

# ***Grundlagen der Künstlichen Intelligenz***

Sebastian Iwanowski  
FH Wedel

**Kap. 4:**  
KI-Architektur: Wissensbasierte Systeme

4.4: Modellbasierte Verarbeitung

# 3. Modellbasierte Diagnose

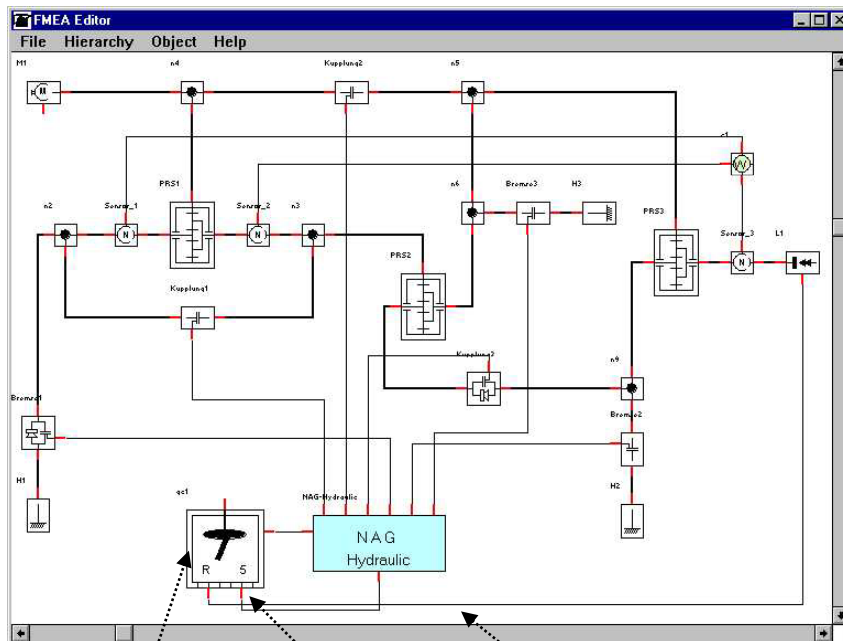
## Ziel:

- schneller Wissenserwerb
- exaktes und nachvollziehbares Ergebnis der Problemlösungsmaschine

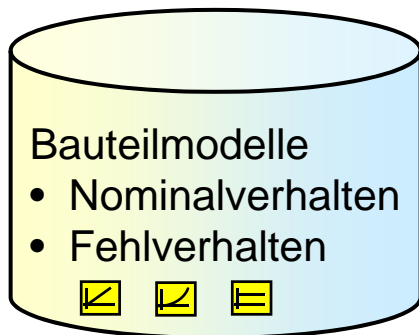
## Schwierigkeit:

- schnelle Antwort der Problemlösungsmaschine zur Laufzeit

# 3. Modellbasierte Diagnose



Komponente      Port      Verbindung



## Systemstruktur:

Welche Komponenten von welchem Typ sind wie miteinander verbunden ?

→ *erhältlich aus CAD-Daten*

## Komponentenmodelle:

Wie ist die Abhängigkeit zwischen den Werten, die an den Verbindungspunkten einer Komponente anliegen ?

→ *pro Komponententyp einmal zu modellieren*

→ *Modell ist wiederverwendbar für alle Systeme, in denen Komponenten dieses Typs enthalten sind*

# 3. Modellbasierte Diagnose

## Eingabe in die Wissensbasis:

- Hierarchische Struktur des Systems (Aufbau aus Komponenten)
- Komponentenmodelle

