

Simulation

Simulation ist eines der wichtigsten Anwendungsfelder informatischer Systeme. Es gibt nicht die eine bestimmte Form von Simulation, sondern viele verschiedene Varianten, die alle eine Berechtigung für den Einsatz im Unterricht hätten. Wir werden uns allerdings nur mit der **Simulation dynamischer Systeme** [System Dynamics] beschäftigen.

Softwareentwicklung

Man kann auch im Unterricht eine eigene Software entwickeln¹. Diese Software könnte allein die Durchführung des Simulationsvorgangs erledigen², andererseits kann man auch eine eigene Software entwickeln, die sich mit der Umsetzung des Modellierungsprozesses beschäftigt. Im ersten Fall hätte man überwiegend algorithmische Inhalte zu behandeln [Thema wären Algorithmen und Datenstrukturen]. Eine andere Sicht bietet die Programmierung des Modellierungstools. Hierbei hätte man vermutlich überwiegend einen Objekt-orientierten Ansatz, müsste einerseits die Interaktionen des Benutzers mit dem Programm modellieren und implementieren und andererseits das Erzeugen und die Interaktion der Objekte im System.

Softwareanwendung

In diesem Kurs geht es nicht um die Entwicklung einer solchen Software sondern um deren Anwendung. Dabei ist nicht das Ziel eine Produktschulung. Die eingesetzten Softwaresysteme haben das Ziel, den Modellierungsprozess zu unterstützen. Es geht uns also um den Modellierungsprozess selbst. Dabei wird es sich nicht vermeiden lassen, sich mit der speziellen Arbeitsweise des jeweils eingesetzten Tools zu beschäftigen. Das ist aber nicht das Ziel.

Simulationstools

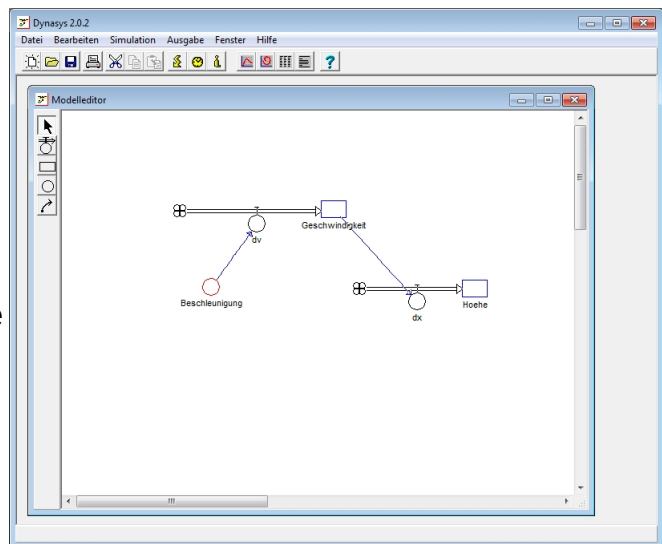
Für die Arbeit im Kurs stehen zwei externe Tools zur Verfügung, die beide (zumindest für Schulen) kostenlos zur Verfügung stehen. Die aktuell erarbeiteten Materialien beziehen sich auf das von mir entwickelte Pythonprojekt, das unter <http://claus-albowski.de/software> herunter zu laden ist.

Dynasys

Eines davon ist **Dynasys**³, das es nur für Windows gibt, was allerdings kein gravierender Hinderungsgrund ist, da es bei Linux problemlos unter Wine läuft. Dies Programm ist eine ältere Entwicklung, wird nicht weiter entwickelt, hat aber den Charme der einfachen Bedienung.

Was es nicht bietet, sind Wirkungsdiagramme, die man mit einem anderen Grafiktool, beispielsweise DIA erstellen könnte.

Sinnvoll ist aber, dazu auf das von mir auf



1 Siehe dazu das von mir auf der Basis von Python entwickelte Projekt.

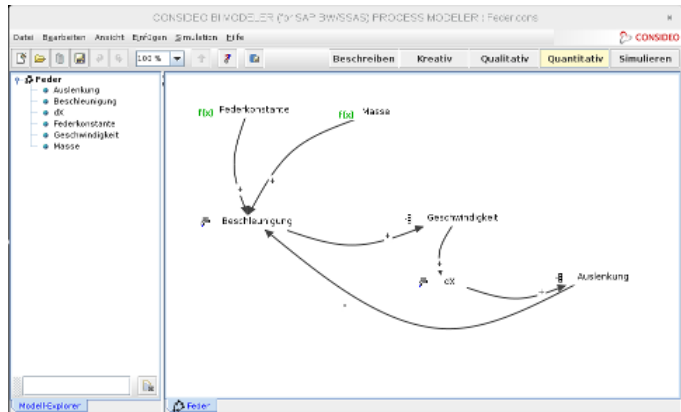
2 Siehe aber dazu unten den Hinweis auf die Anwendung von Tabellenkalkulationsprogrammen.

