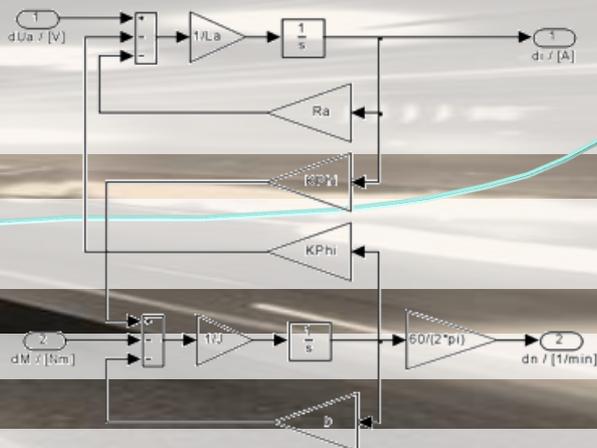


# Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme

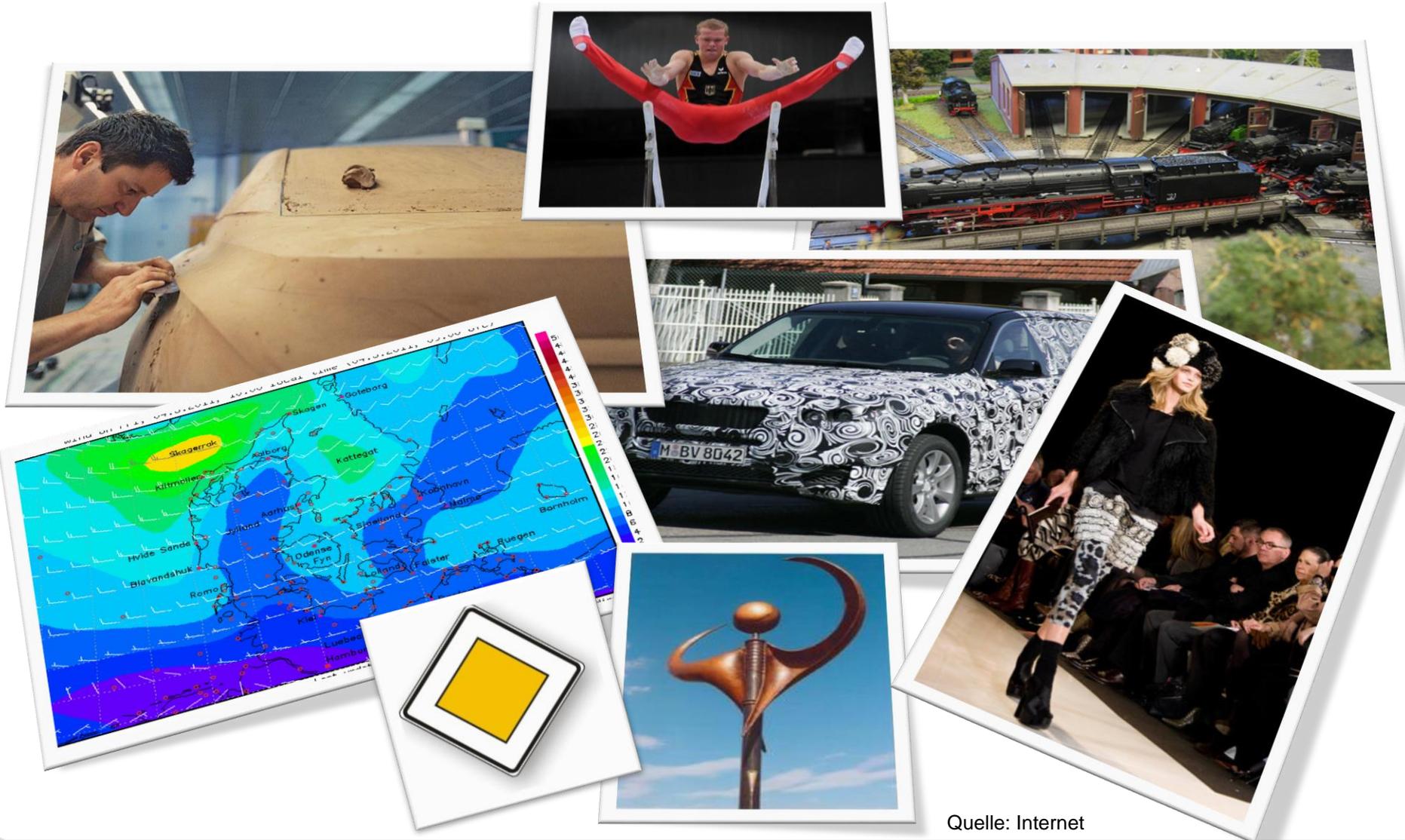
## Vorlesung: Modellbildung und Identifikation

