

Bestandsgrößen und Flussgrößen

Bestands- und Flussgrößen begegnen uns täglich. Dennoch haben empirische Untersuchungen (z.B. Sweeney/Sterman 2000) gezeigt, dass es vielen Menschen schwer fällt, in bestimmten Situationen den Unterschied zwischen Beständen und Flüssen richtig zu beurteilen.

1 Was sind Bestandsgrößen?

Man kann Bestandsgrößen folgend definieren:

Eine Bestandsgröße ist eine Größe, die, ausgehend von einem bestimmten Wert, im Laufe der Zeit ausschließlich durch Zuflüsse vergrößert und durch Abflüsse verringert wird.

Beispiele für Bestandsgrößen und zugehörige Zuflüsse bzw. Abflüsse:

Bestandsgröße	Zuflüsse	Abflüsse
Benzin im Autotank	Tanken an der Tankstelle	Benzinverbrauch, Verdunstung
Wasser in einer Badewanne	Wasserzufluss	Wasserabfluss
Anzahl Gäste in einem Hotel	Ankünfte an Gästen	Abreisen von Gästen
Autos auf einem Parkplatz	ankommende Autos	abfahrende Autos
Studierende einer Uni	Immatrikulationen	Exmatrikulationen, Ausscheiden von Uni
Bevölkerung eines Ortes	Geburten, Zuwanderung	Sterbefälle, Abwanderung
Fahrgäste in einem Bus	zusteigende Fahrgäste	aussteigende Fahrgäste
Kontostand	Zubuchungen	Abbuchungen
Fettgewebe im Körper	Aufbau an Fettgewebe	Abbau an Fettgewebe, Fettabsaugung
Staatsvermögen	Staatseinnahmen	Staatsausgaben
CD-Sammlung	Erwerb von CD's	Verkauf, Verlust, Vernichtung von CD's
Stand von Auto-Kilometerzähler	gefahrte Kilometer	(Zurückstellen des Zählers)
Stand des Stromzählers	Stromverbrauch	-
radioaktives Isotop	-	Zerfall

Die obigen Beispiele zeigen, dass Bestandsgrößen üblicherweise sowohl Zuflüsse als auch Abflüsse besitzen. Es können auch mehrere Zu- und Abflüsse sein, wie z.B. beim Bevölkerungsstand mit Geburten und Zuwanderung als Zuflüssen und Sterbefällen und Abwanderung als Abflüssen. In selteneren Fällen haben Bestände nur Zuflüsse (z.B. ein Stromzähler, der nie nach hinten zählt) bzw. nur Abflüsse (Zerfall einer radioaktiven Substanz ohne externe Zufuhr an dieser Substanz).

Zuflüsse und Abflüsse sind üblicherweise strukturell verschieden: Das Einlassen von Wasser in eine Badewanne und das Ablassen von Wasser erfolgt über verschiedene Kanäle, die Abreise eines Gastes ist etwas anderes, als wenn ein Gast ankommt; ein ankommendes Auto ist etwas anderes als ein abfahrendes Auto. Dennoch kann man in gewissen Fällen Zu- und Abflüsse saldieren: beispielsweise ergibt die Differenz zwischen Staatseinnahmen und Staatsausgaben den Nettoüberschuss bzw. die Nettoneuverschuldung des Staates für einen bestimmten Zeitraum.

2 Eigenschaften von Bestandsgrößen

Bestandsgrößen repräsentieren den Zustand des Systems und sind Grundlage für Entscheidungen. Ein Flugzeugpilot braucht zur Steuerung des Flugzeugs genaue Informationen über aktuelle Zustandsparameter des Flugzeuges: Position, Höhe, Treibstoffmenge im Tank usw. Alle diese Größen sind Bestandsgrößen, die von entscheidender Bedeutung für die Steuerungsmaßnahmen des Piloten sind. Genauso ist eine Bilanz eine zusammenfassende Aufstellung aller Vermögensbestände und Verbindlichkeiten (ebenfalls Bestandsgrößen) einer Firma, die maßgeblich als Grundlage für Firmenentscheidungen dient.

