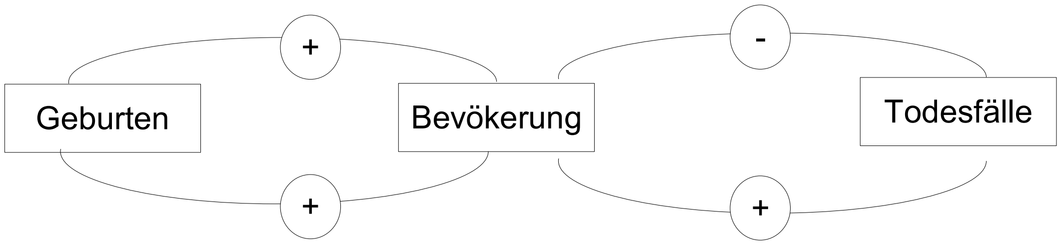
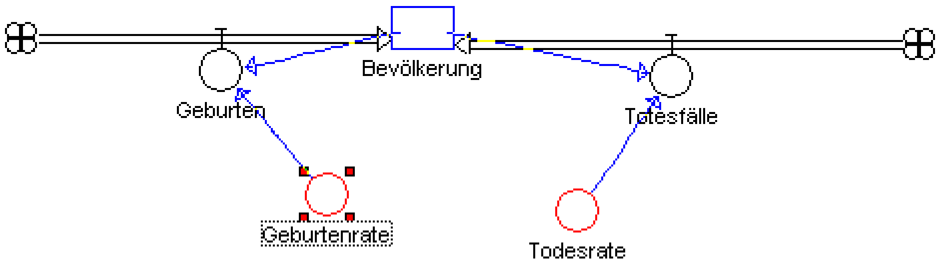
Simulation

Das wichtigste Beschreibungsmittel von Zusammenhängen in dynamischen Systemen sind Wirkungsdiagramme. Die Darstellung dieser Wirkungsdiagramme in unserem Buch weicht leider etwas von der in unserem Simulationstool Dynasys ab. Die einfache Abbildung 1.4



zur Bevölkerungsentwicklung aus dem Buch sieht auf der Dynasys – Oberfläche so aus:



Diese Darstellung von Dynasys ist mehr an der Programmierung orientiert als an der Darstellung der Zusammenhänge. Daher sollten wir zunächst bei der Darstellungsart aus dem Buch bleiben.

Die Kennzeichnung durch die Pfeile stellt ***Wirkungen*** dar, mit den Rechtecken sind Größen dargestellt, also Eigenschaften des Systems, die sich mit Zahlenwerten beschreiben lassen. Die den Pfeilen hinzugefügten Plus- oder Minuszeichen geben an, ob die Wirkung

- verstärkend ist – sie vergrößert den Wert der Größe – oder
- dämpfend – sie verkleinert den Wert der Größe.

Durch die Darstellung werden die ***Rückkopplungskreise*** besonders deutlich. Das sind Wirkungskreise, bei denen man ausgehend von einer Größe in Pfeilrichtung über andere Größen wieder zur ersten kommen kann. Diese Rückkopplungskreise können

- ***selbstverstärkend*** wirken (***eskalierender*** Rückkopplungskreis) oder
- ***dämpfend*** wirken (***stabilisierender*** Rückkopplungskreis).

Den Diagrammen sind nicht die Werte zu entnehmen. Man kann also weder die Werte von Bestandsgrößen erkennen, noch kann man die Stärke der Kopplung erkennen. Allerdings erkennt man an den Diagrammen sehr schnell die Struktur der Zusammenhänge.

Wachstumsprozesse

Wachstumsprozesse sind grundsätzlich sehr vielseitig. Es gibt aber einige wenige grundlegende Wachstumsprozesse, die immer wieder – auch in anderen Wachstumsprozessen mit enthalten – auftreten. Das sind:

- ***lineares Wachstum:***
  Der Zusammenhang von zwei Größen lässt sich im Fall des linearen Wachstums so beschreiben, dass eine Änderung bei der einen Größe um einen bestimmten Betrag immer auch zu einer festen Veränderung der anderen Größe um einen – zwar anderen – aber auch immer gleichen Betrag führt.
  Besonders einfach ist der Zusammenhang zu beschreiben, wenn der Spezialfall eines linearen Zusammenhangs auftritt, eine Proportionalität. Dann ist das Verhältnis beider Größen stets konstant und man kann beobachten, dass bei einer Verdoppelung der einen Größe auch die andere sich verdoppelt, bei einer Verdreifachung sich auch verdreifacht usw.

- ***exponentielles Wachstum:***
  Beim exponentiellen Wachstum nimmt die abhängige Größe nicht immer um den selben Summanden zu, sondern mit dem selben Faktor. Verändert sich die eine Größe also um die selbe Rate, dann vervielfältigt sich die andere mit dem selben Faktor. Wenn beispielsweise nach einer bestimmten Zeit der doppelte Wert auftritt, tritt nach der doppelten Zeit der vierfache Wert auf, nach der dreifachen Zeit der achtfache Wert, nach der vierfachen Zeit der sechzehnfache Wert usw.