### Kapitel 1



# 1.1 Motivation, Begriffe

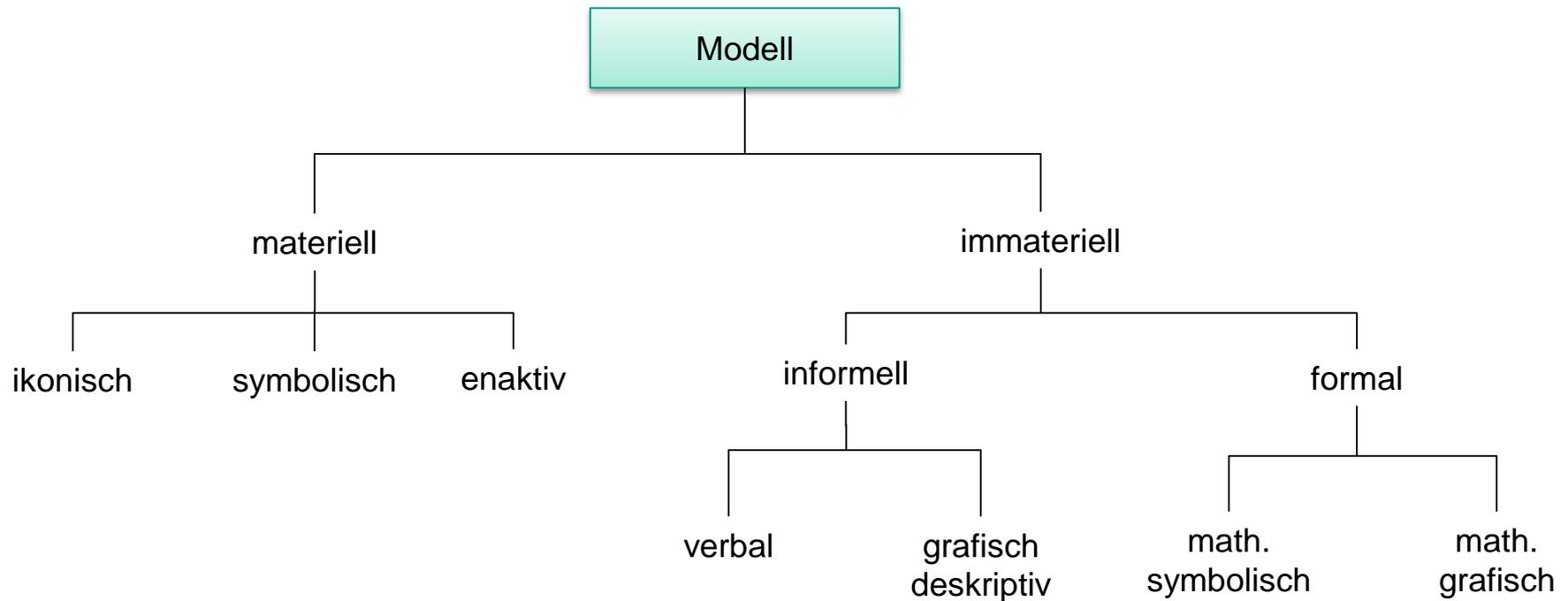
## 1.1.1 Modelle



Quelle: Internet

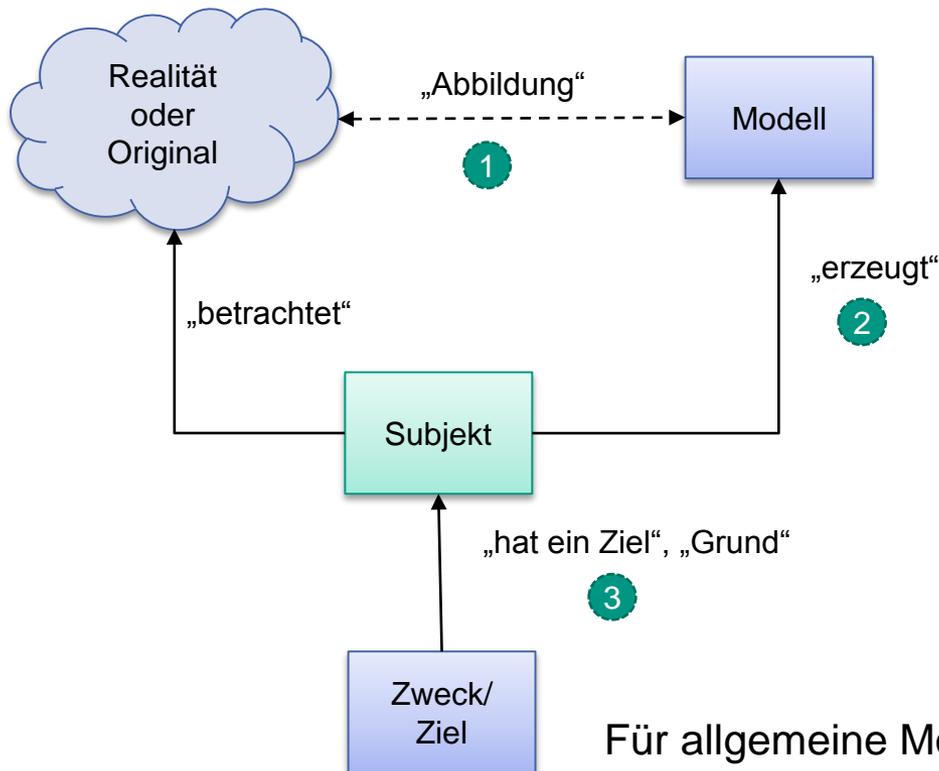
# 1.1 Motivation, Begriffe

## 1.1.2 Klassifizierung von allgemeinen Modellen



# 1.1 Motivation

## 1.1.3 Allgemeine Modelltheorie



Wesentliche Merkmale von Modellen  
(nach Stachowiak):

- 1 Abbildungsmerkmal
- 2 Verkürzungsmerkmal
- 3 Pragmatisches Merkmal

Für allgemeine Modelle umfasst 2 :

- a) Präterition: Originalattribute werden fortgelassen
- b) Kontrastierung: Originalattribute werden hervorgehoben
- c) Transcodierung: Originalattribute werden umgedeutet
- d) Abundanz: Attribute werden zusätzlich eingeführt

# 1.1 Motivation, Begriffe

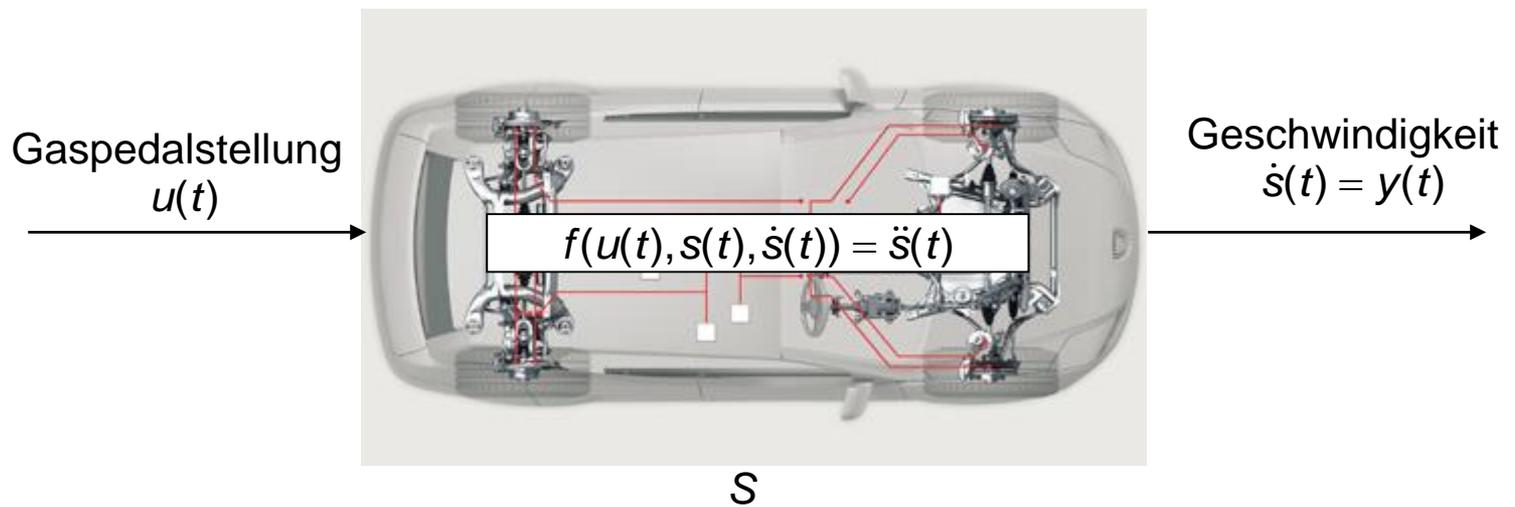
## 1.1.4 Definition technisches Modell

Def.: **Modell**

Ein Modell ist eine an die jeweilige Zielstellung angepasste Beschreibung des Systems unter Zuhilfenahme des verfügbaren Wissens über die Ursache-Wirkungszusammenhänge im System.

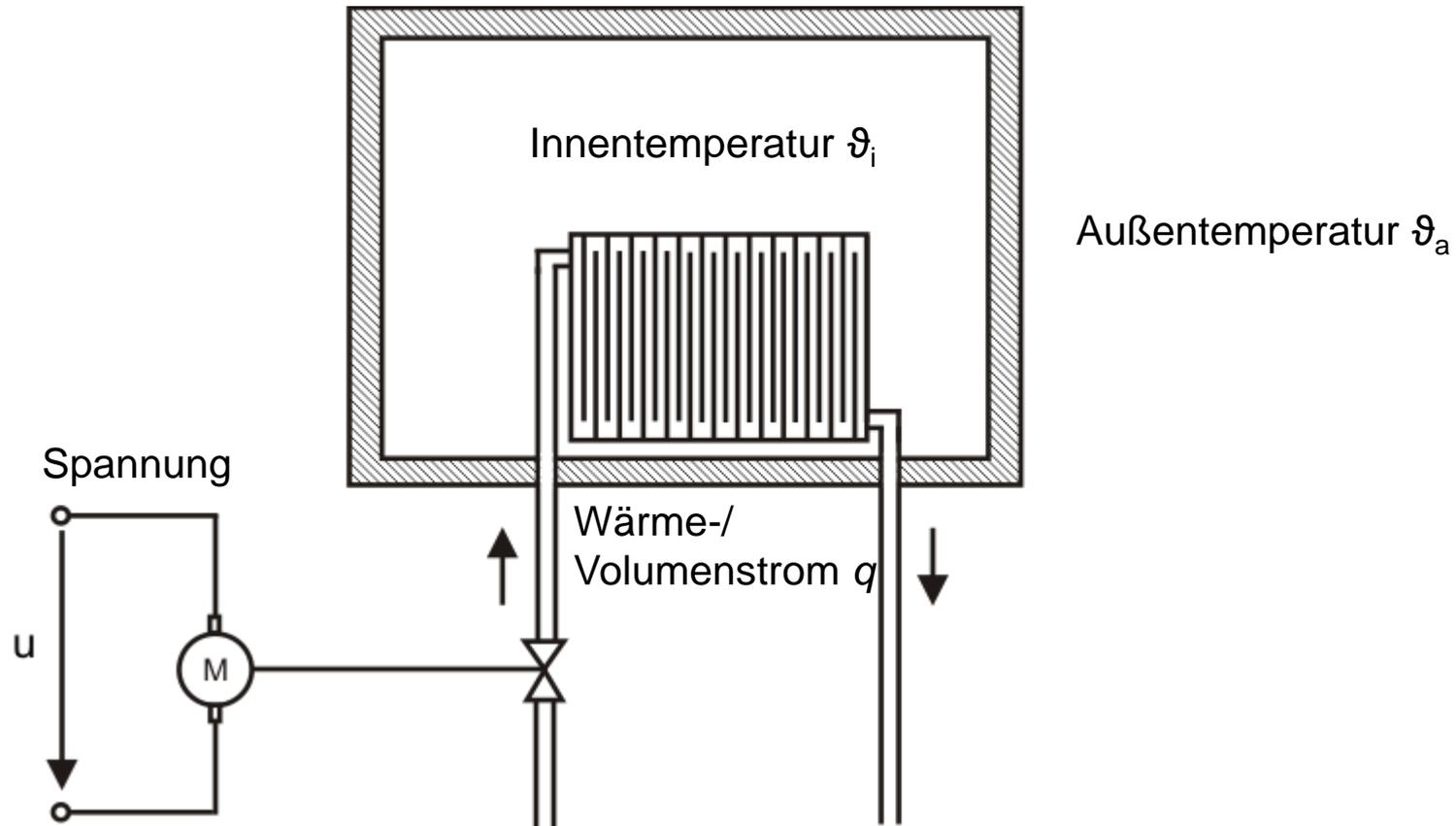
Speziell ein funktionales mathematisches Modell ist ein Modell, bei dem die Zusammenhänge mit mathematischen Funktionen abgebildet sind.