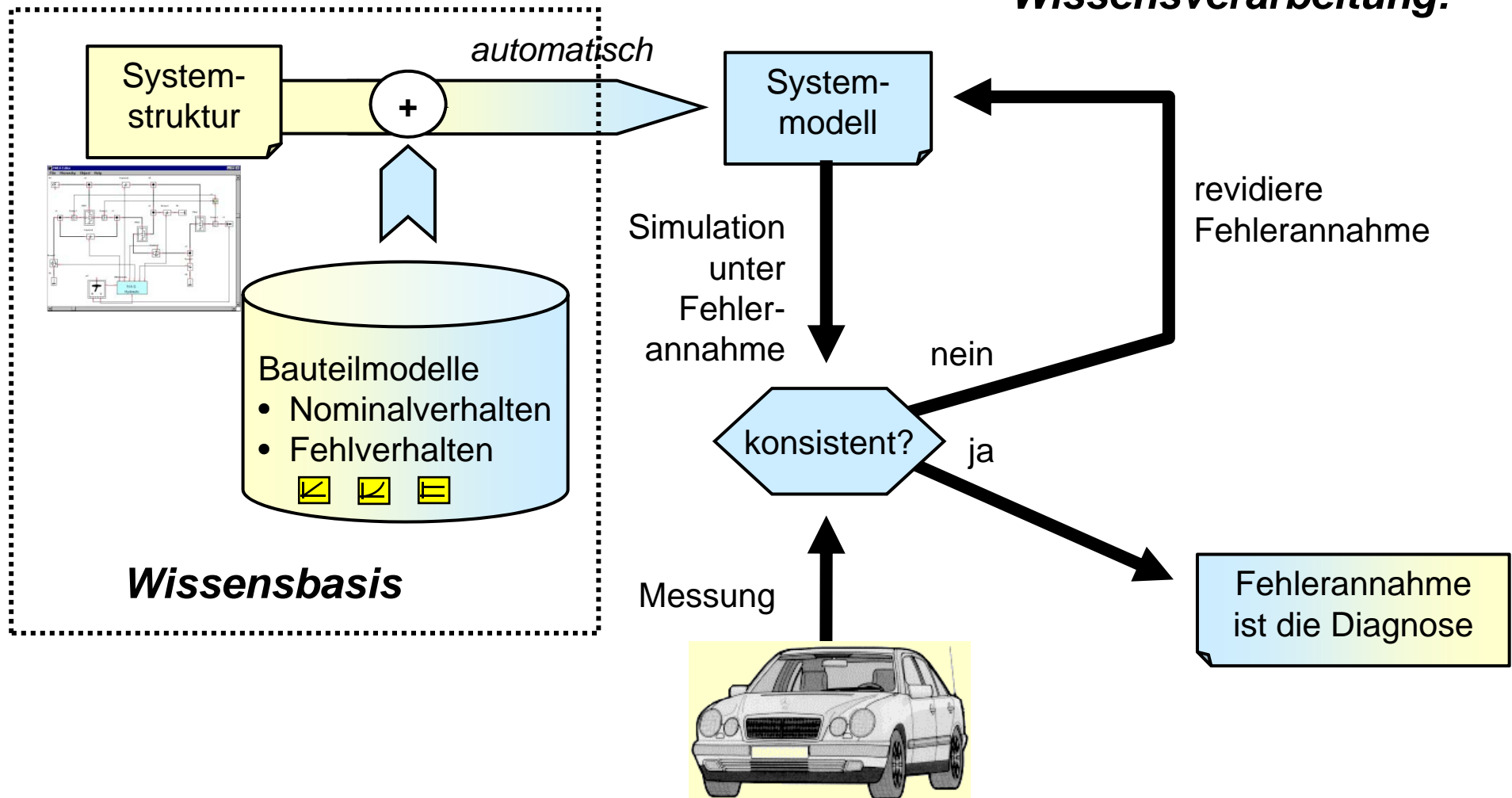
## Struktur der Wissensbasis:

- Constraint-Netzwerk (automatisch zusammengebaut)
- Gliederung des Constraint-Netzwerks durch:
  - Zuordnung der Constraints zu Komponenten bzw. Ports
  - Zuordnung der Variablen zu Komponenten bzw. Ports