- ***polynomiales Wachstum:***
  Das polynomiale Wachstum tritt in dynamischen Prozessen seltener auf. polynomial kann z.B. quadratisches Wachstum bedeuten oder kubisches Wachstum o.ä.
  Wächst beispielsweise ein Metallstab linear (z.B. beim Gießen), dann wächst seine Länge zwar linear, seine Oberfläche aber (fast) quadratisch und sein Volumen kubisch.

Für das Auftreten der jeweiligen Prozesse sind die realen Bedingungen entscheidend. Dafür lassen sich sprachliche Formulierungen finden, an denen man sich orientieren kann:

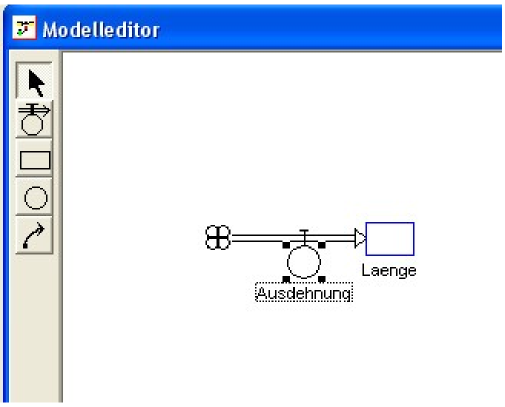
lineares Wachstum	Der Zuwachs ist proportional zu einem festen Bezugswert (Ausgangswert o.ä.) der Größe.
exponentielles Wachstum	Der Zuwachs ist proportional zum jeweils aktuellen Wert der Größe.
logistisches Wachstum	Wie exponentiell – allerdings auch proportional zum Abstand von einem Maximalwert.

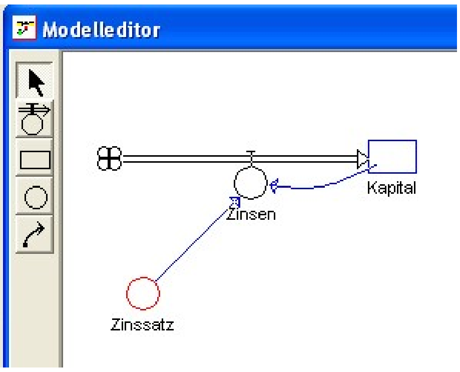
Zu der Interpretation eines Wachstumsprozesses gehört also immer die Frage nach dem „Warum...“. In manchen Fällen wird man sie nicht vorher klären können. Dann führt die umgekehrte Fragehaltung von einem beobachteten Wachstumsprozess zu der Formulierung eines inneren Zusammenhang des Systems.

Beispiele

Ein Beispiel für lineares Wachstum:

Wenn sich ein Metalldraht erwärmt, dann dehnt er sich aus, wird also länger. Dies hat wichtige technische Folgen: Bei gespannten Drähten, wie z.B. den Oberleitungen von Eisenbahnen, kann man die Enden nicht fest einspannen, sondern muss einen Dehnungsausgleich berücksichtigen. Bei Messungen in der Physik stellt man fest, dass ein solcher Draht sich bei der selben Temperaturänderung immer um den selben Betrag ausdehnt und dabei ist es egal, welche aktuelle Temperatur er hat. Wird er also bei einer Erwärmung um 20 °C insgesamt 2mm länger, dann passiert das bei einer Erwärmung von 0 °C auf 20 °C genau so, wie bei einer Änderung von 30 °C auf 50 °C.





Ein Beispiel für exponentielles Wachstum:

Wenn wir die jährliche Verzinsung eines Kapitals bei gleichbleibendem Zinssatz und Zinseszins betrachten, dann beobachten wir exponentielles Wachstum. Die Zinsen des ersten Jahres werden dem Kapital zugeschlagen, vermehren also das Kapital und im zweiten Jahr werden die Zinsen auf der Grundlage dieses vermehrten Kapitals berechnet. Der Zuwachs – die Zinsen – sind also immer proportional zum aktuellen Wert des Kapitals.

Anmerkung:

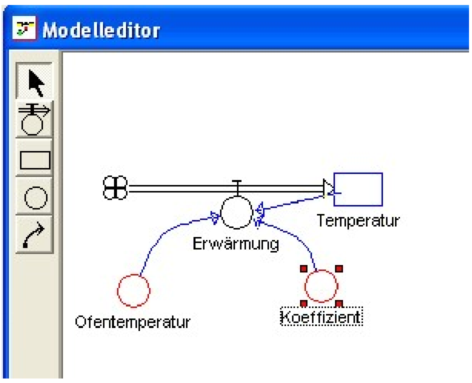
Wir benutzen den Begriff Wachstumsprozesse auch dann, wenn die Werte tatsächlich abnehmen, obwohl dann eigentlich eine Formulierung wie Abnahme oder Zerfall angemessener wäre. Das führt dann leider zu solch sprachlichen Entgleisungen wie „negativem Wachstum“. Der radioaktive Zerfall ist ein solcher Prozess, bei dem man die richtige Formulierung bevorzugt.

