplace im 18. Jahrhundert zu finden. Dabei sollte die Wahrscheinlichkeit berechnet werden, mit der eine Nadel auf der Linie eines vorgezeichneten Gitternetzes landet. Das Grundprinzip dieser ersten „Simulation“ war die berechnende Schlussfolgerung von einer großen Zahl an Einzelfällen auf grundlegende Gesetzmäßigkeiten und die Ableitung ihrer Unsicherheiten und Wahrscheinlichkeiten. Auf Zufallsexperimenten gründet sich auch die erste und bis heute grundlegende Simulationstechnik: Der Mathematiker John von Neumann definierte 1946 gemeinsam mit Stanislaw Ulam ein Verfahren, mit dessen Hilfe sich partielle Differentialgleichungen numerisch lösen

lassen. Die sogenannte Monte-Carlo-Methode kalkuliert die Wahrscheinlichkeit oder aber Ungewissheit bestimmter Ergebnisse und ist damit bis heute wesentlich für die Modellierung und Simulation.

Eine weitere computergestützte Berechnungsmethode wurde in den 1960er Jahren maßgeblich an der Universität Stuttgart mitentwickelt: John Argyris, Begründer und langjähriger Leiter des Instituts für Statik und Dynamik der Luft- und Raumfahrtkonstruktionen, suchte nach einer Lösung zur Überprüfung von Festigkeit und Elastizität einzelner Flugzeugteile wie den Tragflächen. Herausforderung war es, partielle Differentialgleichungen zu lösen, also Gleichungen, die Prozesse mit mehr als einer unabhängig voneinander veränderlichen Variable beinhalten. Die Komplexität dieser partiellen Differentialgleichungen ergibt sich zudem aus der Regelmäßigkeit – Linearität – oder aber Unregelmäßigkeit – Nicht-Linearität – ihrer veränderlichen Funktionen. Für die Lösung linearer Berechnungen lieferte Argyris wesentliche Beiträge zur Entwicklung einer numerischen Methode, die zunächst vor allem in der Simulation von Festkörpern, heute aber auch in vielen weiteren physikalischen Fragestellungen, wie Wettervorhersagen oder Medizintechnik, Einsatz findet: die Finite-Elemente-Methode (FEM).

Neben den methodischen Verfahren waren es die bahnbrechenden technischen Entwicklungen der Computertechnologie, die entscheidend für die Durchsetzung der Simulationsverfahren waren. Erst durch die stetig gestiegene Speicher- und Rechenleistung wurde es möglich, Simulationen in einer Geschwindigkeit und in einer Komplexität zu rechnen, mit der sich heute dynamische Systeme vom Nanobereich bis zur Supernova in überschaubarer Zeit simulieren lassen.

Die technischen Grundlagen hierfür wurden bereits in den 1940er Jahre gelegt, als Konrad Zuse mit dem Z3 den ersten funktionsfähigen Computer baute. Dieser lief noch mit elektromagnetischen Relais und hatte eine entsprechend geringe Rechenleistung. Umso mächtiger war da bereits der erste vollelektronische digitale Universalrechner – ENIAC (Electronical Numerical Integrator and Computer) – der 1947 an der University of Pennsylvania vorgestellt wurde. Das Potenzial der Simulation machten sich dabei zunächst vorrangig



01

Der Mathematiker John von Neumann ist einer der Gründungsväter der modernen Simulationstechnologie.



02

Konrad Zuse ist einer der Gründungsväter der modernen Computertechnologie und entwickelte mit dem Z3 den ersten funktionsfähigen und frei programmierten Rechner. Foto: Wolfgang Hunscher



03

Mit den ersten Computern, wie dem hier abgebildeten Z1 von Konrad Zuse (links) sowie dem ersten vollelektronischen Universalrechner ENIAC (rechts), eröffneten sich für die moderne Simulationstechnologie erst die technischen Möglichkeiten, immer komplexere Modelle zu berechnen.

militärwissenschaftliche Projekte zunutze: So liefen auf dem ENIAC stochastische Simulationen zur Kernfusion, die der Wasserstoffbombe zu Grunde liegt. Hier zeigte sich bereits ein Vorteil der Simulation, der auch für die heutige zivilwissenschaftliche Verwendung entscheidend ist: Was im praktischen Experiment zu gefährlich oder ethisch bedenklich wäre, lässt sich in der Simulation erproben. Der virtuelle Testlauf erlaubt es, gezielt an einzelnen „Stellschrauben“ zu drehen und die Auswirkungen gefahrenfrei zu überprüfen.