3 Zum Beispiel bei <http://www.heise.de/download/dynasys-1178613.html>

der Basis von Python entwickelte Projekt **Wirkungsdiagramme** zurückzugreifen.

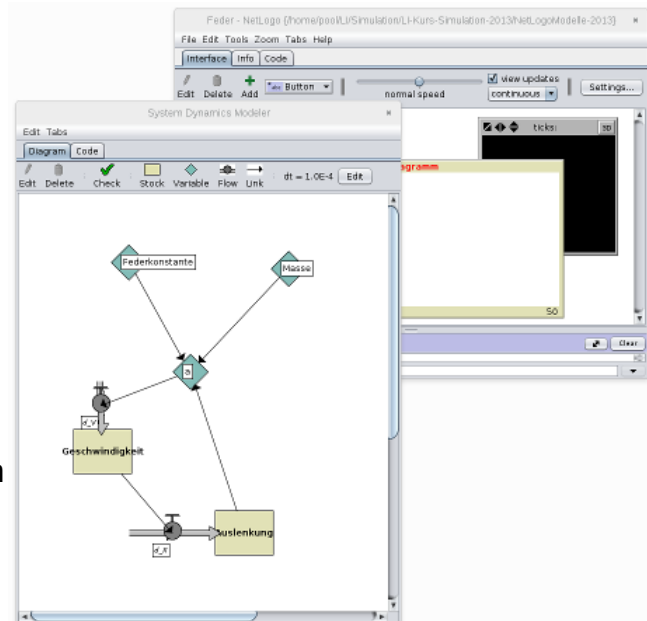
Consideo

Das andere zur Zeit [noch] aktuelle Simulationstool ist **Consideo**¹, ein auf Java basierendes Produkt und damit für alle Plattformen zur Verfügung stehend. Consideo wird kommerziell vertrieben, ist für Schulen aber kostenlos lizenziert. Allerdings hat der Entwickler die Arbeit an dem von uns benötigten System mit der Version 7.5 eingestellt und entwickelt ein neues Modellbildungstool unter dem Namen **iModeller** weiter. Ich halte dieses Tool für unsere Unterrichtszwecke nicht für geeignet.



NetLogo

Eine weitere Möglichkeit bietet **NetLogo**². Dieses Tool ist eigentlich nicht für die Simulation dynamischer Systeme, sondern für Agenten-basierende Simulation entwickelt, bietet System Dynamics aber an³. NetLogo ist ebenfalls auf der Basis von Java entwickelt und steht daher für alle Systeme zur Verfügung. Es stellt zwar eine ernsthafte Alternative für den Unterricht dar, da zu den verschiedenen Softwaresystemen jeweils eigene Versionen von Abituraufgaben bereit gestellt werden müssen, arbeiten wir zur Zeit jedoch nur mit Dynasys und Consideo.



Alternativen

Es gibt mehrere kommerzielle Tools, auf die ich hier nicht eingehe. Weiterhin gibt es neben kommerziellen auch einige kostenlosen Browser-basierende Tools, die man sinnvoll einsetzen kann.