# Anwendungsgebiet: Technische Diagnose

## Basisfunktionalität der modellbasierten Diagnose

*Wissensverarbeitung:*



# Anwendungsgebiet: Technische Diagnose

## Basisfunktionalität der modellbasierten Diagnose

### Die GDE 1987: *Der Prototyp* für die modellbasierte Diagnose

#### **Problem:**

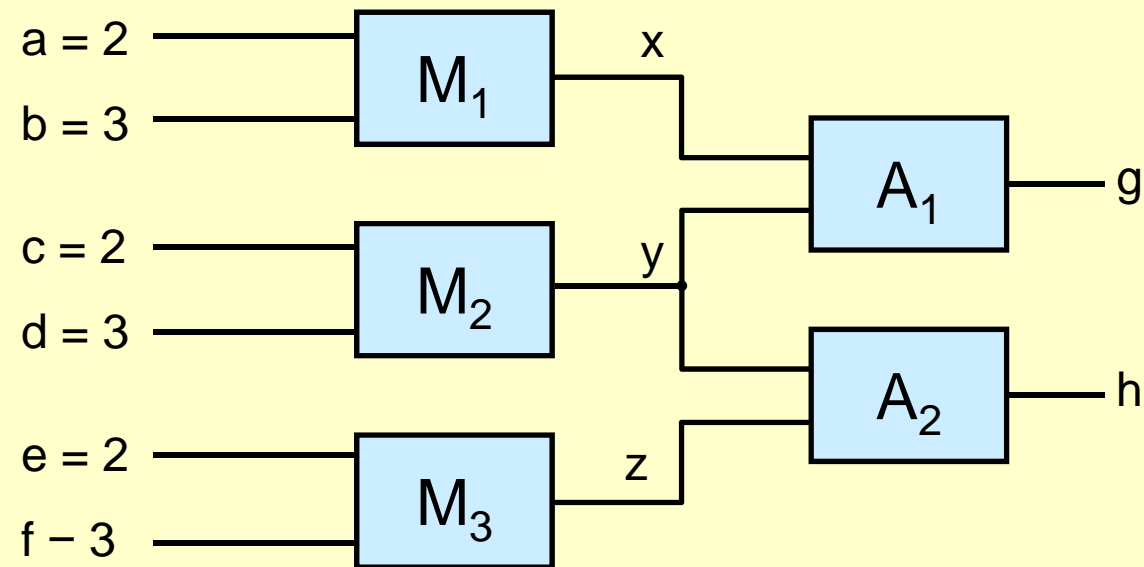
- ‚brute-force‘ Simulation **aller** Fehlerannahmen kombinatorisch nicht realisierbar

#### **Idee:** General Diagnostic Engine GDE, deKleer & Williams 1987

- intelligente Suche im Raum der möglichen Fehlerannahmen
- nutzt inkonsistente Annahmen zum Verkleinern des Suchraums
- Prinzip: **konfliktgesteuerte Suche**

# GDE - Beispiel

## Systemstruktur

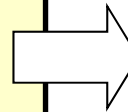
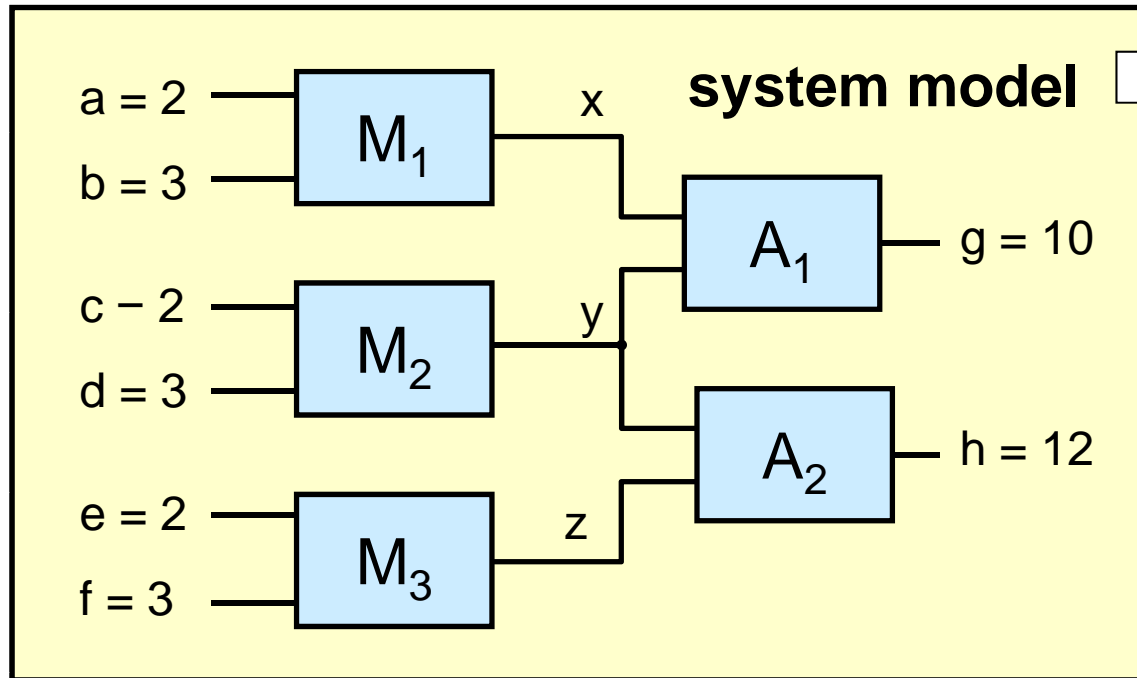


