

# System Dynamics

Renate Thies

Universität Dortmund - Fachbereich Informatik  
Lehrstuhl für Systemanalyse (LS11)

Sommersemester 2004

## Einführung

## Level und Flußraten

## Regelkreise

- positive Regelkreise

- negative Regelkreise 1. Ordnung

- negative Regelkreise 2. Ordnung

- gekoppelte nichtlineare Regelkreise

## Dynamo-Compiler

## Einführung

Level und Flußraten

Regelkreise

positive Regelkreise

negative Regelkreise 1. Ordnung

negative Regelkreise 2. Ordnung

gekoppelte nichtlineare Regelkreise

Dynamo-Compiler

## System Dynamics (SD)

- ▶ Modellierungskonzept für wirtschaftliche, soziale, ökologische und psychologische Systeme
- ▶ entwickelt von Jay W. Forrester Ende der 1960er Jahre am Massachusetts Institute of Technology in Cambridge (MIT)
- ▶ erstmalige Anwendung beim Weltmodell im Auftrag des Club of Rome
- ▶ Weiterentwicklung der Weltmodelle von Forrester und Meadows: Aufsehen erregende, pessimistische Prognosen
- ▶ wird heute in großem Umfang zur Modellierung sozio-ökonomischer Systeme genutzt
- ▶ Ende der 1950er Jahre Entwicklung der Simulationssprache DYNAMO am MIT

Einführung

Level und Flußraten

Regelkreise

positive Regelkreise

negative Regelkreise 1. Ordnung

negative Regelkreise 2. Ordnung

gekoppelte nichtlineare Regelkreise

Dynamo-Compiler

## Unterteilung der SD-Modellvariablen

- Level**
- ▶ beschreiben den aktuellen Zustand des Systems
  - ▶ prinzipiell jedes als Zustandsgröße interpretierbares Phänomen

- Flußraten**
- ▶ beschreiben welche Veränderungen die Zustandsvariablen im Zeitverlauf bewirken
  - ▶ repräsentieren empirische Hypothesen

## Levelgleichungen (Definitionsgleichungen)

$$L(t) = L(t - 1) + Z(t - 1, t) - A(t - 1, t) \quad (1)$$

- ▶  $Z(t - 1, t)$  beschreibt die dem Level während der  $t - 1$ -ten Periode zugeflossenen Mengeneinheiten
- ▶  $A(t - 1, t)$  beschreibt die abgeflossenen Mengeneinheiten während der  $t - 1$ -ten Periode

## Levelgleichung in DYNAMO

$$L L.K = L : J + (DT) * (Z.JK - A.JK) \quad (2)$$

- ▶  $J = t - 1$ ,  $K = t$  und  $L = t + 1$
- ▶  $DT$  ist das äquidistante Lösungsintervall zwischen  $K$  und  $J$

## Flussraten

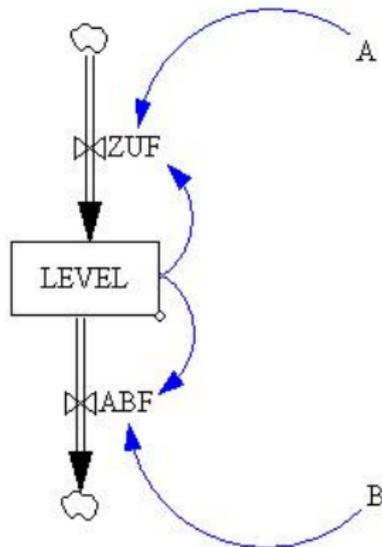
- ▶ Diagrammsymbole: Pfeile
- ▶ Unterscheidung von
  - ▶ Zuflußraten
  - ▶ Abflußraten

Wir unterscheiden zwischen 6 Levelarten und den entsprechenden Flußarten

<b>Levelarten</b>	<b>Flußarten</b>
Information	Informationsfluß
Materialbestand	Materialfluss
Realkapitalstock	Investitionsgüterfluß
Geldbestand	Geldfluß
Auftragsbestand	Auftragsfluß
Personalbestand	Personalfluß