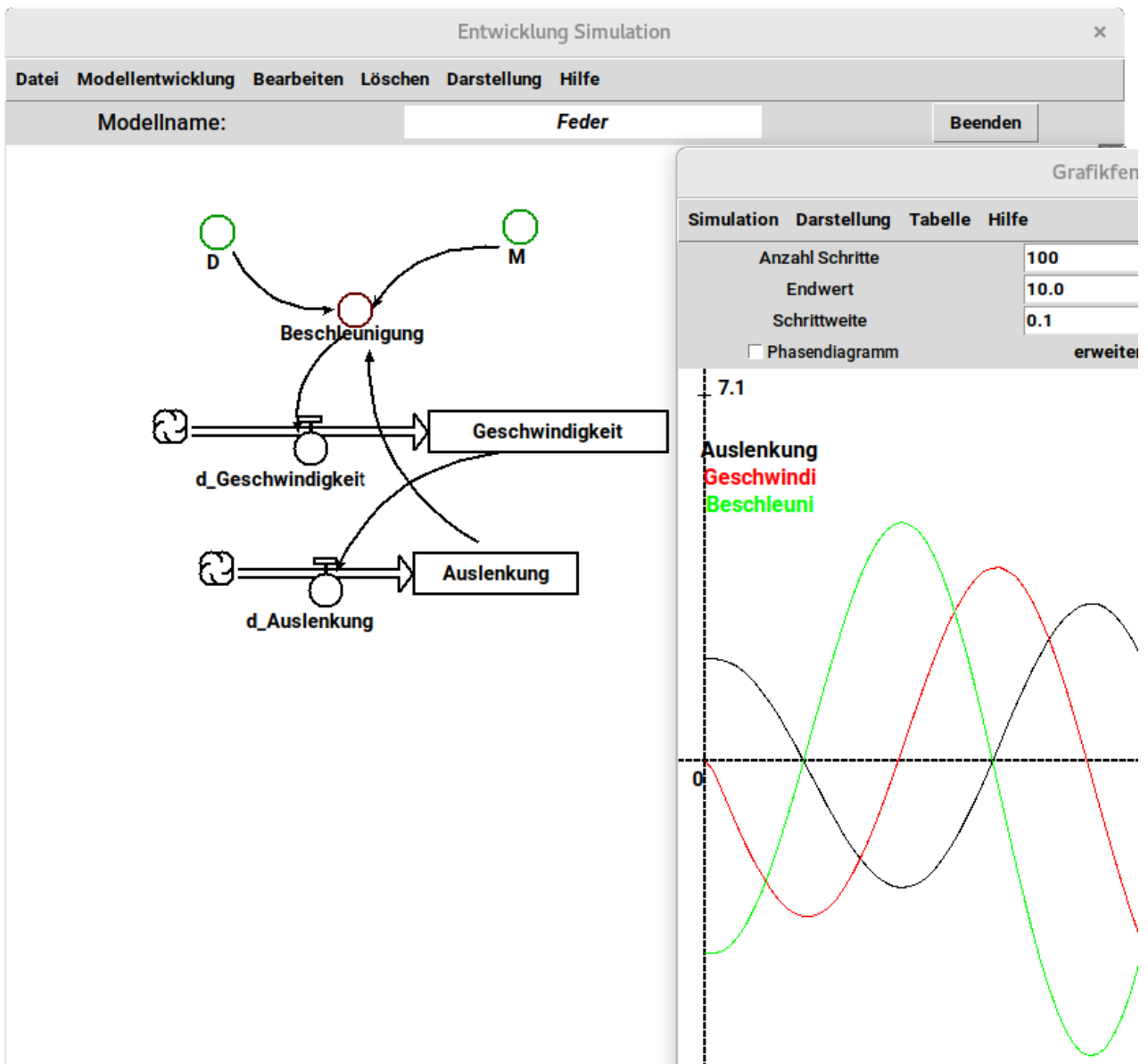
Das Pythonprojekt

Das von mir auf der Basis von Python entwickelte Projekt **Simulation-mit-Python** mit den beiden Zusatzprojekten für die Entwicklung von Wirkungsdiagrammen **Wirkungsdiagramme-mit-Python** und dem Projekt **Export-Wirkungsdiagramme** zur Bearbeitung von Wirkungsdiagrammdateien und Export in Dateien für das Simulationsprojekt.

1 <http://www.consideo.de> [Link zum Download bitte im Kurs abfragen]

2 <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

3 Kommentar bei Wikipedia: *Agent-based modeling environment in LOGO; supports system dynamics models as a secondary feature.*



Modellfenster und Grafikfenster des Simulationsprojekts

Tabellenkalkulation

Viele einfache dynamische Systeme lassen sich leicht mit einer **Tabellenkalkulation** umsetzen. Solange die Zahl der interagierenden Objekte nicht groß ist, können die Ergebnisse durchaus befriedigen. Allerdings sollte man sich dann auf das einfache Euler-Cauchy-Verfahren beschränken, da Runge-Kutta für Schülerinnen und Schüler vermutlich unübersichtlich wird.

Modellbildung und Simulation

„Simulieren“ ist umgangssprachlich nicht wissenschaftlich belegt, sondern negativ mit einer Vorstellung von jemand, der uns etwas vormacht, also beispielsweise so tut, als hätte er eine schwere Erkrankung, die er in Wahrheit aber gar nicht hat. Für unseren wissenschaftlichen Gebrauch ist es daher passend, den Begriff Simulation unmittelbar mit dem zu einer guten Simulation zwingend gehörenden Modellbildungsprozess zu koppeln. Allerdings bezeichnen wir etwas als Simulation, wenn wir gerade nicht eine reale Anwendung durchführen. Daher bleibt die Frage:

Warum Modellbildung und Simulation?