*Beispiel: Automobil*



# 1.1 Motivation, Begriffe

## 1.1.5 Beispiel: Raumheizung



# 1.1 Motivation, Begriffe

## 1.1.6 Mögliche Modellbeschreibungen

$$\dot{\vartheta}_i = f(\vartheta_i, \vartheta_a, q, u)$$

wenn  $u = 0$ , dann  $q = 0$

wenn  $q = 0$ , dann  $\vartheta_i = \vartheta_a$

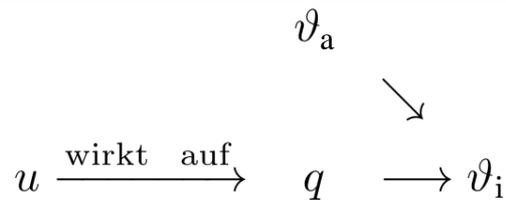
$\vdots$   $\vdots$

wenn  $q = 30$ , dann  $\vartheta_i = 0 = \vartheta_a + \Delta\vartheta_{\max}$

wenn  $u \lesseqgtr$ , dann  $q \lesseqgtr$

wenn  $u \lesseqgtr$ , dann  $\vartheta_i \lesseqgtr$

wenn  $\vartheta_a \lesseqgtr$ , dann  $\vartheta_i \lesseqgtr$



## 1.2 Organisatorisches

### 1.2.1 Termine

#### ■ Vorlesung:

**Uhrzeit:** Mittwoch 14:00-15:30 (siehe Terminplan)

**Ort:** Chemie, Neuer Hörsaal

Prof. Dr.-Ing. Sören Hohmann

Sprechstunde Do 11:30-12:15 (nach vorheriger Anmeldung)

soeren.hohmann@kit.edu

#### ■ Übung:

**Uhrzeit:** Donnerstag 14:00-15:30 (siehe Terminplan)

**Ort:** Tulla Hörsaal

Simon Rothfuß, M.Sc.

Sprechstunde nach Vereinbarung

simon.rothfuss@kit.edu

0721/608-4 3237

## 1.2 Organisatorisches

### 1.2.2 Prüfung

- Mündliche Prüfung
- Prüfungsanmeldung (siehe Prüfungsordnung Bachelor/Master/Diplom)
- Terminvergabe (semesterbegleitend Termine) über das IRS-Sekretariat:

Frau Stassen

Sprechstunden: Mo.-Do.: 08:00-13:00 + 14:00-16:00 Uhr, Fr.: 08:00 - 14:00 Uhr

Raum: 102

Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme

Geb. 11.20 (Engler-Villa)

Termine: 22.02.17 / 20.04.17 / 21.04.17 / 27.04.17

# 1.2 Organisatorisches

## 1.2.3 Übungsablauf (1)

### ■ ILIAS

- Vorlesungsunterlagen
- Übungsaufgaben
- Termine
- Forum

Die Diskussionsplattform ist dazu gedacht, auftretende Fragestellungen bzgl. der Übung/Vorlesung/Prüfung in der Gruppe anzusprechen, zu diskutieren und sich gegenseitig zu helfen.

Der Übungsleiter liest regelmäßig mit und hilft Unklarheiten zu beseitigen.

- Passwort: Abundanz

# 1.2 Organisatorisches

## 1.2.3 Übungsablauf (2)

### ■ Aufgabentypen:

Typ 1: Übungsaufgaben werden vom Übungsleiter vorgerechnet.

Typ 2: Trainingsaufgaben dienen zum Selbststudium  
(Lösungen werden nicht vorgerechnet, aber Kurzlösungen veröffentlicht).

Allgemein gilt: Der Schwierigkeitsgrad von Aufgaben wird durch Pluszeichen symbolisiert.

+	bedeutet	<i>leichte Aufgabe</i>
+++(+)	bedeutet	<i>Prüfungs-/Klausurniveau (oder höher)</i>

# 1.2 Organisatorisches

## 1.2.4 Terminplan

Oktober		November		Dezember		Januar		Februar	
01 Sa	40. W	01 Di		01 Do	Vorlesung	01 So	Neujahr	01 Mi	
02 So		02 Mi	Vorlesung	02 Fr		02 Mo	1. W	02 Do	Übung
03 Mo	Dt. Einheit	03 Do	Vorlesung	03 Sa		03 Di		03 Fr	
04 Di		04 Fr		04 So		04 Mi		04 Sa	
05 Mi		05 Sa		05 Mo	49. W	05 Do		05 So	
06 Do		06 So		06 Di		06 Fr		06 Mo	6. W
07 Fr		07 Mo	45. W	07 Mi	Vorlesung	07 Sa		07 Di	
08 Sa		08 Di		08 Do	Vorlesung	08 So		08 Mi	Vorlesung
09 So		09 Mi		09 Fr		09 Mo	2. W	09 Do	
10 Mo	41. W	10 Do		10 Sa		10 Di		10 Fr	Vorlesungsende
11 Di		11 Fr		11 So		11 Mi	Vorlesung	11 Sa	
12 Mi		12 Sa		12 Mo	50. W	12 Do	Übung	12 So	
13 Do		13 So		13 Di		13 Fr		13 Mo	7. W
14 Fr		14 Mo	46. W	14 Mi	Vorlesung	14 Sa		14 Di	
15 Sa		15 Di		15 Do	Übung	15 So		15 Mi	
16 So		16 Mi	Vorlesung	16 Fr		16 Mo	3. W	16 Do	
17 Mo	Vorlesungsanfang	17 Do	Übung	17 Sa		17 Di		17 Fr	
18 Di		18 Fr		18 So		18 Mi		18 Sa	
19 Mi		19 Sa		19 Mo	51. W	19 Do	Vorlesung	19 So	
20 Do	Vorlesung	20 So		20 Di		20 Fr		20 Mo	8. W
21 Fr	42. W	21 Mo	47. W	21 Mi	Vorlesung	21 Sa		21 Di	
22 Sa		22 Di		22 Do		22 So		22 Mi	
23 So		23 Mi	Übung	23 Fr		23 Mo	4. W	23 Do	
24 Mo	43. W	24 Do	Vorlesung	24 Sa		24 Di		24 Fr	
25 Di		25 Fr		25 So	1. Weihnachtstag	25 Mi	Übung	25 Sa	
26 Mi		26 Sa		26 Mo	2. Weihnachtstag	26 Do	Vorlesung	26 So	
27 Do	Vorlesung	27 So		27 Di		27 Fr		27 Mo	9. W
28 Fr		28 Mo	48. W	28 Mi		28 Sa		28 Di	
29 Sa		29 Di		29 Do		29 So			
30 So		30 Mi		30 Fr	52. W	30 Mo	5. W		
31 Mo	44. W			31 Sa		31 Di			

