

Vorlesungsreihe Simulation betrieblicher Prozesse

Modellierung mit Vensim

Prof. Dr.-Ing. Thomas Wiedemann
email: wiedem@informatik.htw-dresden.de



HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT DRESDEN (FH)
Fachbereich Informatik/Mathematik

Modellierung mit Vensim

- Vensim im Überblick
 - Variablentypen
 - Funktionen
 - Einheitenkontrolle und Fehlersuche
 - Spezielle Analysetools und Hilfsmittel

- Typische Lösungen für Modellierungsaufgaben
 - Modellierung heterogener Mengen (Bevölkerung)
 - Wachstumsprozesse mit Beschränkungen
 - Verschiedene Rückkopplungstypen (P / PI / PD / PID)
 - Empirische Funktionen
 - Zeitveränderliche Abhängigkeiten (mit Koeff. / Lookup)
 - Modellierungsbeispiele

Hinweis zu den Vensim - Versionen

Analog zu anderen Softwareprodukten werden auch bei Vensim verschiedene Lizenzen mit unterschiedlichem Funktionsumfang angeboten:

- **Vensim PLE / PLE PLUS** – kostenfreie Studentenversion mit kompletter Bedienoberfläche und leichten Einschränkungen (meist professionelle Tools und Spezialfunktionen)
- **Vensim Standard** mit vollem Funktionsumfang
- **Vensim Professional** zusätzlich mit Optimierungstool
- **Vensim DSS** (Decision Support System) wie Professional und mit der Option eigener Benutzeroberflächen zur Anpassung an spezielle Anwendungsaufgaben (z.B. Gamemodus für schrittweise Evaluierung)
- **Vensim Runtime / Vensim Reader** für die reine Ausführung existierender Vensimmodelle (keine Änderungsmöglichkeit)

Bei der Verwendung der Hilfe, welche für alle Versionen gilt, ist auf die Hinweise Verfügbarkeit der Funktionen / Tools in der eingesetzten Version PLE zu achten!

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 3

Vensim - Unterlagen und Hilfe

Vensim verfügt über eine sehr umfangreiche Online-Hilfe :

- in diesem Foliensatz werden daher nur die wichtigsten Punkte genannt
- entspricht dem Umfang der Professional /DSS Version

Gliederung der Hilfe:

- Users Guide enthält Hilfen zum Einstieg und zur Bedienung von Vensim (gut für den ersten Einstieg)
- Modelling Guide bezieht sich hauptsächlich auf die konzeptionelle Arbeit mit Vensim (enthält Beispiele zur Modellierung)
- Reference-Guide listet die Funktionen alphabetisch auf (siehe Abschnitt 4) und gibt detaillierte Infos zu den einzelnen Menüs und Dialogboxen
- DSS Reference ist nicht relevant für die Übungen (nur Info)

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 4

Vensim - Generelle Vorgehensweise

Nach der allgemeinen Systemanalyse sind mit Vensim folgende typischen Arbeitsschritte auszuführen:

- Eingabe der Variablen, dabei Unterscheidung von normalen und Level-Variablen (Levelvariable sind in der Regel träge Größen, welche sich durch Integration anderer Größen ergeben)
- Verknüpfung der Variablen über Ursache-Wirkungspfeile (arrows) oder Kanäle (flows)
- Bestimmung des Formelzusammenhangs aller Eingangsgrößen mit dem Formeleditor für alle Variablen
- Prüfung des Modells (Model check)
- Simulation bei erfolgreicher Prüfung (bei PLE keine Compilierung o.ä. notwendig, bei DSS auch Portierung als C-Programm möglich)
- Auswertung oder Anwendung weiterer Tools (z.B. SyntheSim)

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 5

Vensim – Variablen

Die nachfolgenden Vensim-Variablenbezeichnungen stehen in enger Beziehung zu den Variablen der "Industrial Dynamics" bzw. sind programmtechnisch abgeleitete Spezialformen dieser:

