



# ZUR QUANTITATIVEN SIMULATION IN DER ARCHÄOLOGIE

Guido Kanschat

Auszug aus dem Jahresbericht  
2017 / 2018 des Marsilius-Kollegs



## ZUR QUANTITATIVEN SIMULATION IN DER ARCHÄOLOGIE

Simulation ist die Berechnung quantitativ beschreibbarer Größen aus einer Kombination von mathematischen Modellen und vorgegebenen Rahmendaten. Sie hat sich seit den Vierzigerjahren des zwanzigsten Jahrhunderts, vor allem aber in den letzten drei Jahrzehnten in den Natur- und Technikwissenschaften als unverzichtbares Hilfsmittel etabliert. Inzwischen spricht man sogar von Simulation als der dritten Säule der Erkenntnis, die die klassischen Methoden der theoretischen Modellbildung und des Experiments komplementiert. Dabei kommt ihr ein verbindender Charakter zwischen diesen Gegenpolen zu.

Bis zum Beginn des zwanzigsten Jahrhunderts stellte sich der Prozess physikalischen Erkenntnisgewinns ausschließlich so dar, dass einerseits unter sehr kontrollierten Bedingungen das Verhalten eines physikalischen Systems möglichst genau gemessen wird und andererseits mathematische Gleichungen für dieses Verhalten theoretisch hergeleitet werden. Aus diesen Gleichungen wiederum kann das Ergebnis zukünftiger Experimente vorhergesagt werden, wenn es möglich ist, sie zu lösen.

Am Beginn der klassischen Physik der Neuzeit stehen die Fallexperimente Galileis und seine Fallgesetze, die eine direkte, algebraische Beziehung zwischen der Geschwindigkeit des fallenden Körpers und der Dauer des Falls ergaben, unter der Annahme, dass der Luftwiderstand verschwindet. Die Vorhersage konnte damit durch einfaches Auflösen der Gleichungen gewonnen werden. Seit Newton beschreiben wir solche Systeme durch Differentialgleichungen, die die Entwicklung eines Zustandes

aus dem Zustand selbst herleiten, zum Beispiel die zukünftige Position einer fallenden Kugel aus der aktuellen Position und Geschwindigkeit. Damit können deutlich allgemeinere Systeme beschrieben werden, doch um den Preis, dass die Berechnungen, die zu Vorhersagen nötig sind, deutlich komplizierter werden. Schon für einfache Aufgaben wie das Dreikörperproblem der Himmelsmechanik, Sonne, Erde, Mond, nicht zu erwähnen unser gesamtes Sonnensystem, ist die Lösung nicht mehr durch eine geschlossene Formel darstellbar. Sie kann nur durch Näherung berechnet werden. Dies tun asymptotische Entwicklungen des 19. Jahrhunderts ebenso wie numerische Verfahren auf elektronischen Rechnern heute. Die Theorie der Epizyklen vor Kepler ist ebenso ein Näherungsverfahren, das aber nicht auf einem Modell, sondern nur auf Beobachtungen basiert; heute würden wir das unter „data science“ fassen.

Die Simulationsverfahren der numerischen Mathematik produzieren solche Näherungen für beliebig komplexe Systeme. Die Fachdisziplin des wissenschaftlichen Rechnens beschäftigt sich mit der Auswahl geeigneter Verfahren basierend auf mathematischer Theorie und Computerexperiment sowie der effizienten Implementation, die die sinnvolle Nutzung moderner Großrechenanlagen erst möglich macht. Die Fortschritte der letzten Jahrzehnte auf diesen Gebieten haben Naturwissenschaften und Technik in zwei Richtungen revolutioniert. Zum ersten ist es heute möglich, das Verhalten sehr komplexer technischer Apparate mit hoher Vorhersagekraft zu simulieren. Dabei ist der Entwurf solcher Maschinen nicht mehr durch die Fähigkeiten der Berechnungsverfahren beschränkt, sondern kann frei nach anderen Gesichtspunkten wie Energieoptimierung oder Design gewählt werden.

Langfristig von größerer Bedeutung ist die zweite Richtung der Entwicklung, bei der dem Experiment auf der einen Seite ein Simulationsexperiment auf der anderen gegenübergestellt wird. Daraus kann Erkenntnisgewinn gezogen werden, da auch extreme Grenzfälle, die im Labor nicht oder nur schwer darstellbar sind, untersucht werden können. Auch in Fällen, in denen das Experiment nicht möglich ist, denken wir etwa an schwarze Löcher, kann das Simulationsexperiment als fortgeschrittene Variante des Gedankenexperiments wichtige Hinweise geben. Natürlich ergibt sich hier unmittelbar die große Gefahr, dass das ursprüngliche Modell auf solche Fälle nicht anwendbar ist. Zu unterscheiden ist hier zwischen Simulationen „ab initio“, die auf fundamentalen physikalischen Gesetzen beruhen und solchen auf phänomenologischer Basis. Letztere stehen immer unter Bestätigungsvorbehalt durch das Experiment. Erstere sind nur durch die Genauigkeit der Rechnung limitiert und daher prinzipiell



immer aussagekräftig, meist aber auf sehr einfache Aufgaben beschränkt. In diesem Zusammenhang ist aber die Möglichkeit, phänomenologische Modelle durch Simulationsexperimente ab initio zu entwickeln und zu verifizieren von hoher Bedeutung.