## Diagramm eines aus einem Level bestehenden System-Dynamics-Modell

- ▶ Wolken:  
Senke bzw. Quelle
- ▶ Rechteck:  
Level
- ▶ A, B:  
Konstanten
- ▶ blaue Linie  
Beeinflussung durch  
Hilfvariablen, Parameter, etc.  
(häufig: Verwendung gebrochener  
Linien)



Einführung

Level und Flußraten

**Regelkreise**

positive Regelkreise

negative Regelkreise 1. Ordnung

negative Regelkreise 2. Ordnung

gekoppelte nichtlineare Regelkreise

Dynamo-Compiler

## Regelkreise

Regelkreise sind Schleifen, die die Entscheidung, Aktion und den Zustand des Systems miteinander verbindet und Informationen über den Systemzustand zum Entscheidungspunkt zurückmeldet.  
Unterscheidung in:

▶ positive Regelkreise



- ▶ gerade Anzahl von negativen Wirkungen
- ▶ verstärkend

▶ negative Regelkreise



- ▶ ungerade Anzahl von negativen Wirkungen
- ▶ stabilisierend

Einführung

Level und Flußraten

**Regelkreise**

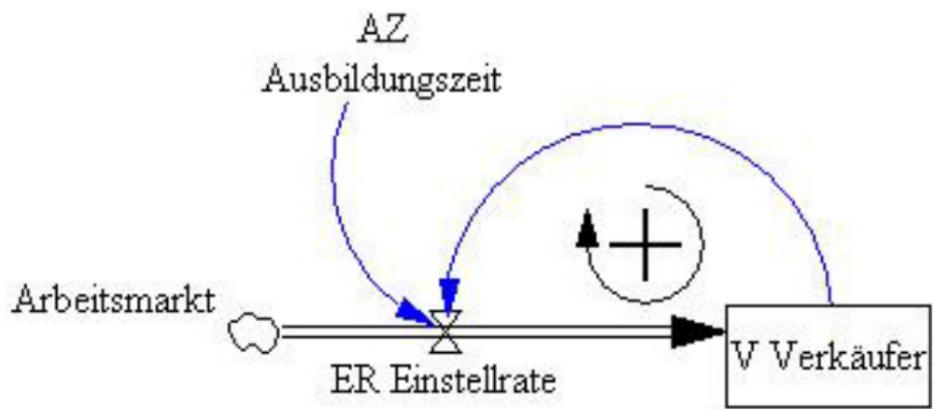
positive Regelkreise

negative Regelkreise 1. Ordnung

negative Regelkreise 2. Ordnung

gekoppelte nichtlineare Regelkreise

Dynamo-Compiler



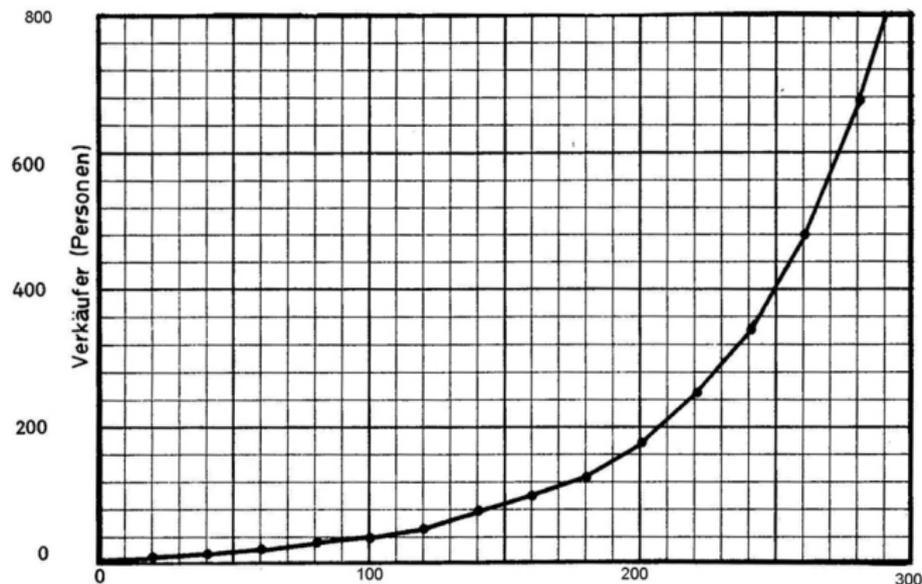
Level, Zustand, Status	V	[Personen]
Rate, Veränderung, Fluss	ER	[Personen/Woche]
Konstanten	AZ	[Wochen]