Bei einer Simulation machen wir uns im Modellbildungsprozess ein Abbild einer realen Situation, arbeiten also nicht mit der realen Situation selbst. Diese Mühe machen wir uns aber natürlich nicht grundlos. Begründungen für den Einsatz von Simulationen gibt es viele, von denen hier einige angeführt werden.

Begründungen für Simulation

Zeitliche Begründung: Vorhersage

Eine zeitliche Begründung für eine Simulation liegt vor, wenn der Zustand des Systems, das wir simulieren wollen, in der Zukunft liegt. Wir versuchen in dem Fall also eine Vorhersage für die Zukunft zu machen. Klimamodelle sind ein typisches Beispiel für diese Situation.

Finanzielle Begründung

Diese zeitliche Begründung kann mit einer finanziellen verknüpft sein. Wird ein neues Flugzeug entwickelt, wird man in Computerexperimenten und ein Modell des Flugzeugs in Windkanalexperimenten untersuchen, lange bevor mit der Fertigung des Flugzeug begonnen wird.

Zeitliche Begründung: Dauer

Eine andere zeitliche Begründung liegt vor, wenn wir einen Ablauf simulieren wollen, der sehr lange dauert. Sterne können wir heute am Himmel beobachten, die Entwicklung eines Sterns von einer kollabierenden Gaswolke hin zu dem heutigen Zustand können wir aber nicht beobachten, da er möglicherweise viele Milliarden Jahre dauert.

Systemische Begründung: Größe

Am vorigen Beispiel erkennen wir auch einen weiteren Anwendungsbereich, der sich aus der Größe des Systems ergibt. Einmal sind wir nicht in der Lage, mit unserer Erde, einem Stern oder gar dem ganzen Weltall Experimente durchzuführen. Auf der anderen Seite geschehen manche chemischen und physikalischen Vorgänge in Größenordnungen, die sich einer direkten Untersuchung (noch?) entziehen.

Erkenntnistheoretische Begründung

Eine erkenntnistheoretische Begründung liegt bei Systemen vor, deren theoretischen Grundlagen wir nicht oder nur unvollständig kennen oder deren formelmäßige Behandlung zu kompliziert ist. Zu diesen sehr komplizierten Systemen gehört unsere Atmosphäre mit ihren Wetterphänomenen.

Systemische Begründung: Gefahren

Eine wichtige Klasse von Begründungen ergibt sich aus den Anwendungsbereichen selbst. Man untersucht zwar in realen Crashtests das Verhalten von Fahrzeugen in Unfallsituationen, macht das inzwischen aber vielfach aus Kostengründen nicht mehr. Das Verhalten eines Flugzeugs bei einem Absturz wird man aber – nicht nur aus Kostengründen – sicher nicht mit einem realen Experiment untersuchen. Und wo es hinführen kann, wenn man Experimente zur Sicherheit an einem realen Reaktor durchführt, hat der Reaktorunfall von Tschernobyl gezeigt.

Ethische Begründung

Eine wichtige weitere Begründung sind ethische Aspekte. Experimente an Menschen sind in der Nazizeit tatsächlich durchgeführt worden, werden heute aber allgemein als menschenverachtend abgelehnt. Versuche an Embryonen sind sehr umstritten. Selbst Tierversuche sind immer wieder in der öffentlichen Diskussion. Es ist eine ethische Frage von grundlegender Bedeutung, ob man solche Experimente real durchführen sollte oder nicht.

Modellarten

Für Modelle können grafische Darstellungen genutzt werden, also z.B. verkleinerte realistische Darstellung des Originals, Schnittzeichnungen, Funktions- und Flussdiagramme. Sie können aber auch in (nicht nur mathematischen) Formeln ausgedrückt sein. Natürlich sind auch Modelleisenbahnen Modelle und dass die modellierte Situation nicht trivial sein muss, zeigt die Modelleisenbahnanlage in der Hamburger Speicherstadt.

Für uns ist aber wichtig, dass Computer schnell und genau jede mathematische oder logische Beschreibung verarbeiten können. Das Modell kann daher auch in einem speziellen Programm bestehen. Das ermöglicht Modellbildung und Simulation für alles, was sich formal beschreiben lässt und berechenbar ist.