## Komponentenmodelle

- Multiplizierer:  $\text{mode=ok} \Rightarrow \text{out} = \text{in}_1 * \text{in}_2$
- Addierer:  $\text{mode=ok} \Rightarrow \text{out} = \text{in}_1 + \text{in}_2$

**Messungen**  $g = 10 \wedge h = 12$

# GDE - Beispiel



**simulation**

$x = 6$  {M1}

$y = 6$  {M2}

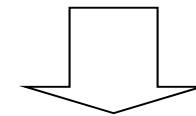
$z = 6$  {M3}

$g = 12$  {M1 M2 A1},  $g = 10$

$y = 4$  {M1 A1}

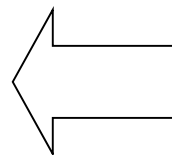
$h = 10$  {M1 A1 A2 M3},  $h = 12$

$y = 6$  {A2 M3}



**two conflicts**

**diagnoses:**  
 single-fault **M1**  
 single-fault **A1**  
 double fault **M2 M3**  
 :

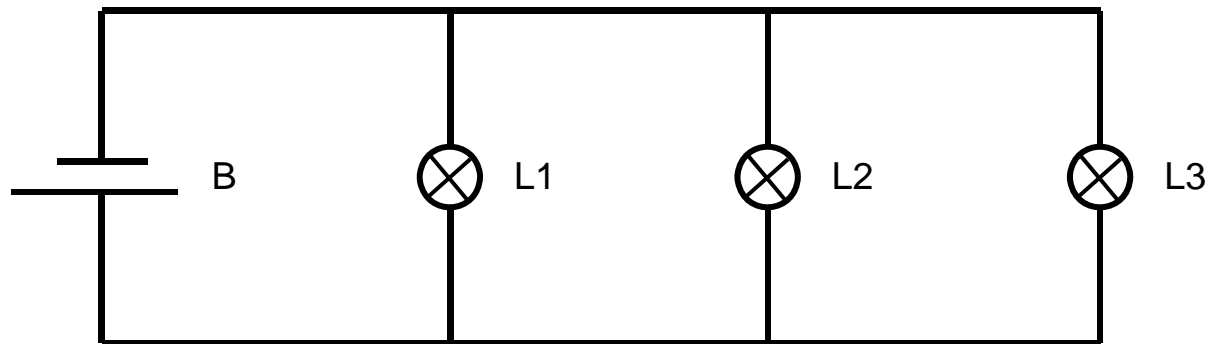


M1	M2	M3	A1	A2
<b>X</b>	<b>X</b>		<b>X</b>	
<b>X</b>		<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>



# Modellbasierte Diagnose: Basisfunktionalität

Beispiel, warum Addierer-/Multiplizierer-Beispiel nicht alle Schwierigkeiten des GDE-Ansatzes aufzeigt:



**Beobachtung:**

L1, L2 leuchten nicht, L3 leuchtet

**GDE-Diagnosen:**

1. (B ok, L1 defekt, L2 defekt, L3 ok)

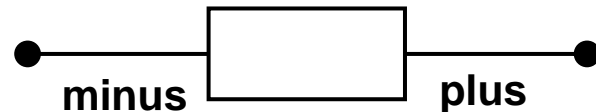
2. (B defekt, L1 ok, L2 ok, L3 defekt) ???