Es gilt:

$$ER = \frac{1}{AZ} V \Rightarrow \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

**Entwicklung des Systems für  $\Delta t = 20$ :**

Zeit t (Wochen)	Verkäufer V (Personen)	Einstellungs- rate ER (Pers./Wochen)	Veränderung des Verkäuferbestandes (Personen)
0	6	0.12	2.4
20	8.4	0.168	2.4
40	11.76	0.235	3.36
60	16.46	0.329	4.70
80	23.05	0.461	6.59
...	...	...	...



positiver Regelkreis  
für  $\Delta t \rightarrow 0$ : exponentielles Wachstum

Einführung

Level und Flußraten

**Regelkreise**

positive Regelkreise

negative Regelkreise 1. Ordnung

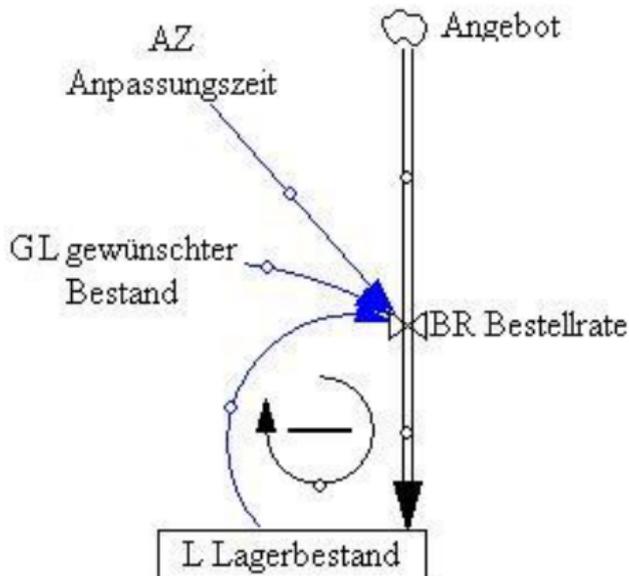
negative Regelkreise 2. Ordnung

gekoppelte nichtlineare Regelkreise

Dynamo-Compiler

## Beispiel:

- ▶ einfaches Lagerhaltungs-Kontrollsystem
- ▶ Annahme: keine Verzögerungen zwischen der Warenbestellung und dem Eintreffen der Waren am Lager



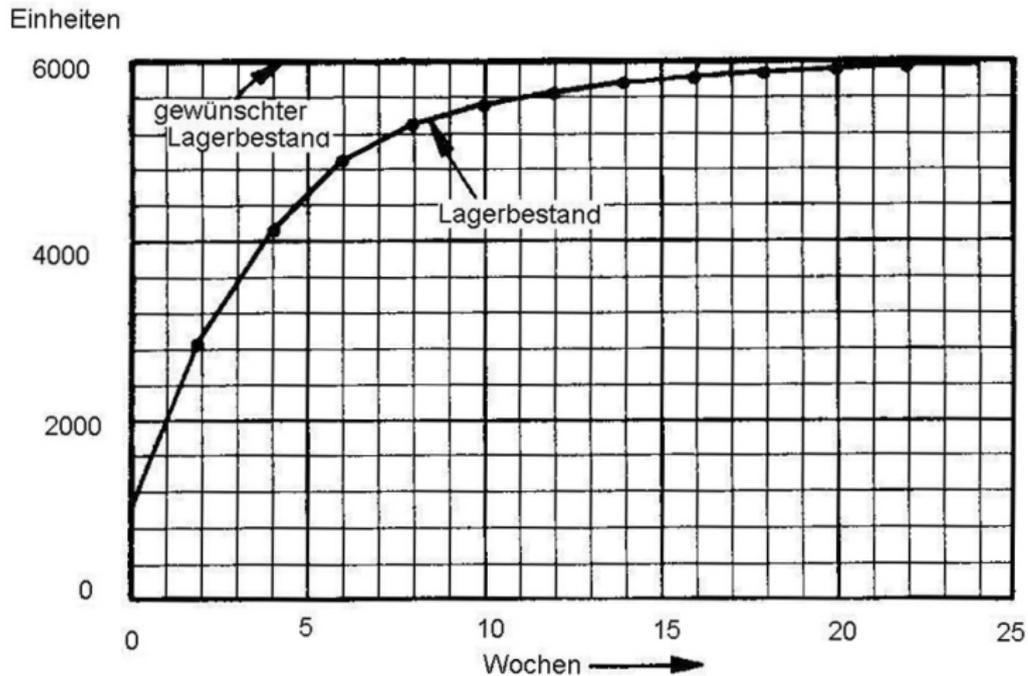
## 1. Gleichung für Bestellrate:

$$BR = GL - L \iff \frac{\text{Menge}}{\text{Zeit}} = \text{Menge} - \text{Zeit}$$

Bestellrate gibt die Mengeneinheiten pro Woche für jede Einheit der Lagerdiskrepanz an, damit erhalten wir:

## 2. Gleichung für Bestellrate

$$BR = \frac{1}{AZ}(GL - L)$$



Verhalten eines Systems erster Ordnung

Einführung

Level und Flußraten

**Regelkreise**

positive Regelkreise

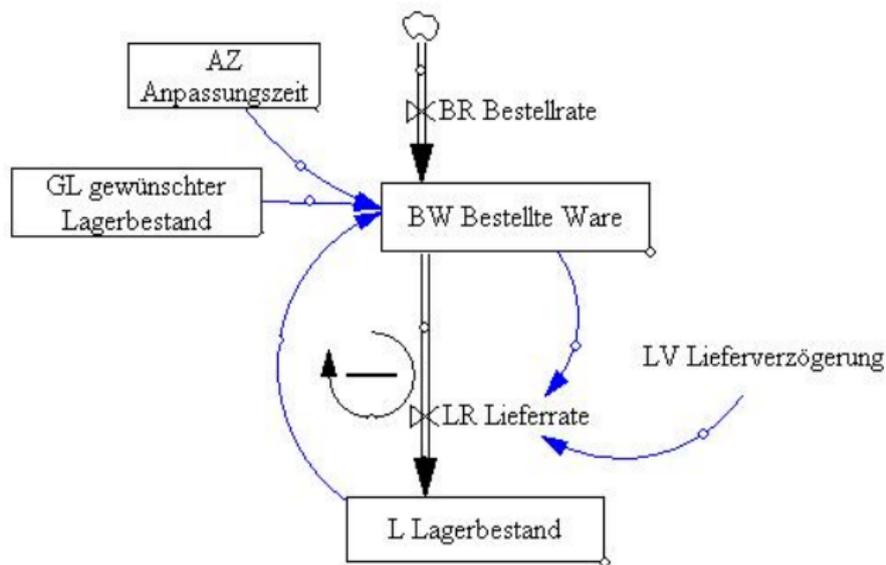
negative Regelkreise 1. Ordnung

**negative Regelkreise 2. Ordnung**

gekoppelte nichtlineare Regelkreise

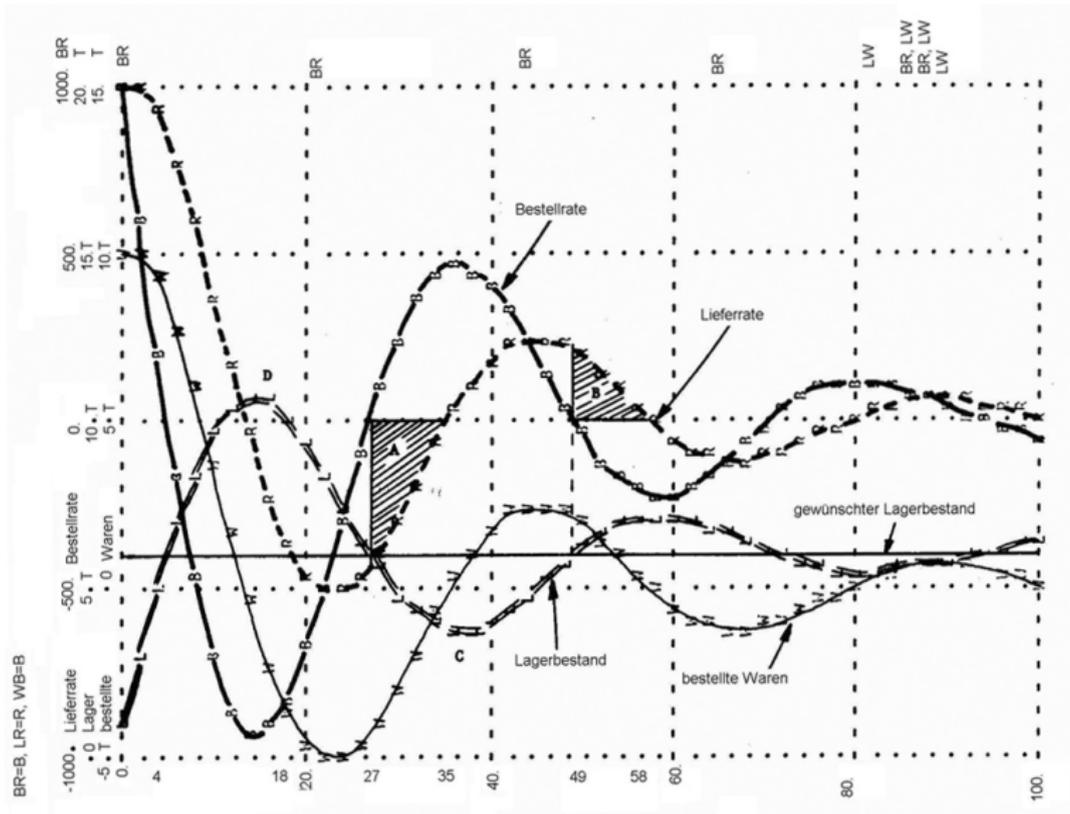
Dynamo-Compiler

## Beispiel:



wie bisher, jedoch *mit* Lieferverzögerung  
 dabei gilt  $LR = \frac{BW}{LV} \iff \frac{\text{Menge}}{\text{Woche}} = \frac{\text{Menge}}{\text{Woche}}$