Dynamische Systeme

Unser Kurs behandelt die Modellierung und Simulation dynamischer Systeme. Auch wenn wir dabei nicht selbst an unüberschaubar komplexen dynamischen Systemen arbeiten, lernen wir dabei die Grundlagen kennen, mit denen man auch solche Systeme in ihren Entwicklungen modellieren und ihr Verhalten simulieren kann. Dies geschieht mit dem Ziel, sie besser zu verstehen und passender mit ihnen umzugehen.

Grenzen der Simulation

Das Problem des Zusammenhangs von Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Computern kennt man aus dem Bereich der KI.

Auch Simulationen sind natürlich Grenzen gesetzt. Gerade bei Wettersimulationen hat sich durch die aktuellen Entwicklungen der KI ein Wechsel ergeben: Datenbasierte KI kann inzwischen einfacher und (nicht in allen Situationen, aber oft) genauer Vorhersagen zum Wetter machen, da die Modellierung der Systeme beim Wetter sehr aufwändig ist.

Berechenbarkeit

Die Grenze der begrenzten Rechenzeit und des Speicherplatzes kennen wir aus dem Bereich der Intelligenten Suchverfahren. Klimasimulationen beispielsweise erfordern nicht

nur einen hohen Aufwand an Rechenzeit, sondern setzen auch besonders leistungsfähige Computersysteme voraus, die weit über die von uns verwendeten Einzelplatzsystem hinaus gehen.

Kosten

Daneben tritt auch hier die Grenze der Entwicklungskosten von Software auf: Aufwand und Ertrag müssen in einem vernünftigen Verhältnis zu einander stehen.

Das führt in der Regel dazu, dass ein Modell möglichst einfach sein muss und es stellt sich die Frage, ob bei dieser Vereinfachung nicht wesentliche Eigenschaften der Realität verloren gegangen sind. Simulationsergebnisse sind nur auf dieser Basis bewertbar, sie *sind* eben keine *Wirklichkeit*, sondern nur ein Versuch, *Wirklichkeit* zu *beschreiben*, der zwangsläufig fehlerbehaftet sein muss.

Misstrauen Sie allen Aussagen, die mit dem Satz beginnen „*Untersuchungen haben gezeigt, dass ...*“

Ein Modell ist nicht die Realität, sondern nur ein Beschreibung eines kleinen Ausschnitts von ihr.

Diese wichtige Anmerkung macht den Spannungsbogen deutlich zwischen Überinterpretation von Simulationen und Ignorieren der Folgerungen aus den gewonnenen Erkenntnissen.

Historie

Die ersten Grundlagen zu System Dynamics entwickelte Jay W. Forrester am MIT. In den 70-er Jahren des 20. Jahrhunderts hat das Buch **Grenzen des Wachstums** zur Meadows-Studie des **Club of Rome** eine sehr wichtige Rolle in der politischen Diskussion gespielt. Insbesondere in Europa hat es zu merklichen Veränderungen der politischen Landschaft geführt. Manche der vorausgesagten Szenarien haben sich nur teilweise oder verzögert ergeben. Wenn man aber gerade heute unsere derzeitige Situation auf der Welt unvoreingenommen betrachtet, erkennt man¹ grundsätzlich die vorhergesagte Entwicklung².

... und Zukunft?

Die aktuelle Debatte um die Klimaentwicklung zeigt, wie wichtig es gewesen wäre, Vorhersagen ernst zu nehmen und rechtzeitig gegen zu steuern. So bleibt die Frage, ob und in welchem Umfang die „*Fridays for Future*“ – Demonstrationen zu Veränderungen führen werden.

1 Wie die aktuelle politische Situation in Amerika in der Trump-Ära und in anderen Ländern (Brasilien, aktuell Argentinien) zeigt, erkennt das offensichtlich nicht jeder.

2 "Im Juni 2006 erschien das 30-Jahre-Update der "Grenzen des Wachstums" in deutscher Sprache. Die Fragen, die das Buch 1972 bereits aufwarf, sind bis heute von Politik, Wirtschaft und Gesellschaft unbeantwortet geblieben. Eine verlorene Zeit, sagen die Autoren, und verweisen auf ihre Computeranalysen. Die Rezeptionsgeschichte von "Grenzen des Wachstums" ist für Dennis Meadows eine Geschichte des Nicht-Verstehens."

Quelle: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/meadows_meadows_randers_grenzen_des_wachstums_da_1081.htm