### Termine:

- **Mittwoch**  
von 14:00 Uhr  
bis 15:30 Uhr  
Hörsaal:  
Chemie, Neuer  
Hörsaal
  
- **Donnerstag**  
von 14:00 Uhr  
bis 15:30 Uhr  
Hörsaal:  
Tulla Hörsaal
  
- **(2SWS+1SWS)**

# 1.3 Übersicht

## 1.3.1 Literatur (Modellbildung)

- Wellstead, P.E. : Introduction to physical system modelling. Academic Press Ltd., London, 1979
- Nollau, R.: Modellierung und Simulation technischer Systeme: Eine praxisnahe Einführung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1. Auflage 2009.
- Janschek, K.: Systementwurf mechatronischer Systeme Methoden, Modelle, Konzepte. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1. Auflage 2010.
- Knabner, P: Mathematische Modellierung. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011 2. Auflage
- Lenk, A.: Elektromechanische Systeme: mechanische und akustische Netzwerke, deren Wechselwirkungen und Anwendungen. Springer, 2001 13. Auflage
- Marker, D.: Model Theory: An Introduction. Springer, 2002 8. Auflage
- Rothmaler, P.: Einführung in die Modelltheorie. Spektrum, Akad. Verl., 1995
- Stachowiak, H.: Allgemeine Modelltheorie. Springer, 1973 15. Auflage
- Kastens, U.: Modellierung: Grundlagen und formale Methoden. Hanser, 2008 2. Auflage

## 1.3 Übersicht

### 1.3.1 Literatur (Identifikation / Matlab u. Simulink)

- Ljung, L.: System Identification: Theory for the User.  
Prentice Hall, Englewood Cliffs;  
2. Auflage 1999.
- Isermann, R.: Identification of Dynamic Systems: An Introduction with Applications.  
Springer, 2011  
25. Auflage
- Young, P.: Recursive estimation and time-series analysis.  
Springer-Verlag, Berlin; 1984.
- Unbehauen, H.: Regelungstechnik III.  
Vieweg, Braunschweig;  
6. Auflage 2000.
- Eykhoff, P.: System identification: parameter and state estimation.  
Wiley, London 1974
- Angermann, A. Beuschel, M. MATLAB - Simulink - Stateflow: Grundlagen, Toolboxen, Beispiele.  
Oldenbourg, 2009
- KIT: Institut für Regelungs- und Steuerungssysteme  
Kompendium zu Matlab/Simulink  
<http://www.irs.kit.edu/1965.php>
- TU München: Lehrstuhl für Regelungstechnik  
Einführung in Simulink  
[http://www.rt.mw.tum.de/fileadmin/w00bhf/www/lehre/pmm/Simulink\\_Einfuehrung.pdf](http://www.rt.mw.tum.de/fileadmin/w00bhf/www/lehre/pmm/Simulink_Einfuehrung.pdf)

# 1.3 Übersicht

## 1.3.2 Vorlesungsinhalt (1)

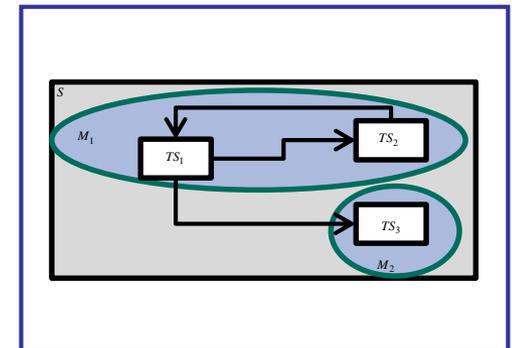
### 1. Einführung

1. Motivation
2. Organisatorisches
3. Übersicht
4. Anwendung von Modellen
5. Klassifikation
6. Vorgehen bei der Modellbildung
7. Validierung und Verifikation



### 2. Strukturierung und Anforderungsanalyse

1. Abgrenzung
2. Strukturiertes System
3. Kausale Modellierung
4. Kopplungsanalyse
5. Strukturierung mit Matlab/Simulink
6. Objektorientierte Modellierung

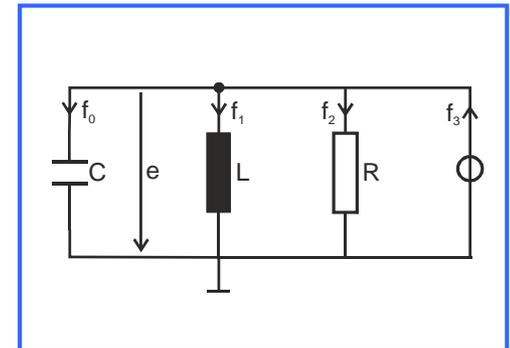


# 1.3 Übersicht

## 1.3.2 Vorlesungsinhalt (2)

### 3. Generalisierte Ersatzschaltbilder und Bondgraphen

1. Motivation
2. Methode der generalisierten Variablen
3. Grundlegende Systemelemente
4. Methode der generalisierten Netzwerkanalyse



### 4. Verallgemeinerte Variationsanalyse

1. Methode der Variationsanalyse
2. Aufstellen der Zustandsgleichungen

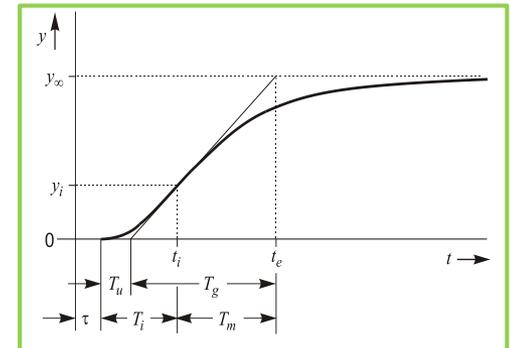
$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_{e_j}} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_{e_j}} = F_j^{(Q)} - F_j^{(F)}$$
$$L = T^* - U$$

# 1.3 Übersicht

## 1.3.2 Vorlesungsinhalt (3)

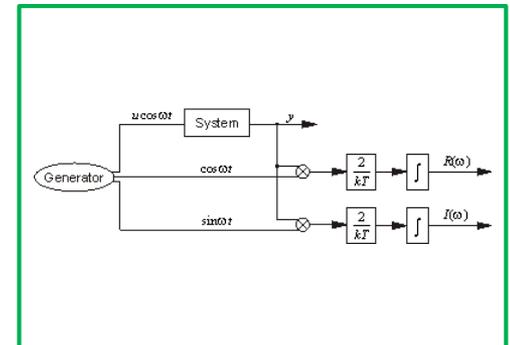
### 5. Identifikation mit parametrischen Modellen

1. Übersicht
2. Kennwertermittlung
3. Least-Square-Verfahren für statische Prozesse
4. Least-Square-Verfahren für dynamische Prozesse
5. Generalized-Least-Square-Methode
6. Methode der Hilfsvariablen
7. Nichtlineare Methoden