# Regelkreise - negative Regelkreise 2. Ordnung



Einführung

Level und Flußraten

**Regelkreise**

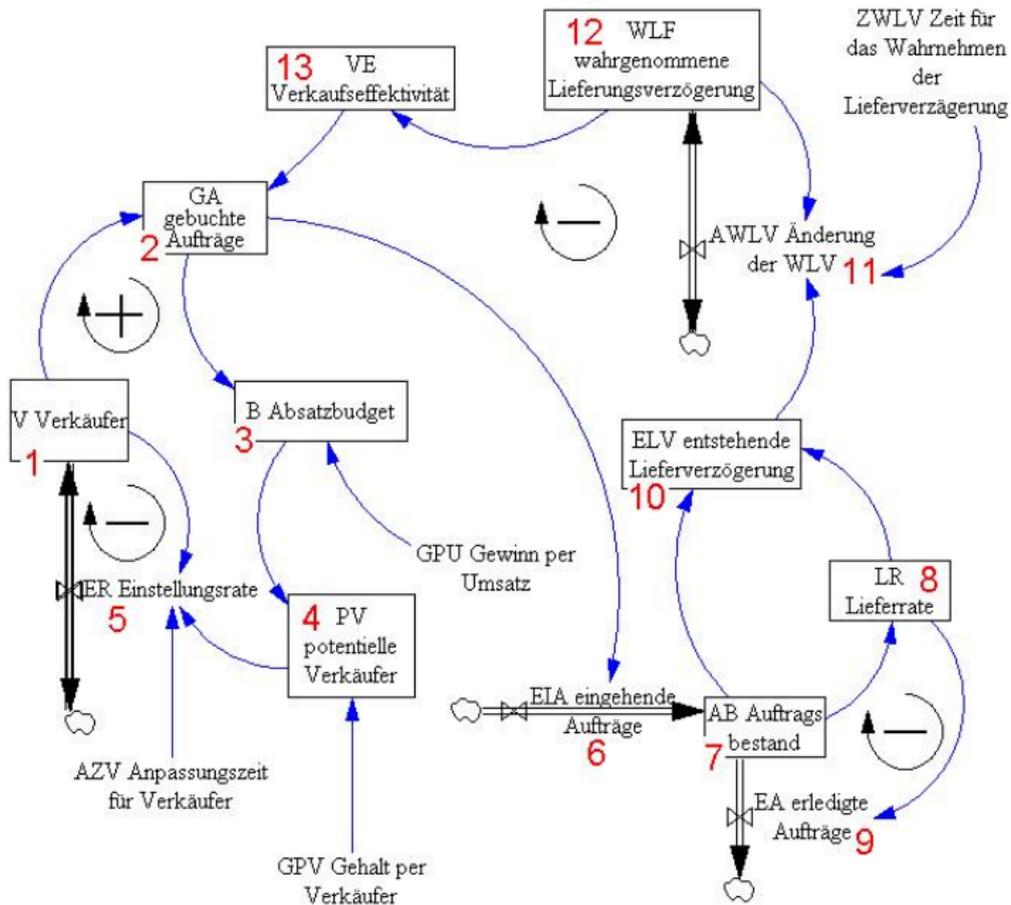
positive Regelkreise

negative Regelkreise 1. Ordnung

negative Regelkreise 2. Ordnung

gekoppelte nichtlineare Regelkreise

Dynamo-Compiler



## Behandlung von Systemoperatoren

1. rechnerisch
  - ▶ ähnlich wie bei einfacheren Systemen (vgl. Folie 14)
  - ▶ Erfassung des Systemverhaltens anhand von Zahlentabellen
2. graphisch
  - ▶ leichter!



## Einführung

## Level und Flußraten

## Regelkreise

positive Regelkreise

negative Regelkreise 1. Ordnung

negative Regelkreise 2. Ordnung

gekoppelte nichtlineare Regelkreise

## Dynamo-Compiler

## Dynamo-Compiler

- ▶ **Dynamik Models**
- ▶ 1962 von R. Pugh am MIT entwickelt
- ▶ Programm, das aus den Gleichungen für Modelle von dynamischen geschlossenen Systemen die erfragten Simulationsergebnisse als numerische Tabellen oder graphische Kurven ausgibt.