Bestände geben einem System Trägheit und Erinnerungsvermögen. Bestände akkumulieren Ereignisse der Vergangenheit. Die Schallplattensammlung eines Musikliebhabers akkumuliert sämtliche Plattenkäufe des Sammlers. Auch wenn der Sammler seine Sammeltätigkeit einstellt: der vorhandene Bestand an Schallplatten bleibt weiter erhalten. Ähnlich verhält es sich etwa mit einem im Weltraum fliegenden Raumschiff: Eine einmal erreichte Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung wird (ohne Einfluss weiterer äußerer Kräfte) unverändert beibehalten, (auch) wenn keine weitere Kraftzufuhr erfolgt.

Bestandsgrößen ermöglichen Verzögerungen. Eine Verzögerung ist ein Prozess, bei dem der Output gegenüber dem Input zeitlich verschoben ist. Damit dies möglich wird, muss der Input in irgendeinem Bestand gewissermaßen zwischengelagert werden. Daher ist bei der Modellierung von Verzögerungen immer wenigstens eine Bestandsgröße notwendig involviert. Wenn z.B. angelieferte Rohstoffe erst nach einer gewissen Zeit verarbeitet werden, dann impliziert die sich ergebende Verzögerung zwangsläufig einen Lagerstand im Rohstofflager. Genauso impliziert eine Rolltreppe mit einer gewissen Transportdauer immer einen Bestand an Personen, die sich gerade auf der Rolltreppe befinden – auch wenn der Abfluss am Ende der Rolltreppe exakt den gleichen zeitlichen Verlauf haben mag wie der Zufluss, nur eben um die Transportzeit verzögert (unter der Annahme, dass alle Personen auf der Rolltreppe nur stehen).

Bestände ermöglichen dynamische Ungleichgewichte zwischen Zuflüssen und Abflüssen. Normalerweise laufen in einem System korrespondierende Zu- und Abflüsse zeitlich nicht völlig synchron. Z.B. entspricht der Kapitalbedarf einer Person nicht exakt den zeitlichen Geldzuflüssen. Um diese Unterschiede auszugleichen (bzw. um sie überhaupt erst zu ermöglichen), braucht man irgendeine Möglichkeit, einen Geldbestand zu speichern: sei dies auf einem Konto oder in Form von Bargeld in der Brieftasche. Auch die Zufuhr und Ausscheidung von Flüssigkeit im menschlichen Körper erfolgt asynchron, was notwendigerweise die Fähigkeit zur Speicherung von Flüssigkeit im Körper erforderlich macht.

3 Wie kann man zwischen Bestandsgrößen und Flussgrößen unterscheiden?

Bestandsgrößen sind zeitpunktbezogen, während Flussgrößen zeitintervallbezogen sind. Einen Bevölkerungsstand (oder andere Anzahlen, die bei einer Volkszählung ermittelt werden) oder alle Bestandsgrößen einer Bilanz werden für einem Stichzeitpunkt ermittelt: Für die Volkszählung 2001 ist es z.B. der 15. Mai 1 Uhr früh. Wer zu diesem Zeitpunkt lebt, wird gezählt, wer zu diesem Zeitpunkt gestorben oder noch nicht geboren ist, wird nicht gezählt. Ob eine Größe als Bestandsgröße aufgefasst werden kann, zeigt der sogenannte "Schnappschuss-Test": wir stellen uns die Situation auf einen Zeitpunkt "eingefroren" vor. Alle Größen, die man für diesen Zeitpunkt angeben kann, sind Kandidaten für Bestandsgrößen. Als zweites Kriterium kommt dann noch dazu, dass sich diese Größen im Laufe der Zeit ausschließlich durch Zu- und Abflüsse ändern.