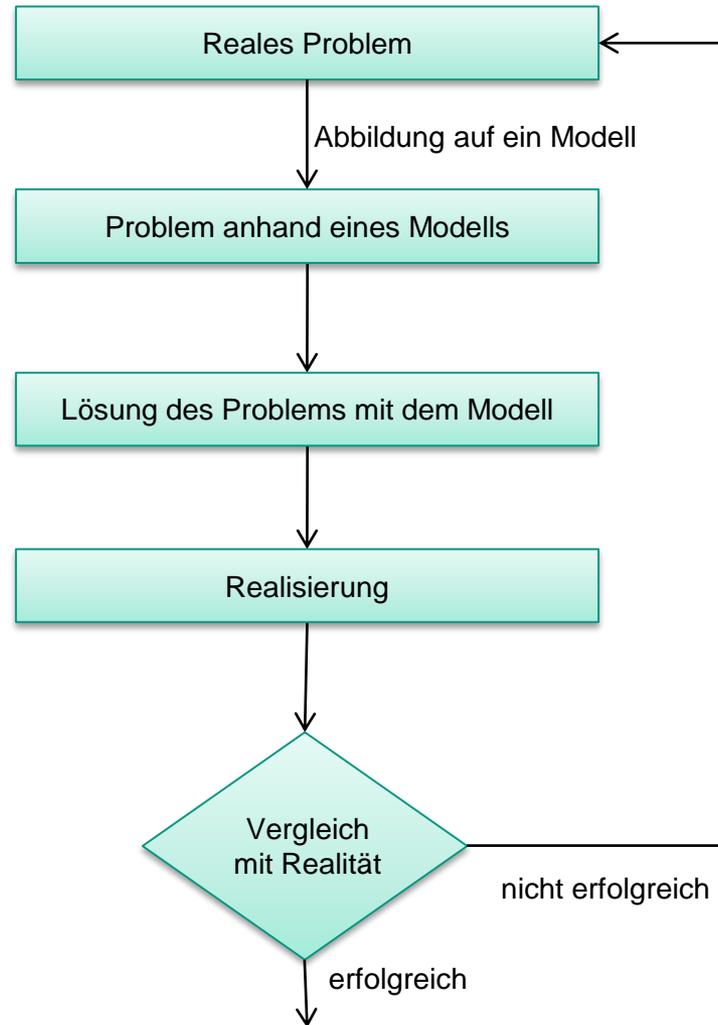
### 6. Identifikation mit nichtparametrischen Modellen

1. Frequenzganganalyse
2. Korrelationsanalyse



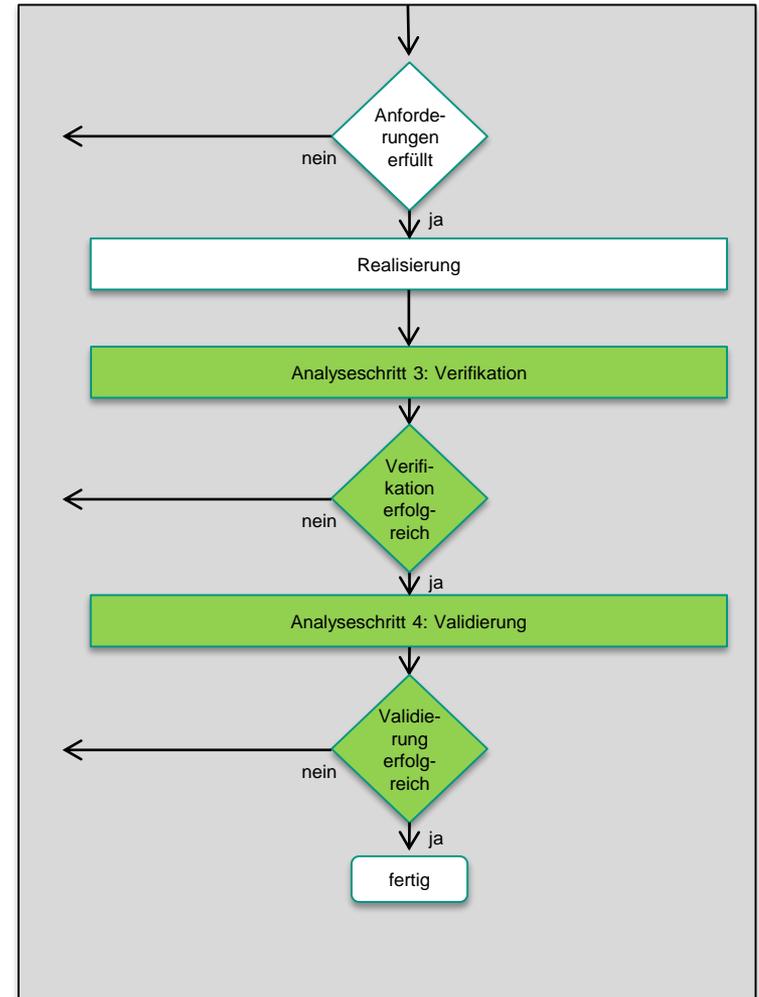
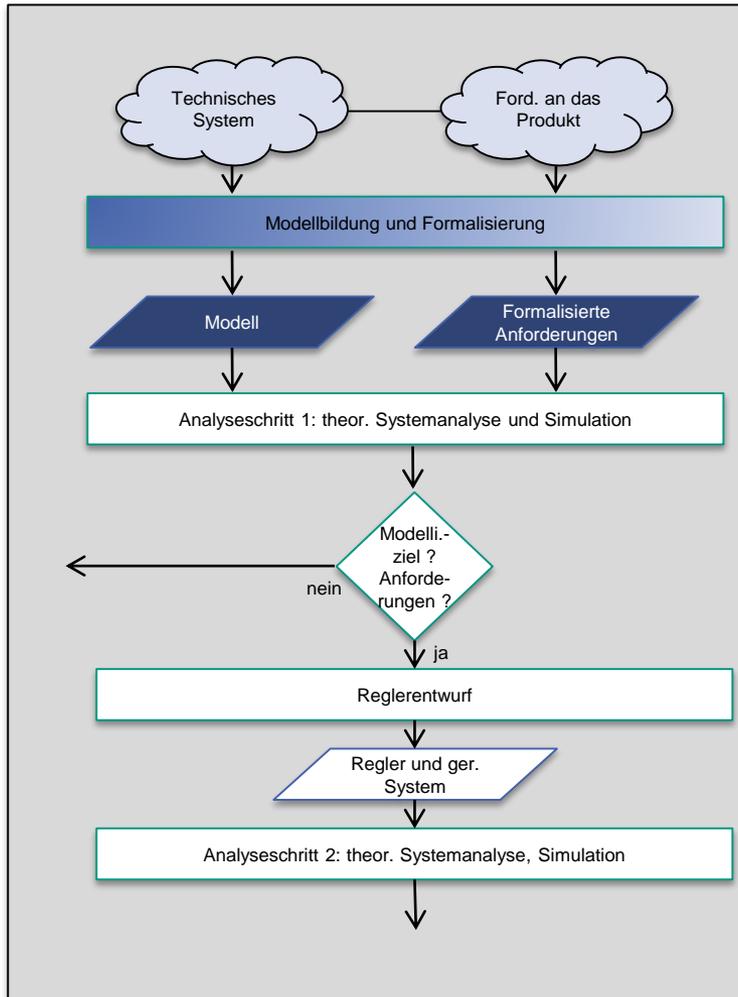
# 1.4 Anwendung von Modellen

## 1.4.1 Modellbasierte Problemlösung



# 1.4 Anwendung von Modellen

## 1.4.2 Übersicht: Entwicklung für Regelungssysteme



# 1.4 Anwendung von Modellen

## 1.4.3 Heuristische Problemlösung

Als Gegensatz dazu: **heuristische Problemlösung**



# 1.4 Anwendung von Modellen

## 1.4.4 Weitere Anwendungen

### ■ Modelle für den Erkenntnisgewinn

- Simulationsmodelle
- Vorhersagemodelle

### ■ Modelle zur Kommunikation

- formalisierter Austausch von Informationen/Wissen

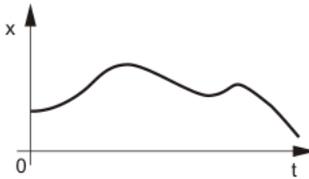
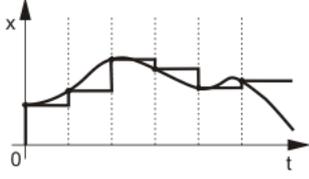
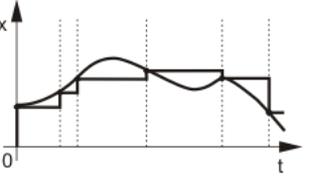
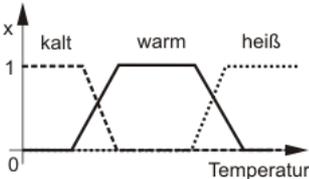
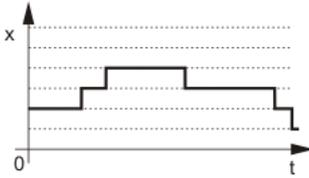
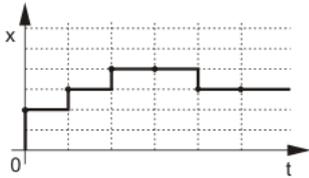
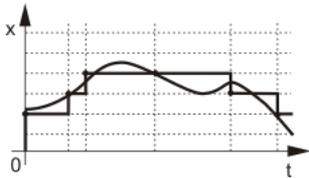
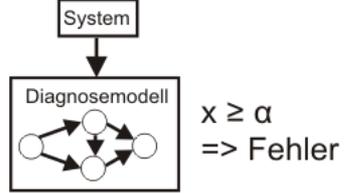
# 1.5 Klassifikation