Aufgabe:

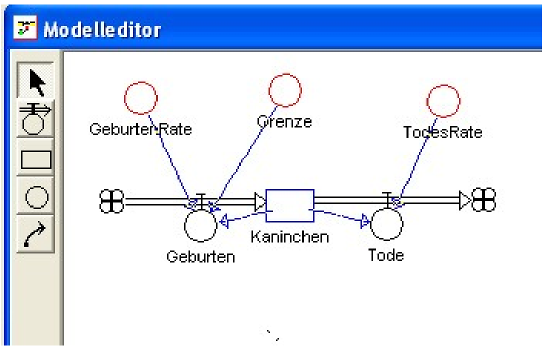
Ist radioaktiver Zerfall ein linearer oder exponentieller Prozess?

Beschränktes Wachstum

Beim beschränkten Wachstum ändert sich die Größe proportional zur Differenz zwischen dem aktuellen Wert und dem Maximalwert. Dadurch nimmt der Zuwachs ständig ab und die Kurve nähert sich einem waagerechter Verlauf an.



Logistisches Wachstum



Beim logistischen Wachstum treten beide vorigen Fälle gleichzeitig auf. Deutlicher vielleicht noch als beim vorigen Fall ist die Bedeutung des Maximalwertes zu erkennen:

Es gibt für das System eine Sättigungsgrenze für die Anzahl der Kaninchen. Nähert sich die aktuelle Zahl der Kaninchen der Sättigungsgrenze, ist eine weitere Vergrößerung ihrer Anzahl nicht mehr möglich[1].

Sind die Wachstumsraten bei der Simulation sehr hoch, ist es möglich, dass der aktuelle Wert dabei über den Sättigungswert hinausschießt. Dies wird in einer realen Situation insbesondere dann in der Regel passieren, wenn die Veränderungen mit Verzögerung eintreten. Bei der Umsetzung ist insbesondere auch auf Normierung zu achten: Wenn das Produkt der Größe mit der Differenz der Größen multipliziert wird, tritt damit das Quadrat der Größe auf! Das muss bei der Wahl der Geburtenrate oder bei der Formel für die Geburten berücksichtigt werden.

1 Es muss allerdings bezweifelt werden, dass die Wirkung wie im o.a. Diagramm bei der Vermehrung ansetzt. Vermutlich steigt im betrachteten Fall eher die Zahl der Todesfälle so an, dass sie die Zahl der Geburten zumindest aufhebt.

Modellbildung

Die von uns untersuchten einfachen Beispiele von Wachstumprozessen stellen zwar nur einen kleinen und beschränkten Ausschnitt aus der großen Zahl möglicher Anwendungen dar. Dennoch sind an ihnen schon viele grundlegende Probleme zu beobachten gewesen und wir haben auch neue Entdeckungen machen können.

Der Prozess der Modellbildung selbst ist in der Simulation nicht viel anders als bei der Softwareentwicklung. In jedem Fall wird er bei realistischen Anwendungen zyklisch sein, wie das folgend beschriebene Schema[1] zeigt:

Ausgehend von der Realwelt (Miniwelt) entwickeln wir ein Modell, verwenden dabei ein Wortmodell, Wirkungsdiagramme, Flüssediagramme und ein formales Modell. Führen wir nun die Simulation aus, dann erzielen wir Ergebnisse, die wir zunächst in der Regel noch interpretieren müssen, also so auswerten, dass wir sie wiederum an Hand der realen Situation beurteilen können.

Diese Beurteilung der realen Situation geschieht bei Simulationen allerdings in zweifacher Hinsicht:

1. Das Modell wird geprüft an der realen Situation. Abweichungen vom erwarteten Verhalten führen zu einer Änderung zumindest der Parameter.
   Bei grundsätzlich anderem Verhalten werden auch die Annahmen, die dem Modell zu Grunde liegen geändert und damit das Modell selbst modifiziert.
2. Es werden Vorhersagen über zu erwartendes Verhalten der Realwelt gewonnen. Kann man dieses Verhalten sofort überprüfen, dann sind wir wieder bei Variante 1. In vielen Fällen benutzt man aber Simulationen für Systeme, die man nicht direkt überprüfen kann (z.B. Simulation einer Sternentwicklung) oder möchte (Simulation einer Kernschmelze eines Reaktors) oder zumindest nicht jetzt, da (z.B. Simulation einer Klimaentwicklung) Reaktionen stattfinden sollen, bevor die Entwicklung den vorhergesagten Weg nimmt.
   In diesem Fall besteht nun also die Möglichkeit, durch Handeln den Zustand der Realwelt so zu ändern, dass das System in neuen Simulationsdurchläufen ein „besseres“ Verhalten erwarten lässt.
   Die gewonnenen Ergebnisse können dabei auch möglicherweise zu einem neuen Verständnis der Zusammenhänge im System führen, die dann wieder auf Variante 1 führen.

1 Siehe das Diagramm im Arbeitsbuch „Simulation dynamischer Vorgänge“