4 Bewegungsgrößen vs. Flussgrößen

An dieser Stelle ist es hilfreich, eine präzisere Unterscheidung zwischen **Flussgrößen** und **Bewegungsgrößen** einzuführen. *Bewegungsgrößen sind absolute Veränderungen von Beständen, Flussgrößen hingegen die relative Veränderung pro Zeiteinheit.* Betrachten wir als einfaches Beispiel eine Badewanne. Zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ seien 20 Liter Wasser in der Wanne, zum Zeitpunkt $t_1 = 5\text{min}$ seien es 80 Liter. Wir nehmen an, dass im betrachteten Zeitraum nur Wasser zufließt und kein Wasser abgelassen wurde. Dann ist die absolute Veränderung des Wasserbestandes von $80 - 20 = 60$ Litern eine Bewegungsgröße. Die korrespondierende Flussgröße für dasselbe Zeitintervall lautet 12 Liter/min, wenn man als Zeiteinheit Minuten nimmt. Nimmt man als Zeiteinheit Sekunden, so hätte dieselbe Flussgröße den Wert 0,2 Liter/sec. Egal, in welcher Zeiteinheit man misst, es gilt immer

$$\text{Bewegungsgröße}(t_0, t_1) := \text{Flussgröße} \cdot \text{Dauer des Zeitintervalls} \quad [1]$$

Bewegungsgrößen und Flussgrößen haben verschiedene Einheiten: Wenn die zugrunde liegende Bestandsgröße in einer bestimmten Mengeneinheit ME (z.B. in Litern) gemessen wird, dann hat die Bewegungsgröße als Differenz zweier Bestandsgrößen dieselbe Einheit ME; die Flussgröße jedoch die Einheit ME/Zeiteinheit.

Die obige Gleichung gibt den Zusammenhang zwischen Flussgröße und Bewegungsgröße jedoch nur dann exakt wieder, wenn man annimmt, dass der Wert der Flussgröße im Zeitintervall (t_0, t_1) konstant ist. Falls man den Wert der Flussgröße im Simulationszeit-

intervall als variabel betrachtet, so ist der Wert der Bewegungsgröße als Integral der Flussgröße über die Dauer des Zeitintervalls (t_0, t_1) definiert:

$$\text{Bewegungsgröße}(t_0, t_1) := \int_{t_0}^{t_1} \text{Flussgröße} dt \quad [2]$$

Ob nun die Bewegungsgröße wie in [1] oder wie in [2] definiert ist: auf jeden Fall wird der neue Wert der Bestandsgröße zum Zeitpunkt t_1 aus dem alten Wert folgend berechnet:

$$\text{Bestand}(t_1) := \text{Bestand}(t_0) \pm \text{Bewegungsgröße}(t_0, t_1) \quad [3]$$

Das " \pm " soll dabei darauf hinweisen, dass in der systemdynamischen Modellierlogik Abflüsse als Bewegungsgrößen mit Werten >0 gesehen werden, die dann vom Bestand abgezogen werden: bei einem Bevölkerungsmodell wird etwa die Anzahl der im Zeitintervall (t_0, t_1) gestorbenen Personen als eine Zahl > 0 vom Bevölkerungsstand subtrahiert und nicht etwa eine negative Personenzahl addiert.

In Systemdynamik-Softwareprodukten werden Gleichungen [1] und [3] zumeist folgend zur Berechnung von Bestandsgrößen zusammengefasst:

$$\text{Bestand}(t_1) := \text{Bestand}(t_0) \pm (t_1 - t_0) \cdot (\text{Zuflüsse}(t_0, t_1) - \text{Abflüsse}(t_0, t_1)) \quad [4]$$