## 1.5.1 Nach Modellgüte

- **Low-Fidelity-Modelle:** Strukturierungsaussagen möglich  
Verhaltensaussagen möglich  
Grobwurf von Reglern  
einfache Simulationen, Handrechnungen
- **High-Fidelity-Modelle:** sehr genaue Vorhersagen, quantitativer Art  
in versch. Betriebsbereichen möglich  
i. d. R. aufwändige Simulation
- Nach Signal- und Wertebereich:  
In dieser Vorlesung zeitkontinuierlich und zeitdiskret sowie wertkontinuierlich

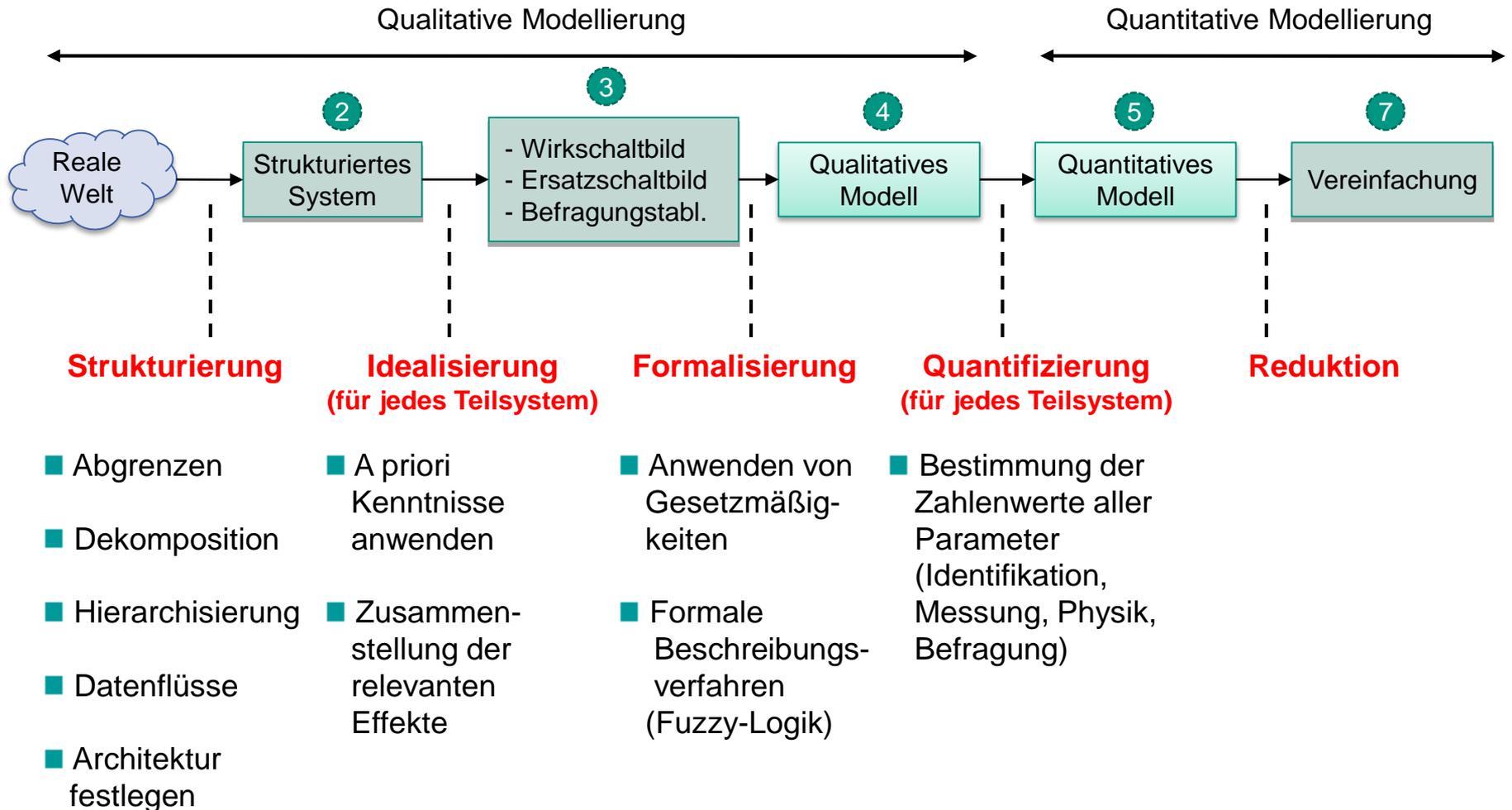
# 1.5 Klassifikation

## 1.5.2 Nach Signal und Wertebereich

		Zeitparameter			
		zeitkontinuierlich	zeitdiskret, getaktet	zeitdiskret, ereignisgesteuert	wissensbasiert
Signalparameter	wertkontinuierlich	kontinuierliches dynamisches System 	Abtastsystem 	gemischtes kontinuierliches ereignisdiskretes System 	z.B. Fuzzylogik 
	wertdiskret		synchroner Automat 	asynchroner Automat = ereignisdiskretes System 	z.B. signalbasierte Diagnose 

# 1.6 Vorgehen bei der Modellbildung

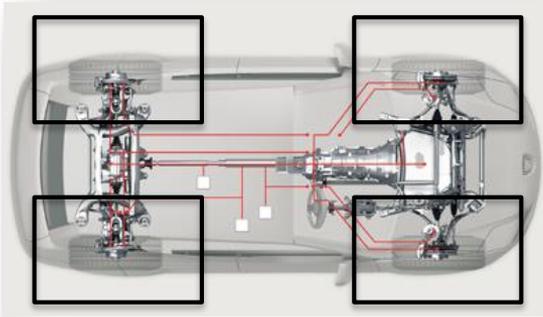
## 1.6.1 Top-Down Ansatz, White-Box-Modelle



# 1.6 Vorgehen bei der Modellbildung

## 1.6.2 Beispiel: Dämpfer eines aktiven Fahrwerks (1)

1



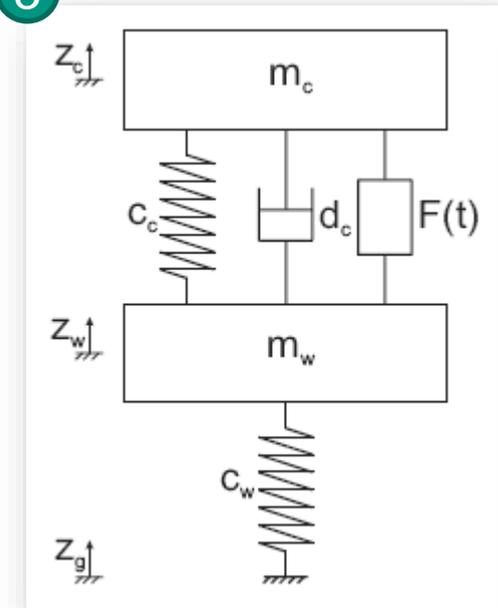
Abgrenzung

2



Wirkschalbild

3



## 1.6 Vorgehen bei der Modellbildung

### 1.6.2 Beispiel: Dämpfer eines aktiven Fahrwerks (2)

- Modellbildung: Formale mathematische Beschreibung ohne Herleitung

$$m_c \ddot{z}_c = -c_c (z_c - z_w) - d_c (\dot{z}_c - \dot{z}_w) + F(t)$$

$$m_w \ddot{z}_w = c_c (z_c - z_w) + d_c (\dot{z}_c - \dot{z}_w) - c_w (z_w - z_g) - F(t)$$