Soweit zu den heute bereits als traditionell zu bezeichnenden Anwendungsgebieten wissenschaftlicher Simulation. Bei der Suche nach Anwendungsmöglichkeiten in den Geisteswissenschaften stoßen wir auf ein prinzipielles Grundproblem, dass sich derzeitige Modellierungsansätze auf quantifizierbare Größen beziehen, oder vereinfacht, berechenbar ist nur, was durch Zahlen ausgedrückt werden kann. Hier bot sich beim Projekt der Kollegen Enders und Giele zur Geldwirtschaft im alten China eine ausgezeichnete Möglichkeit. Die Geldmenge ist eindeutig als Zahl beschreibbar. Mehr noch, die riesige Menge von Hunderten von Milliarden Münzen macht die Modellierung als Kontinuum sinnvoll, das Verfolgen individueller Münzen ist nicht von Bedeutung, wohl aber die Verteilung von Münzen gleicher Herkunft. Bereits hier sei jedoch der Hinweis angebracht, dass uns zum einen keine Modelle ab initio zur

Verfügung stehen, zum anderen weder kontrollierte Experimente möglich sind, noch die Datenlage hinreichend umfassend ist. Das wird bei der abschließenden Diskussion des Nutzens von Simulationsergebnissen wichtig sein.

Diskutiert haben wir zwei wesentlich verschiedene Modellklassen. Zum einen den eher volkswirtschaftlich strukturierten Ansatz einzelner, zueinander in Beziehung stehender Wirtschaftsräume, ein Ansatz, der oft als Kompartementmodell bezeichnet wird. Jeder dieser Räume ist durch Kenndaten wie die Produktion von und Bedarf an Gütern und Münzen oder die Bevölkerung beschrieben. Hinzu kommt eine Beschreibung der Austauschmechanismen zwischen den Räumen. Gedacht ist hier zum Beispiel an eine Hauptstadtregion, in der eine recht große Bevölkerung wenig Güter produziert, in der sich aber die staatliche Münze befindet.

Natürlicherweise wird diese „Hauptstadt“ mit einer eher provinziellen Region ihren Güterbedarf durch den Austausch gegen Münzen befriedigen, wird aber auch Steuern in Form von Gütern und Geld beanspruchen. Welche Auswirkungen hat die historisch nachgewiesene Aufhebung des Münzmonopols auf ein solches System? Führt sie zu allgemeiner Teuerung oder nur zu Mangel in der Hauptstadt? Ein weiteres Beispiel ist die Grenzregion im Norden, in die viel Geld als Sold für Soldaten floss, so dass sie einen Status zwischen Hauptstadt und Provinz einnahm.

Die zweite Modellklasse beschäftigt sich mit der Interaktion von Handelsstraßen und dem ungeordneten, lokalen Handel. Hier ist die Modellannahme, dass Handel über weite Strecken durch Karawanen zwischen Märkten abgewickelt wird und dass diese Märkte wiederum im Austausch mit ihrer Umgebung stehen. Mathematisch führt dies auf die analytisch wie numerisch interessante Frage von Diffusionsvorgängen mit niederdimensionalen Einschlüssen, zu der auch eine erste Bachelorarbeit im Entstehen ist. Im Unterschied zum Kompartementmodell werden bei diesem Ansatz Geld und Güter nicht über weite Räume als konstant angenommen, sondern können lokal variieren. Hier spielen die Abstände von den Märkten und naturräumliche Gegebenheiten eine Rolle.

Wenn zum Beispiel ein Problem der Kontinuumsmechanik durch Simulationsmethoden gelöst wird, so steht am Ende eine Aussage vom Charakter „Dieser Träger biegt sich so weit durch“ oder „Bis zu einer Last von mindestens 100 Tonnen ist die Brücke stabil.“ Diese Aussagen basieren auf Modellen, die durch Experimente über drei Jahrhunderte immer wieder verfeinert und verifiziert wurden. In der Archäologie

existieren solche Modelle nicht, noch können wir sie gewinnen, weil Experimente nicht möglich und auch existierende Daten sehr vereinzelt und zufällig sind. Eine wichtige Frage, die im Marsilius-Kolleg intensiv diskutiert wurde ist daher, welchen Erkenntnisgewinn die Berechnung von Simulationsergebnissen der Archäologie und verwandten Wissenschaften bringen kann. Eine Antwort vom Charakter „So war es“ können wir weder heute geben, noch werden wir sie je geben können. Dies ist der Tatsache geschuldet, dass wir Modelle zwar mit den Daten konsistent machen, nicht aber mit weiteren Daten verifizieren können. Es besteht daher die sehr wahrscheinliche Gefahr über einen Ringschluss das eigene Modell zu bestätigen. Eine Leistung, die Simulationen aber durchaus erbringen können ist die Aussage „So passt es mit den Quellen nicht zusammen.“ Anstatt also dem Laien ein unmittelbares Bild zu vermitteln, stellen sie dem Experten ein Werkzeug zur Seite, das die Konsistenz seiner Annahmen über gesellschaftliche Mechanismen zur Datenlage auch bei komplizierteren Zusammenhängen prüfen kann. Auch unterstützen sie Gedankenexperimente und helfen, die Wirkung der Veränderung von Parametern abzuschätzen. Dies ist insbesondere von hohem Wert, da die verwendeten Wirtschaftsmodelle inhärent mit Annahmen aus unserer Zeit behaftet sind, deren Zulässigkeit für die Zeit um Christi Geburt fraglich ist.

Abschließen möchte ich diesen Bericht mit einer ethischen Frage, die in diesem Zusammenhang gestellt wurde, und deren Diskussion mir äußerst wichtig erscheint: „Was tun wir eigentlich, wenn wir Menschen als Bevölkerungszahlen modellieren und welche Konsequenzen hat das für unser Denken?“