- **auxiliary variable** - Hilfsvariable für Zwischenrechnungen
- **constant** - Konstante
- **level variable** - Zustandsvariable auf der Basis eines Integrals
- **lookup variable** – Variable auf der Basis empirischer Vorgaben
- **Shadow variable** - Referenz auf interne Systemvariablen oder Anwendervariablen in einem anderen Modellteil (bei mehreren Views in der Professional / DSS Version)
- weitere Typen: Initial für reine Initialisierung, Data – für Ex- und Import von externen Daten,

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 6

Vensim – Variablen - Namensregeln

Zulässige Variablenamen

(siehe auch Help -> Reference Guide -> Abschnitt 2)

- Länge beliebig (Achtung: auch die Formeln werden entsprechend länger)
- zulässig sind beliebige Zeichen, auch Leerzeichen und Sonderzeichen
- bei der Verwendung von Sonderzeichen ist der Variablenname in Formeln in " " zu schreiben (z.B. - + * usw., zur Abgrenzung von Operation und Namen)
- Zeilenumbrüche in Namen sind nicht zulässig (Automatikumbruch erlaubt)
- Groß- und Kleinschreibung spielt keine Rolle bei der Formelauswertung (die erste Schreibweise bei der Definition des Namens wird aber beibehalten)
- Beispiele für gültige Namen:

Lagerbestand Lager und Reserven "Lager + Reserven"

- Alle Variablen werden als single Precision (float) berechnet.
- In DSS besteht die Möglichkeit einer doppelt genauen Berechnung.

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 7

Vensim – Spezielle Variablen

Spezielle Variablen

- Time - aktuelle Zeit des Modells
- Time Step - Zeitschritt
- Final Time – geplante Endzeit der Simulation

- NOISE SEED - Starteinstellung der Zufallszahlengeneratoren (Werte zwischen 0 and 2^{31})

- ABSOLUTE TOLERANCE – maximaler absoluter Fehler bei der Runge Kutta Integration. Falls nicht definiert Default = 0.001.
- RELATIVE TOLERANCE - maximaler absoluter Fehler bei der Runge Kutta Integration. Falls nicht definiert Default = 0.001.

Falls die Fehlerschranken nicht eingehalten werden, wird Time Step reduziert.

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 8

Vensim – Operatoren für Berechnungsausdrücke

Zur Bildung von Berechnungsausdrücken sind folgende Operatoren verfügbar (Ref4):

Assignment Operators

- = := (numeric)

Unary Operators:

- :NOT: (logical)
- -, + (arithmetic)

Binary Operators (geordnet nach Priorität)

- ^ (arithmetic-power)
- *, / (arithmetic)
- +, - (arithmetic)
- <, >, <=, >= (logical relational)
- = (logical relational)
- :AND: :OR: (logical)

The relational and logical operators can only be used in function calls wie IF THEN ELSE. Eine Anwendung arithmetischer Funktionen auf logische Werten ist nicht zulässig. Die Priorität kann mit () geändert werden.

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 9

Vensim – Funktionen

Funktionen ohne Eigendynamik (siehe Reference Manual Chapter 4) :

Mathematische Funktionen

- sin(x), cos(x), sinh(x)
- ln(x)
- abs(x)
- **max(a,b) min(a,b) - auch günstig als Ersatz für IF THEN ELSE in Ausdrücken zu Begrenzung von Werten**
- modulo(x,b) - Rest der Ganzzahldivision durch b
- integer(x) - ganzer Teil von x
- sqrt() - Wurzel
- Random(), Random normal(), ... Zufallsfunktionen

Modellbezogene Funktionen

- INITIAL liefert den Anfangswert der Variablen
- GET XLS DATA('f','t','r','c') - Datenaustausch mit Excel

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 10

Vensim – IF THEN ELSE

Logische Entscheidungen im Sinne von IF THEN-Anweisungen werden ebenfalls als Funktionen realisiert (siehe Reference Manual Chapter 4) :

Bei Aufruf der IF THEN – Funktion im Formeleditor fügt Vensim folgendes ein :

IF THEN ELSE({cond} , {ontrue} , {onfalse})

- IF THEN ELSE steht insgesamt als Funktionsname !
- {cond} ist der Platzhalter für eine Bedingung (dimensionslos)
- {ontrue} ist der Ausdruck welcher bei wahrer Bedingung zurückgegeben wird
- {onfalse} ist der Ausdruck welcher bei falscher Bedingung zurückgegeben wird
- Es wird immer nur der jeweils benötigte Ausdruck berechnet, d.h. der andere Ausdruck kann auch ungültig sein ! Beispiel:
IF THEN ELSE(X = 0.0, 1.0, 1.0 / X) funktioniert immer korrekt !