#### Identifikation: Unbestimmte Parameter bestimmen

$m_c$  : Masse des „Viertelfahrzeugs“

$c_c$  : Federsteifigkeit des Dämpfers

$d_c$  : Dämpfungskonstante

$m_w$  : Masse des Reifens + Felge

$c_w$  : Federsteifigkeit des Reifens

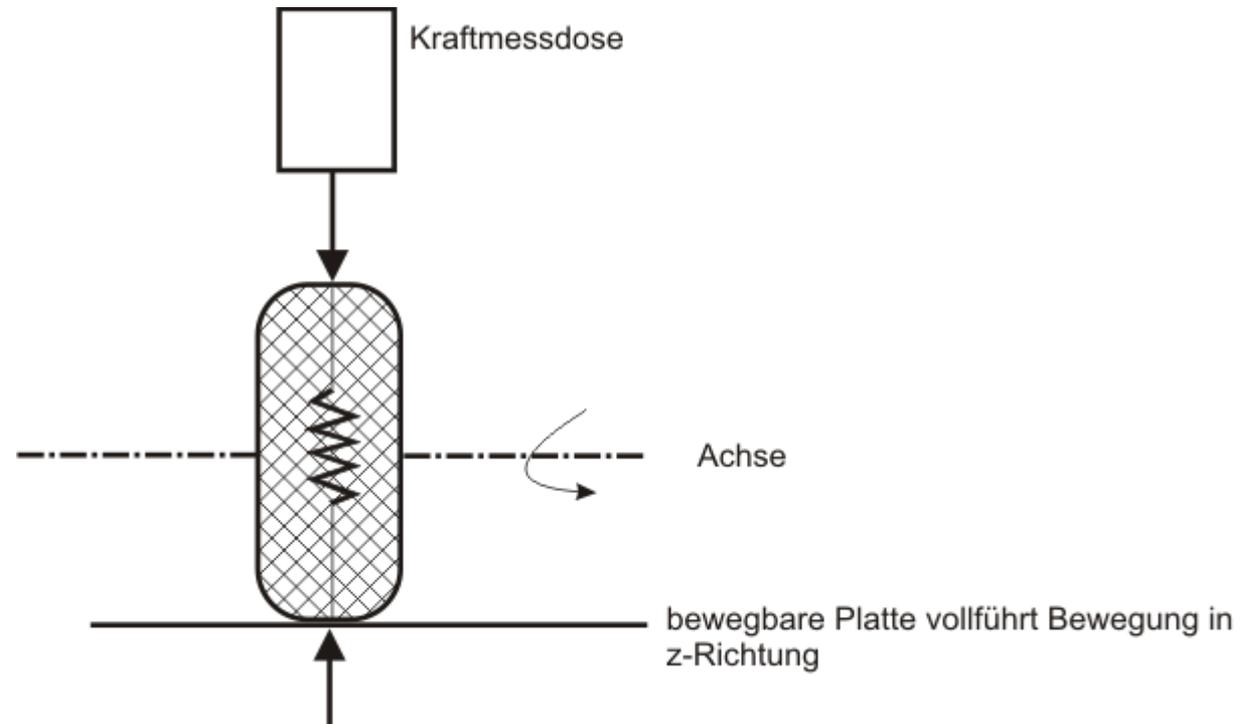
## 1.6 Vorgehen bei der Modellbildung

### 1.6.2 Beispiel: Dämpfer eines aktiven Fahrwerks (3)

Parameterbestimmung mittels Prüfstandmessung:

Parameter  $m_c$ ,  $c_c$ ,  $d_c$ ,  $m_w$  werden durch eine direkte Messung bestimmt  
z.B. Wiegen (oder aus phys. Grundbeziehungen berechnet)

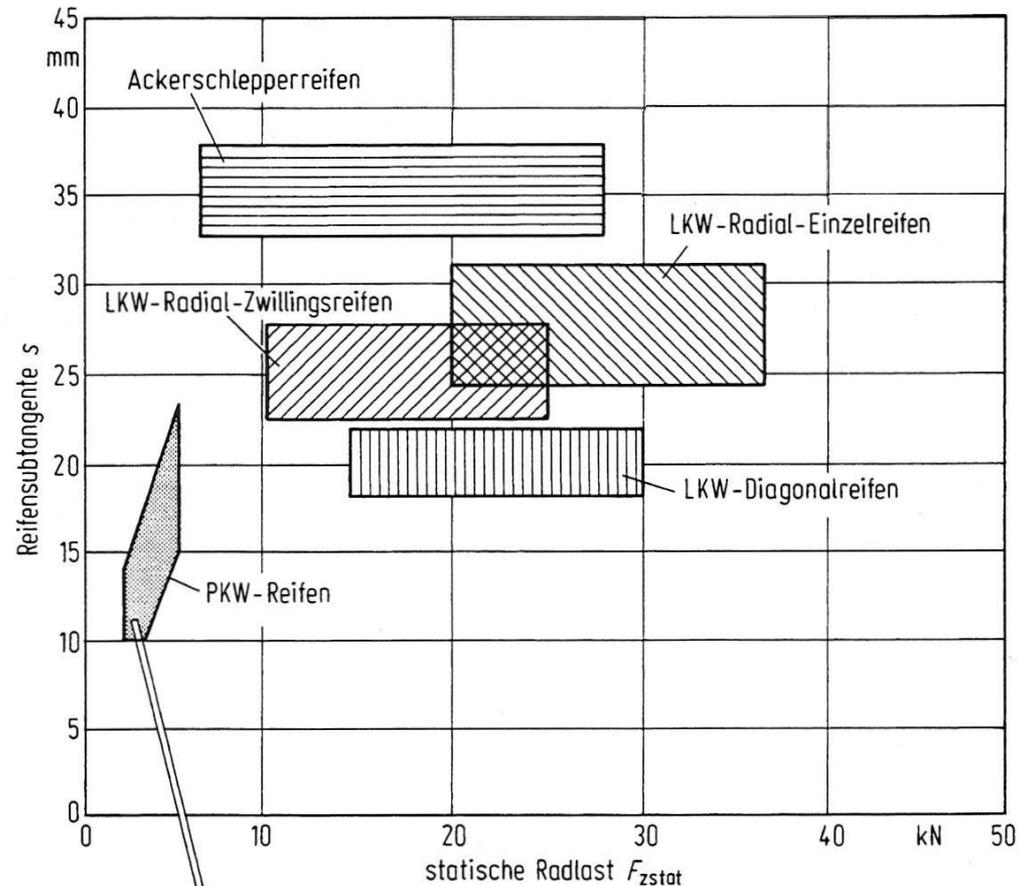
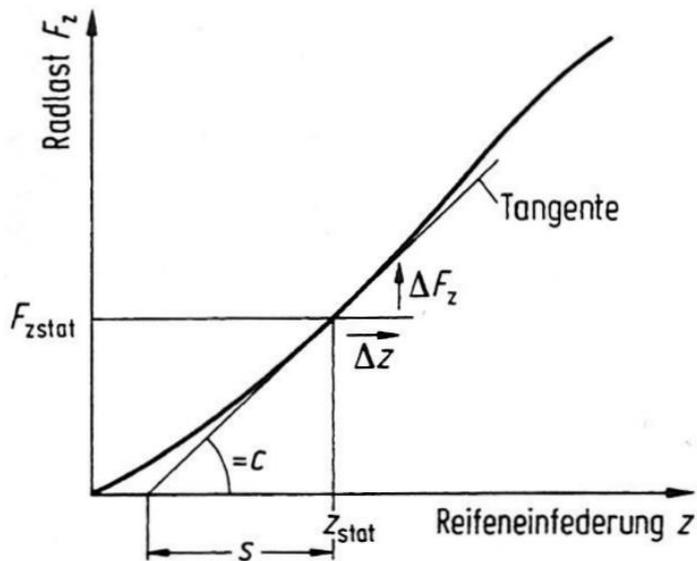
$c_w$  wird durch Identifikation z.B. auf einem Prüfstand bestimmt