3. (B defekt, L1 ok, L2 ok, L3 ok) ???

# Modellbasierte Diagnose: Basisfunktionalität

## Modellierung der elektrischen Komponenten:

### Batterie:



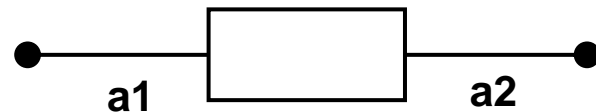
Wertebereiche:  $\text{minus, plus} \in \{ \text{Masse, Versorgungsspannung} \}$

Regeln:

$\text{ok} \Rightarrow (\text{minus} = \text{Masse})$

$\text{ok} \Rightarrow (\text{plus} = \text{Versorgungsspannung})$

### Kabel:



Wertebereiche:  $\text{a1, a2} \in \{ \text{Masse, Versorgungsspannung} \}$

Regeln:

$\text{ok} \wedge (\text{a1} = \text{Masse}) \Rightarrow (\text{a2} = \text{Masse})$

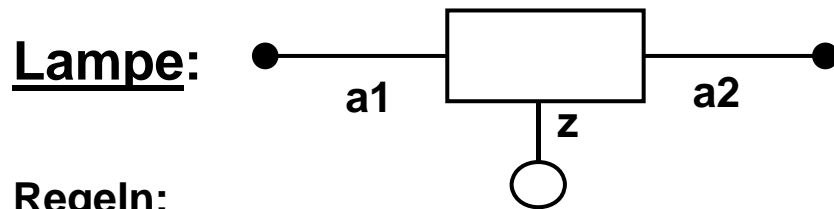
$\text{ok} \wedge (\text{a1} = \text{Versorgungsspannung}) \Rightarrow (\text{a2} = \text{Versorgungsspannung})$

$\text{ok} \wedge (\text{a2} = \text{Masse}) \Rightarrow (\text{a1} = \text{Masse})$

$\text{ok} \wedge (\text{a2} = \text{Versorgungsspannung}) \Rightarrow (\text{a1} = \text{Versorgungsspannung})$

# Modellbasierte Diagnose: Basisfunktionalität

## Modellierung der elektrischen Komponenten:



Wertebereiche:

$a1, a2 \in \{ \text{Masse, Versorgungsspannung} \}$   
 $z \in \{ \text{hell, dunkel} \}$

$ok \wedge (a1 = \text{Versorgungsspannung}) \wedge (a2 = \text{Masse}) \Rightarrow (z = \text{hell})$

$ok \wedge (a2 = \text{Versorgungsspannung}) \wedge (a1 = \text{Masse}) \Rightarrow (z = \text{hell})$

$ok \wedge (a1 = \text{Versorgungsspannung}) \wedge (a2 = \text{Versorgungsspannung}) \Rightarrow (z = \text{dunkel})$

$ok \wedge (a1 = \text{Masse}) \wedge (a2 = \text{Masse}) \Rightarrow (z = \text{dunkel})$

$ok \wedge (a1 = \text{Masse}) \wedge (z = \text{hell}) \Rightarrow (a2 = \text{Versorgungsspannung})$

$ok \wedge (a1 = \text{Versorgungsspannung}) \wedge (z = \text{hell}) \Rightarrow (a2 = \text{Masse})$

$ok \wedge (a1 = \text{Masse}) \wedge (z = \text{dunkel}) \Rightarrow (a2 = \text{Masse})$

$ok \wedge (a1 = \text{Versorgungsspannung}) \wedge (z = \text{dunkel}) \Rightarrow (a2 = \text{Versorgungsspannung})$

$ok \wedge (a2 = \text{Masse}) \wedge (z = \text{hell}) \Rightarrow (a1 = \text{Versorgungsspannung})$