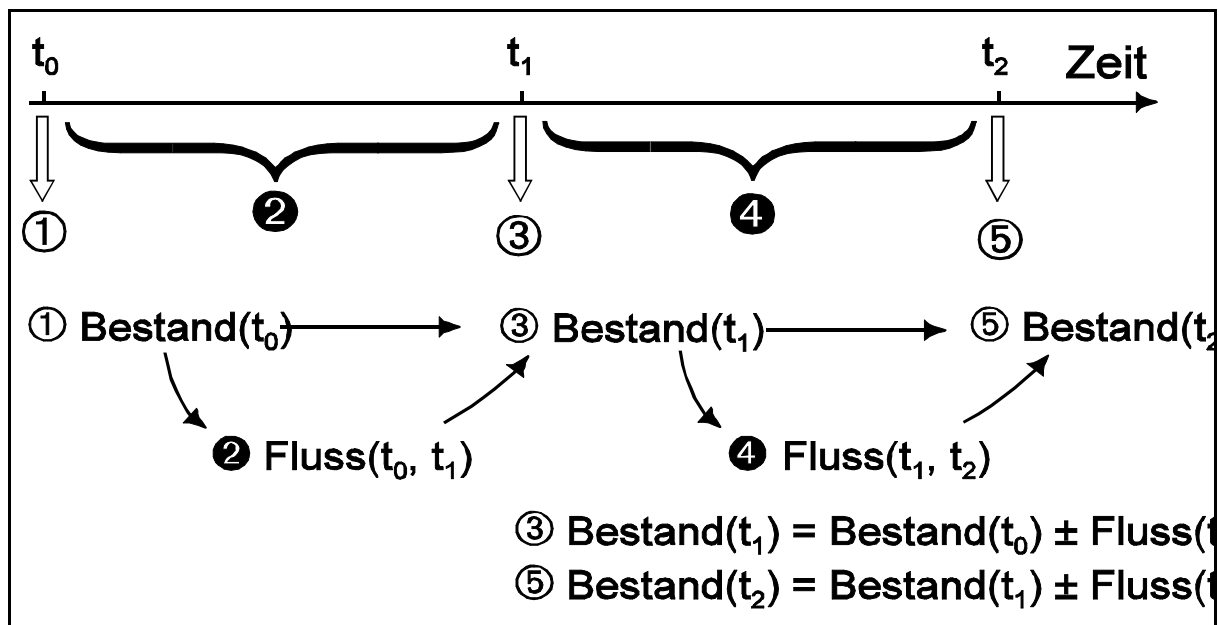


Abb. 1 Rechenlogik systemdynamischer Simulation

5 Irrtümer beim Umgang mit Beständen und Flüssen

In der Praxis werden oft Bestands- und Flussgrößen mit einander verwechselt. Dies kann grobe Irrtümer auslösen.

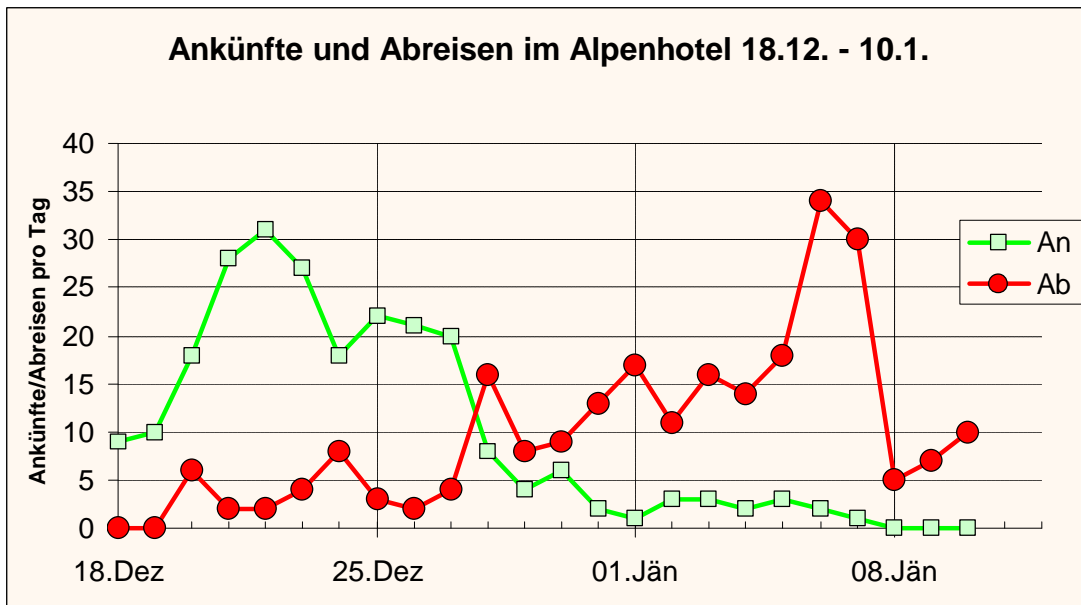
Irrtum 1: Abnahme des Zuflusses wird mit Abnahme des Bestandes verwechselt.