# 1.6 Vorgehen bei der Modellbildung

## 1.6.2 Beispiel: Dämpfer eines aktiven Fahrwerks (4)

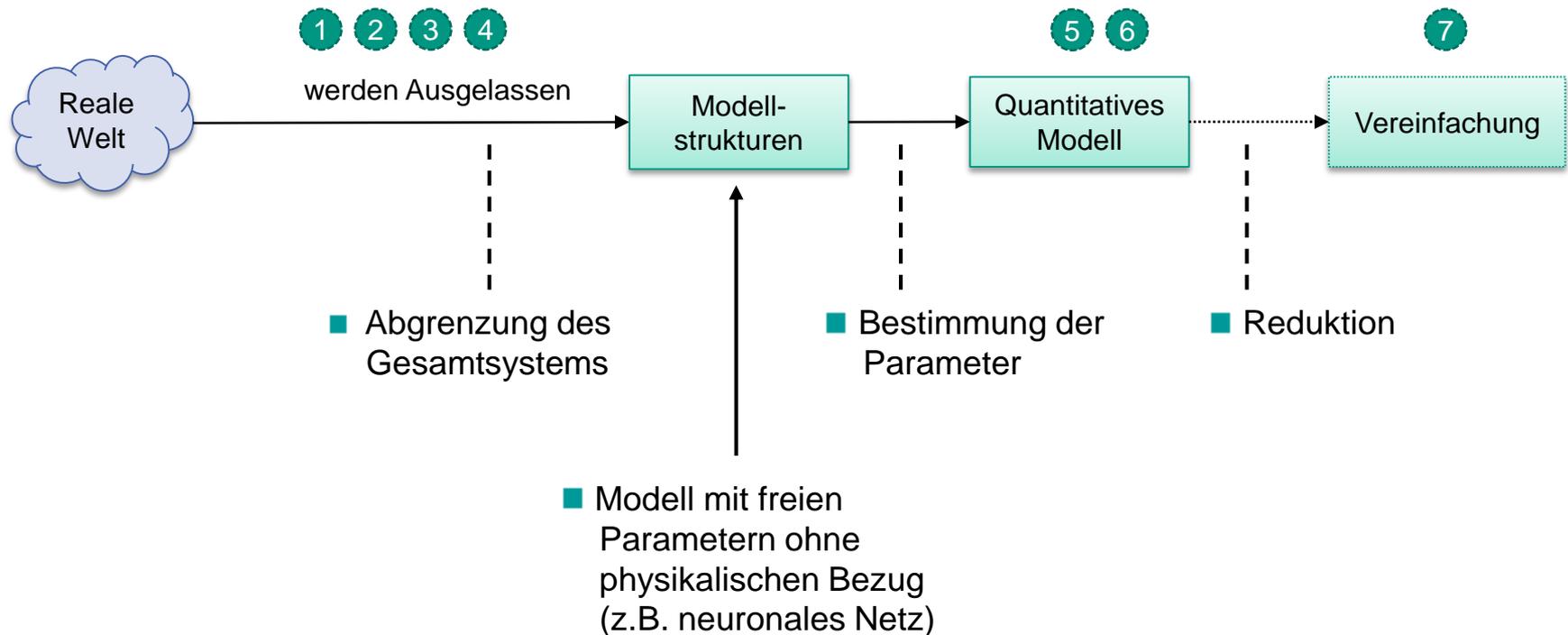
Reifenfederkonstante und Reifensubtangente:



Quelle: Mitschke, Wallentowitz : Dynamik der Kraftfahrzeuge

# 1.6 Vorgehen bei der Modellbildung

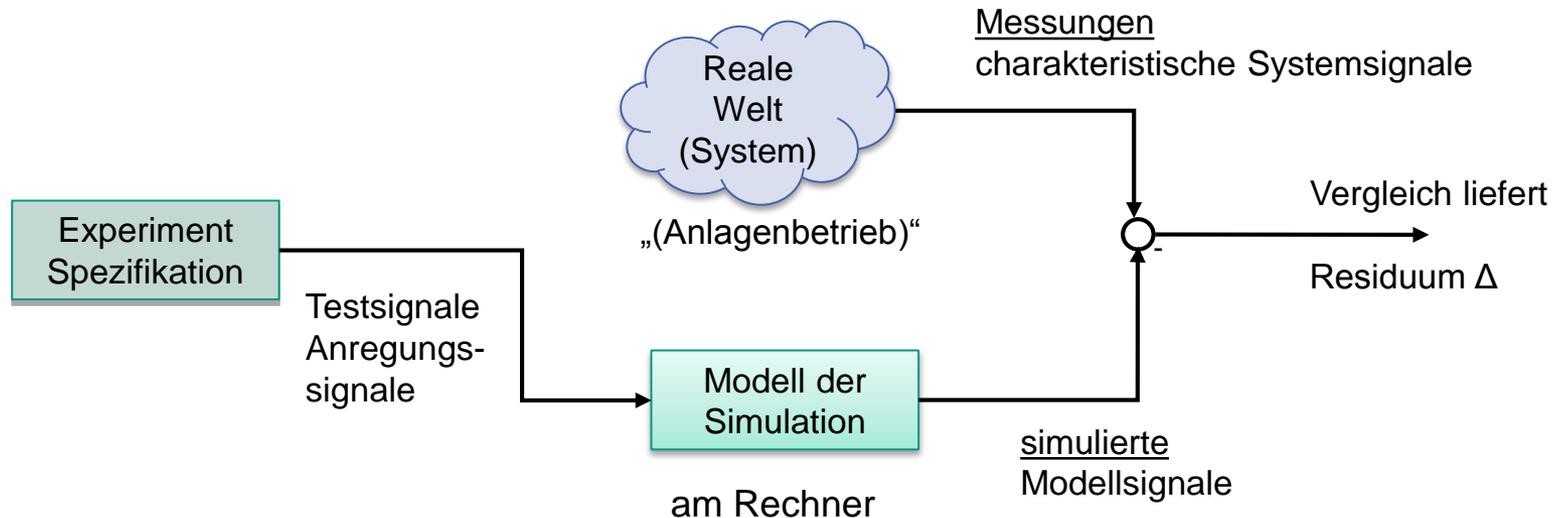
## 1.6.3 Bottom-Up Ansatz, Black-Box-Modelle



# 1.7 Validierung und Verifikation

## 1.7.1 Fragestellung

Überprüfung des Modells gegenüber der realen Welt in einem Experiment erforderlich:



### Überblick: Gründe für $\Delta \neq 0$

- 1) Fehler bei der Implementierung der Simulation
- 2) siehe SRT: globale und lokale Simulationsfehler
- 3) falschen Simulationsalgorithmus gewählt
- 4) Abstraktionsniveau hinsichtlich der gel. Aufgabe falsch gewählt
- 5) Teilsysteme vergessen oder Randbedingungen nicht korrekt berücksichtigt

# 1.7 Validierung und Verifikation

## 1.7.2 Definitionen

- Die Überprüfung von 1) – 3) nennt man Verifikation:

IEEE1997: Verification is the process of determining that an implementation of a simulation accurately represents the developers conceptual descriptions and specifications.  
(„Habe ich es richtig gebaut?“)

- Die Überprüfung von 4) – 5) nennt man Validierung:

IEEE1997: Validation is the process of determining the degree to which a simulation is an accurate representation of the real world from the perspective of the intended use as defined by the requirements.  
(„Bauen wir das Richtige?“)



How the customer explained it



How the project leader understood it



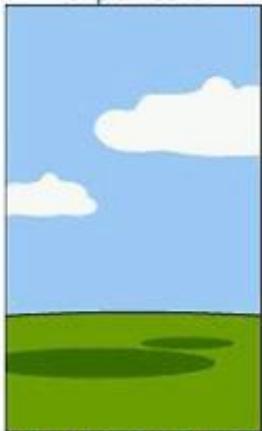
How the engineer designed it



How the programmer wrote it



How the sales executive described it



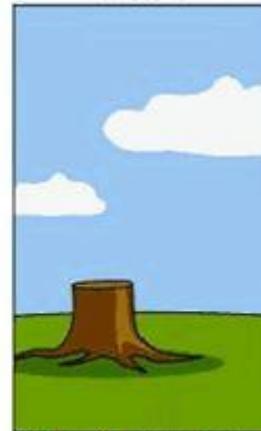
How the project was documented



What operations installed



How the customer was billed



How the helpdesk supported it



What the customer really needed