Das machte die Simulationen nicht nur für militärische Zwecke attraktiv, sondern auch in all jenen Bereichen schnell unentbehrlich, in denen kostspielige oder aber risikoreiche Experimente ersetzt werden konnten – z. B. in den Entwicklungsabteilungen der Automobilindustrie oder der Luftfahrt. Simulationen dienten hier also bereits weniger der Beschreibung bereits vorhandener Systeme, sondern vielmehr dem gezielten Design einzelner Materialfunktionen oder der Prognose (un-) erwünschter Verhaltensweisen.

Mit der steigenden Leistungsfähigkeit der Computer seit den 1970er Jahren wurde es möglich, zunehmend komplexe Szenarien und Modelle zu simulieren – die prominentesten Anwendungsbereiche sind hier die Wettervorhersage, Wahlprognosen oder die Weiterentwicklung von Hochrisikotechnologien. Das Produkt dieser Simulationen war dabei lange bilderfrei, Ergebnisse wurden in Zahlenreihen und Diagrammen dargestellt. Abhilfe liefern inzwischen Visualisierungen, die die Er-

gebnisse der Simulationen quasi auf einen Blick sichtbar und damit erst interpretierbar machen. Gerade die heute möglichen Rechenleistungen erzwingen dabei die visuelle Fokussierung aufs Wesentliche – die bildhafte Darstellung hilft hier also, aus den immer größeren Datenmengen die entscheidenden Erkenntnisse hervorzuheben. So schaffen moderne Supercomputer wie der Hermit am Stuttgarter HLRS pro Sekunde durchschnittlich eine Billiarde Rechenoperationen. Es schlummern hier aber noch viele Möglichkeiten, Einblicke in zeitlich oder räumlich bislang unüberschaubare Gebiete zu werfen, wie die jüngst vorgestellte und bislang präziseste Simulation zur Entstehung unseres Universums deutlich macht.

2. Chancen und Herausforderungen

Die Erfassung realer Prozesse in Modellen, ihre numerische Simulation und anschließende Visualisierung wird heute standardmäßig überall da eingesetzt, wo Theorie und Experiment zu kurz greifen. Die offenkundigen Vorteile, die der Simulation den Vorrang vor einer rein theoretischen oder aber experimentellen Methode geben, liegen etwa in der Kosten- und Zeitersparnis. Weiterhin bieten die Simulationen in vielen Bereichen eine ethisch unbedenkliche Überprüfung bestimmter Annahmen und Szenarien, etwa in der Entwicklung neuer Arzneistoffe. Die Lösung theoretisch unlösbarer (partieller Differential-) Gleichungen lässt sich dank der numerischen

Methoden der Simulation annähern. Mit der Öffnung eines virtuellen Forschungsraums können erstmals auch Prozesse erfasst werden, die zu klein oder zu groß sind, um mit Messmethoden untersucht zu werden, oder aber die im Versuch zu lange dauern würden. Simulationen bieten darüber hinaus nicht nur Auskunft über das, was ist, sondern auch über das, was sein könnte oder sein wird. Wissenschaftliche Simulationen stellen eben nicht nur das bereits Bekannte nach, sondern ermöglichen die Ableitung von Vorhersagen oder die Berechnung von Wahrscheinlichkeiten.

Allerdings bedarf auch die moderne Simulation der Kontrolle: Insbesondere die Schwierigkeit, Unsicherheiten in bestimmten Systemen exakt zu bestimmen, macht es erforderlich, die simulierten Ergebnisse stetig zu hinterfragen oder mit begleitenden Experimenten abzugleichen. Auch entziehen sich manche Prozesse oder natürliche Systeme bislang der Beschreibung in mathematischen Formeln.

Dennoch kommt der Einzug der Simulationstechnologie als alternativer Weg zur Erkenntnis einer Revolution gleich, eröffnet er doch neuartige Schnittstellen zwischen realen und virtuellen Forschungswelten, die neue Formen der Wissensproduktion – vom Materialdesign bis zur Biomechanik – ermöglichen und erfordern.