Hinweis: Eine Schachtelung von Blöcken wie in C oder anderen Programmiersprachen ist nicht notwendig, da sich der jeweilige Rechenzweig im jeweiligen Ausdruck befinden kann.

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 11

Vensim – Dynamische Funktionen

Im Vergleich zu den Standardfunktionen hängen dynamische Funktionen nicht allein vom aktuellen Wert ab, sondern auch von vorherigen Werten.

Verzögerungsfunktionen (delay1, delay3, delay N) :

DELAY1(input,delay time)

- Verzögern die Ausgabe der Input-Größe um delay time .
- Die Einheit von delay time muß mit TIME STEP übereinstimmen !
- Einsetzbar für Zahlungsfristen, Reaktionszeiten von Menschen oder Behörden

Glättungsfunktion :

SMOOTH (input,delay time)

- erreicht durch gleitende, abschnittsweise Integration eine Mittelwertbildung über ein Zeitintervall
- einsetzbar für träges Verhalten von Größen in Abhängigkeit der letzten Eingangsgrößen

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 12

Reihenfolge der Berechnung

Vensim arbeitet die Ausdrücke in folgender Reihenfolge ab:

----- INIT -----

1. Laden externer Daten und Setzen von Konstanten, Berechnung der Startzeit
2. Initialisierung aller Levelvariablen mit den Startwerten (dabei eventuell rekursive Berechnung von Hilfsvariablen)

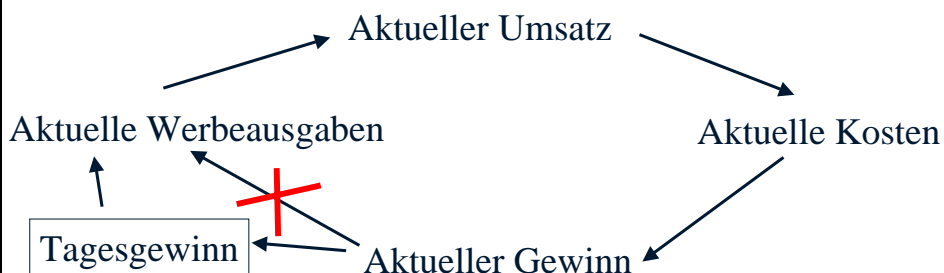
----- LOOP -----

- 3 – Berechnung aller Hilfsvariablen (Auxiliaries), dabei rekursive Vorgehensweise, falls Werte in der Berechnungsformel noch nicht berechnet wurden (potentiell besteht die Gefahr eines Zirkelschlusses (siehe Folgeseite)
- 5 – Berechnung der Flüsse
- 6 – Integration aller Levelvariablen mit Schrittweite TIME STEP
- 7 - Erhöhung der Zeit TIME um TIME STEP
- 8 - Wiederholung ab 3., falls FINAL TIME nicht erreicht

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 13

Entstehung und Behebung von Berechnungsproblemen

Bei einer alleinigen Rückkopplung von Hilfsvariablen können sogenannte Zirkelschlüsse entstehen, d.h der Wert ist nicht berechenbar. Vensim erkennt Zirkelschlüsse bei der rekursiven Auflösung der Formeln und meldet einen Modellierungsfehler.



Behebung :

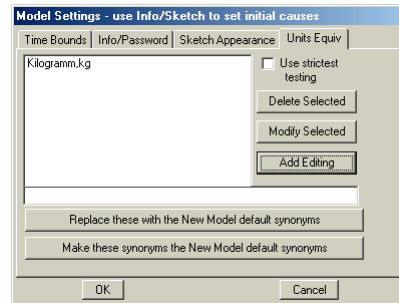
- Unterbinden der direkten Abhängigkeit durch Einfügen von mindestens einer Levelvariablen.
- Im Beispiel durch Bildung von gemittelten Werten.