- ▶ akzeptiert ein Modell in Form von Zuständen, Flußgrößen und assoziierten Gleichungen
- ▶ Reihenfolge der Gleichungen beliebig

## Der DYNAMO-Compiler führt folgende Operationen aus

1. Überprüfung der Gleichungen nach logischen Fehlern und Ausgabe der Fehler
2. Reorganisation des Modells gemäß dem Strukturkonzept eines dynamischen Systems
  - ▶ Gruppierung der Gleichungen für Zustands- und Flußgrößen
  - ▶ Arrangement der Hilfsgleichungen nach Abhängigkeit voneinander
3. schrittweise Rechnung
4. Vorbereitung des erfragten Outputs und Ausdruck in tabellarischer und graphischer Form

siehe Tageslicht-Folie 1



Sommer, J. W. F. (1972).  
*Grundzüge einer Systemtheorie.*  
Gabler, Wiesbaden.  
ISBN 3-409-31331-1.



Sommer, M. (1981).  
*System Dynamics und Makroökonomie.*  
Haupt, Stuttgart [u.a.].  
ISBN 3-258-03096-0.



Zwicker, E. (1981).  
*Simulation und Analyse dynamischer Systeme in den  
Wirtschafts- und Sozialwissenschaften.*  
de Gruyter, Berlin; New York.  
ISBN 3-11-007266-1.