Beispiel: Ein Plattensammler kauft wöchentlich 10 neue CD's. Nachdem die Wohnung von

CD's schon überquillt, verspricht er seiner Frau, seine Sammlung zu halbieren und kauft jede Woche nur mehr neue 5 CD's. Natürlich hat das die Sammlung nicht halbiert, sondern nur den Zuwachs an neuen CD's halbiert. Die Sammlung wächst weiter, halt nur halb so schnell wie bisher!

Der gleiche Schwindel wurde (mit Erfolg!) bis in die jüngste Zeit im Zusammenhang mit der Staatsverschuldung inszeniert: Die Staatsverschuldung ist eine Bestandsgröße, die den Schuldenstand wiedergibt. Das Budgetdefizit ist eine Bewegungsgröße, die den Nettozuwachs an Staatsschulden in einem Jahr wiedergibt. Ein Defizit von 100 Milliarden Geldeinheiten bedeutet, dass am Jahresende die Staatsverschuldung um 100 Milliarden höher ist als am Jahresbeginn. Ein Defizit von 50 Milliarden Geldeinheiten im nächsten Jahr bedeutet, dass die Staatsverschuldung am Ende des darauffolgenden Jahres um weitere 50 Milliarden höher liegt als am Beginn dieses Jahres. Insgesamt hat sich also die Staatsverschuldung um 150 Milliarden Geldeinheiten erhöht. Dies wurde jedoch von der Politik tunlichst verschwiegen, sondern es wurde eine Senkung des Budgetdefizits als "Budgetkonsolidierung" verkauft, was genauso unsinnig ist, wie wenn der Plattensammler eine Reduktion seiner CD-Neukäufe von 10 auf 5 CD's pro Woche seiner Frau als Halbierung seiner Plattensammlung schmackhaft macht. Die Staatsverschuldung kann nur durch Budgetüberschüsse reduziert werden, genauso wie die Plattensammlung nur durch ein Verkaufen, Hergeben oder Wegwerfen von CD's tatsächlich reduziert werden kann.

Irrtum 2: Das Maximum eines Zuflusses ist das Maximum eines Bestandes



Beispiel:

Die obenstehende Abbildung zeigt zwei Flussgrößen: die Anzahl der ankommenden bzw. abreisenden Gäste im Alpenhotel. Dennoch meint die Mehrzahl der Personen, die dieses Diagramm interpretieren sollen, dass am 22. Dezember (dem Tag mit den meisten Ankünften!) die meisten Gäste im Hotel wären. Tatsächlich ist die Zahl der Gäste in der Nacht vom 27. auf dem 28. Dezember maximal.

Die Erklärung: Bis einschließlich 27. Dezember kommen an jedem Tag mehr Gäste an als abfahren: die grüne Kurve mit den Quadraten liegt für jeden der Tage über der roten Kurve mit den Kreisen. Damit steigt an jedem dieser Tage per Saldo die Anzahl der Gäste, weil an jedem Tag, wo mehr Gäste ankommen als abfahren, sind am Abend mehr Gäste im Hotel als am Morgen. Ab 28. Dezember fahren an jedem Tag mehr Gäste ab als ankommen: die Kurve mit den roten Kreisen liegt für jeden Tag über der grünen Kurve mit den Quadraten. Daher sinkt die Zahl der Gäste ab 28. Dezember jeden Tag. Wenn nun die Zahl der Gäste bis einschließlich 27. Dezember jeden Tag steigt und ab 28. Dezember jeden Tag sinkt, hat sie in der Nacht von 27. auf 28. Dezember ihr Maximum.

Literatur:

Ossimitz, Günther (2000): Entwicklung systemischen Denkens. München: Profil-Verlag.

Ossimitz, Günther (2001a): Unterscheidung von Bestands- und Bewegungsmassen: Ergebnisse einer empirischen Untersuchung. Erscheint in: K.P. Müller (Hg): Beiträge zum Mathematikunterricht 2001. Hildesheim: Franzbecker.
<http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/ludwigsburg.pdf>

Sweeney, Linda Booth / John D. Sterman (2000): Bathtub Dynamics: Initial Results of a Systems Thinking Inventory. System Dynamics Review 16(4), pp 249-286.
<http://www.uni-klu.ac.at/~gossimit/pap/sweeney4.pdf>