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 14

Modellierung und Verifizierung mit Maßeinheiten

Maßeinheiten erleichtern die Kontrolle und Arbeit mit unterschiedlichen Größen

- Vensim unterscheidet Einheiten nur nach dem Einheitenbezeichner
- Kilogramm und kg sind für Vensim verschiedene Einheiten
- möglich sind aber Synonymfestlegungen, d.h. Kg entspricht Kilogramm
- Vordefiniert sind second, minute, hour, week, month
- Dmnl - steht für dimensionless
- Beim Dimension-Check (siehe Menü Model) erzeugt Vensim auch die neuen Einheiten und vergleicht diese mit allen Eingangsgrößen
- Beispiel: Bei der Integration einer Beschleunigung mit $[m * s^{-2}]$ ergibt sich $[m * s^{-1}]$ und damit muß das Ergebnis mit Geschwindigkeiten verglichen werden.



Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 15

Beispiele für typische Modellierungsaufgaben

- Bei der Modellierung lassen sich immer wieder einige typische Aufgaben identifizieren, welche in ähnlicher Weise gelöst werden können.
- Modellierung heterogen zusammengesetzter Größen (siehe Folgeseite)
- Modellierung von Wachstums- und Gleichgewichtsprozessen
- Wachstumsprozesse mit Gleichgewichtszuständen

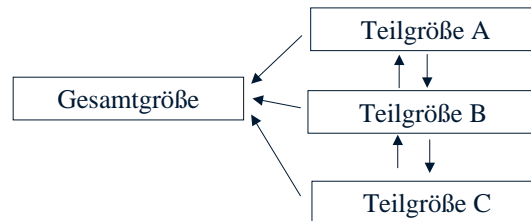
Typische Betriebswirtschaftliche Aufgaben

- Bankguthaben mit unterschiedlichen Zinsen (siehe Vorlesung)
- Lagersteuerung (siehe VL / Übung)
- Steuerung der Nachfrage mittels Werbung (Übung)
- Empirische Werte mit Lookup-Variablen (Übung)
- Sättigungserscheinungen (Übung)

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 16

Modellierung heterogen zusammengesetzter Größen

- Trotz einer einheitlichen Bezeichnung, wie z.B. Personalbestand oder Bevölkerungszahl verbergen sich bei genauerer Betrachtung unterschiedliche Objekttypen darunter.
- Bei Beibehaltung der Gesamtgröße als Summe müssen die unterschiedlichen Objekttypen dann auch getrennt modelliert werden.
- Wechselwirkungen zwischen den Teilgrößen sind ebenfalls abzubilden.



- Beispiel: Modellierung der Bevölkerung (siehe Vorlesungsmitschrift)

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 17

Modellierung von Wachstums- und Gleichgewichtsprozessen

Wachstumsprozesse

- bei konstantem absoluten Wachstum als Integral über Wachstumsrate
z.B. Linearer Wertzuwachs eines Grundstückes
- meist jedoch positive Rückkopplung des absoluten Wachstums zum Wert der Levelvariablen
- Wachstumsprozesse mit Begrenzung
 - Einbau einer Hilfsgröße mit Konvergenz gegen Null bei Erreichen der Sättigungsgrenze und Einbau dieser Größe als Faktor in der Wachstumsformel
 - Bsp.:
 - „Harte“ Begrenzung der Größe durch eine if then-Bedingung :

If (wert < max_wert , wachstumswert , 0)

Achtung : Der Einbau solcher if- Bedingungen führt aus Sicht der Mathematik (und auch der Praxis) zu einer Unstetigkeit, welche sich bei der Berechnung häufig in Warnmeldungen zu nicht erreichbarer Genauigkeit äußert. Nach Möglichkeit diese Option daher eher meiden oder nur für einfache Modelle.

Simulation betrieblicher Prozesse - Einführung - Prof. T.Wiedemann - HTW Dresden - Folie 18