3. Simulationstechnologie an der Universität Stuttgart

Mit dem Exzellenzcluster Simulation Technology (SimTech) hat die Universität Stuttgart der neuen Forschungsmethode eine Heimat gegeben: Im 2007 eingerichteten und 2012 für weitere fünf Jahre bewilligten Cluster werden die bisher nur isoliert entwickelten Simulationsmodelle und -methoden zu einer ganzheitlichen Systemwissenschaft gebündelt. Mit seinem Disziplinen übergreifenden Ansatz beschreitet der Cluster damit neue Wege, um Simulationen noch leistungsfähiger, Vorhersagen zuverlässiger und Visualisierungen noch präziser zu machen.

Im interdisziplinären Austausch begegnet SimTech so den drängenden Fragen aus Wissenschaft und Gesellschaft. Dafür stellen sich die Forscherinnen und Forscher aus den Ingenieur-, Natur-, Lebens- und Sozialwissenschaften fünf langfristigen



04

Am Ende einer Simulation stehen zunächst einmal unübersichtliche Datensätze, die erst durch die Visualisierung sichtbar – und wie hier in der Cave des Stuttgarter HLRS – begehbar werden.

Anwendungsszenarien, die sie in über 70 Projekten bearbeiten. Dazu zählt etwa das simulationsbasierte Design neuer Werkstoffe mit maßgeschneiderten Hightech-Eigenschaften, die vollständig virtualisierte Entwicklung von Prototypen oder die Simulation komplexer Methoden in der Umwelttechnik. Außerdem bietet SimTech eine Plattform zur stärkeren Verzahnung von Biomechanik und Systembiologie, um so der Vision eines ganzheitlichen Menschmodells näher zu kommen. Die Weiterentwicklung intelligenter Cyberinfrastrukturen begegnet der Herausforderung, die Rechen- und Speicherleistung der immer größeren Datenmengen zu stemmen sowie Simulationen schneller und flexibler zugänglich zu gestalten. Die Chancen und Risiken der noch jungen Simulationstechnologie werden in den Sozial- und Geisteswissenschaften gezielt reflektiert.

Der Erkenntnis, dass Simulationstechnologie als eine Wissenschaft *für sich* zu begreifen ist, tragen die Universität Stuttgart und SimTech auch in ihrem Engagement für eine nachhaltige Ausbildung des wissenschaftlichen Nachwuchses Rechnung: Eine eigene Graduiertenschule mit rund 150 Doktoranden sowie ein Studiengang garantieren, dass das in SimTech erarbeitete Wissen kontinuierlich weitergegeben und ausgebaut wird.

In diesem **THEMENHEFT FÜR SICHUNG** möchten wir Ihnen die Vielfalt und das Potenzial der Simulationstechnologie nahebringen und hoffen,



05

Im Exzellenzcluster SimTech kommen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus den unterschiedlichsten Disziplinen zusammen. Das 2010 erbaute Forschungsgebäude bietet darüber hinaus Raum für gemeinsame Veranstaltungen.

Ihnen mit den Einblicken in die nachfolgend vorgestellten Forschungsprojekten nicht nur die Simulation als Erkenntnis-

instrument näher bringen zu können, sondern auch etwas von der Faszination der Forschung. • *Wolfgang Ehlers*

DER AUTOR

**PROF. DR.-ING. WOLFGANG
EHLERS**

ist seit März 1995 als ordentlicher Professor für Kontinuumsmechanik an der Universität Stuttgart tätig. Seit 2007 ist er der Geschäftsführende Direktor des Stuttgart Research Centre for Simulation Technology (SRC SimTech) und Sprecher des Exzellenzclusters Simulation Technology. Seit 2013 ist er der Präsident der Internationalen Gesellschaft für Poröse Medien (InterPore) sowie seit 2014 Präsident der Gesellschaft für Angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM).

Kontakt

Universität Stuttgart
SRC SimTech
Pfaffenwaldring 5a
D-70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0) 711/685-66346
Fax +49 (0) 711/685-66347
E-Mail: Ehlers@mechbau.uni-stuttgart.de
Internet: www.simtech.uni-stuttgart.de