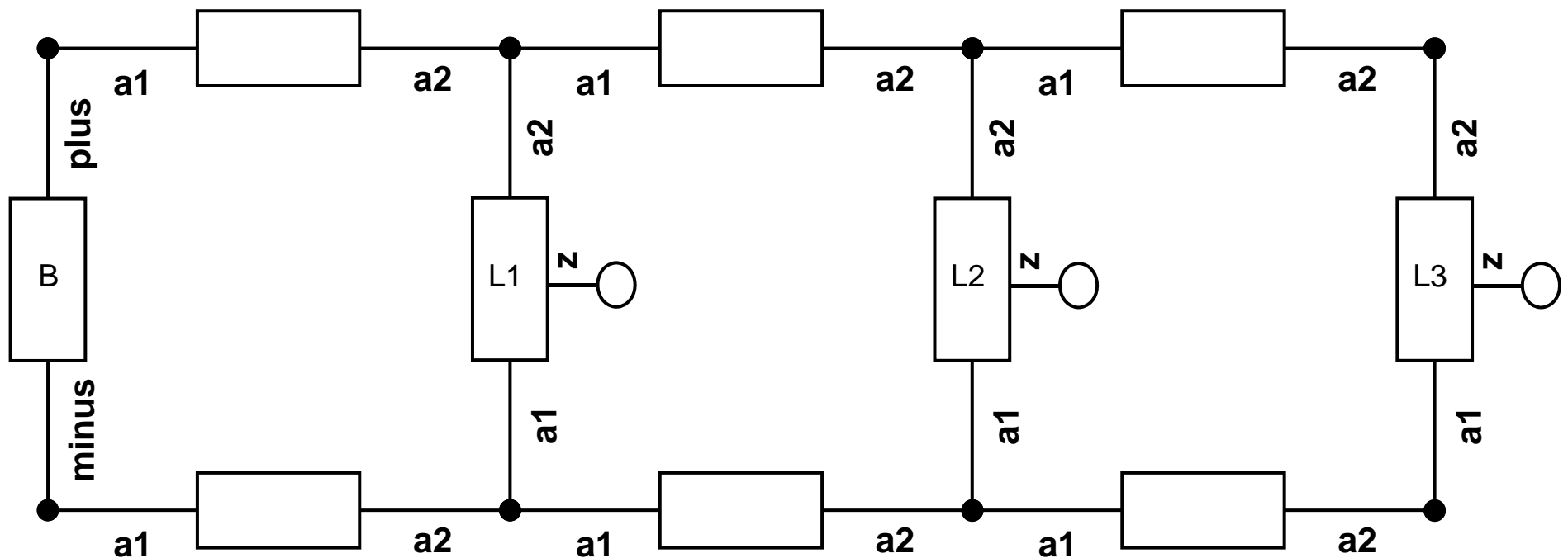
$ok \wedge (a2 = \text{Versorgungsspannung}) \wedge (z = \text{hell}) \Rightarrow (a1 = \text{Masse})$

$ok \wedge (a2 = \text{Masse}) \wedge (z = \text{dunkel}) \Rightarrow (a1 = \text{Masse})$

$ok \wedge (a2 = \text{Versorgungsspannung}) \wedge (z = \text{dunkel}) \Rightarrow (a1 = \text{Versorgungsspannung})$

# Modellbasierte Diagnose: Basisfunktionalität

Zusammenbau des Systemmodells aus den Komponentenmodellen:



Werte an den Verbindungsknoten müssen gleich sein

Bei Widerspruch: Konflikt der den Werten zugrunde liegenden Verhaltensmodelle

Diagnosen sind Mengen von Verhaltensmodellen, die keinen Konflikt enthalten

# Modellbasierte Diagnose: Basisfunktionalität

**Fazit aus der bisher vorgenommenen Modellierung:**

**Es besteht kein logischer Widerspruch zu folgender Diagnose:**

2. (B defekt, L1 ok, L2 ok, L3 defekt)

**Grund:**

L3 darf im Fehlerfall auch leuchten, wenn keine Spannungsdifferenz besteht

***Unvollständigkeit der Wissensbasis !***

**Noch schlimmer:**

Wenn eine Verhaltensregeln nur ausgewertet wird, wenn für ihre Voraussetzungen konkrete Werte vorliegen, dann kann auch kein Widerspruch zu folgender Diagnose gefunden werden:

3. (B defekt, L1 ok, L2 ok, L3 ok)

**Grund:**

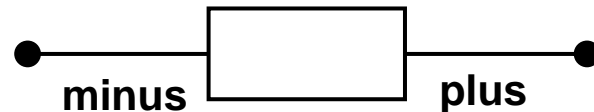
Es werden nirgendwo Spannungswerte berechnet

***Mangelnde Beweisfähigkeit der Problemlösungskomponente !***

# Modellbasierte Diagnose: Basisfunktionalität

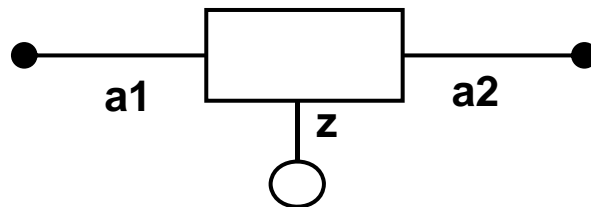
## Zusätzliche Regeln für den Ausschluss der Diagnosen 2 / 3:

Batterie:



defekt  $\Rightarrow$  (minus = Masse)

Lampe:



defekt  $\wedge$  (a1 = Versorgungsspannung)  $\wedge$  (a2 = Versorgungsspannung)  $\Rightarrow$  (z = dunkel)

defekt  $\wedge$  (a1 = Masse)  $\wedge$  (a2 = Masse)  $\Rightarrow$  (z = dunkel)

***Es müssen also auch Verhaltensmodelle für Fehler angegeben werden, um physikalisch unmögliches Verhalten auszuschließen.***

# Modellbasierte Diagnose: Erweiterte Funktionalität

## Basisfunktionalität:

### Eingabe:

- Einstellung bestimmter Werte im System
- Beobachtung davon abhängiger Werte im System

### Ausgabe:

- Mehrere Diagnosen folgender Art:
  - Jede Diagnose weist jeder Komponente einen Verhaltensmodus zu: entweder ok oder ein definierter Fehlermodus
  - Die Regeln aller zugewiesenen Verhaltensmodi sind konsistent (mit allen eingestellten und beobachteten Werten)

## Was braucht der Anwender ?

**Eingabe: s.o.**

### Ausgabe:

- Eine eindeutige Anweisung, welche Komponenten wie repariert werden sollen

# Modellbasierte Diagnose: Erweiterte Funktionalität

## Erweiterte Funktionalität:

### 1) Vorschlag von Testeinstellungen (control inputs)

- Einstellung bestimmter Werte an bestimmten Stellen im System  
(derart, dass die zu erwartenden Beobachtungen die bisher gültigen Diagnosen bestmöglich unterscheiden)

### 2) Vorschlag von Beobachtungspunkten

- Auswahl von Messstellen im System  
(derart, dass die zu erwartenden Beobachtungen die bisher gültigen Diagnosen bestmöglich unterscheiden)

**Test**

## Anforderung an die Modellierung:

- Definition von Testpunkten
- Definition von Testwerten, die an den Testpunkten eingestellt werden sollen
- Definition von Beobachtungspunkten, die gemessen werden sollen

**Control actions**

**Observations**



# Komponentenmodellierung

## Verhaltensmodi (*behavioural modes*)

- Werte der Komponente, nach denen im Diagnosevorgang gesucht wird
- Definitionsbereich immer endlich (in der Regel unter 10 verschiedene Werte möglich)

## Variablen

- zum Abspeichern von Werten
- Die Variablenwerte werden in den Constraints benutzt.
- Die Constraints berechnen einen neuen Wert für eine Variable.

*Unterscheide  
interne Variablen  
von Portvariablen !*

## Ports

- enthält die Variablen, die in den Verbindungen mit benachbarten Komponenten identifiziert werden sollen.

## Constraints

- Menge von Verhaltensregeln, welche Variablen der Komponente miteinander verknüpfen
- Ein Constraint gilt normalerweise nur unter Voraussetzung, dass der Verhaltensmodus einen bestimmten Wert hat.

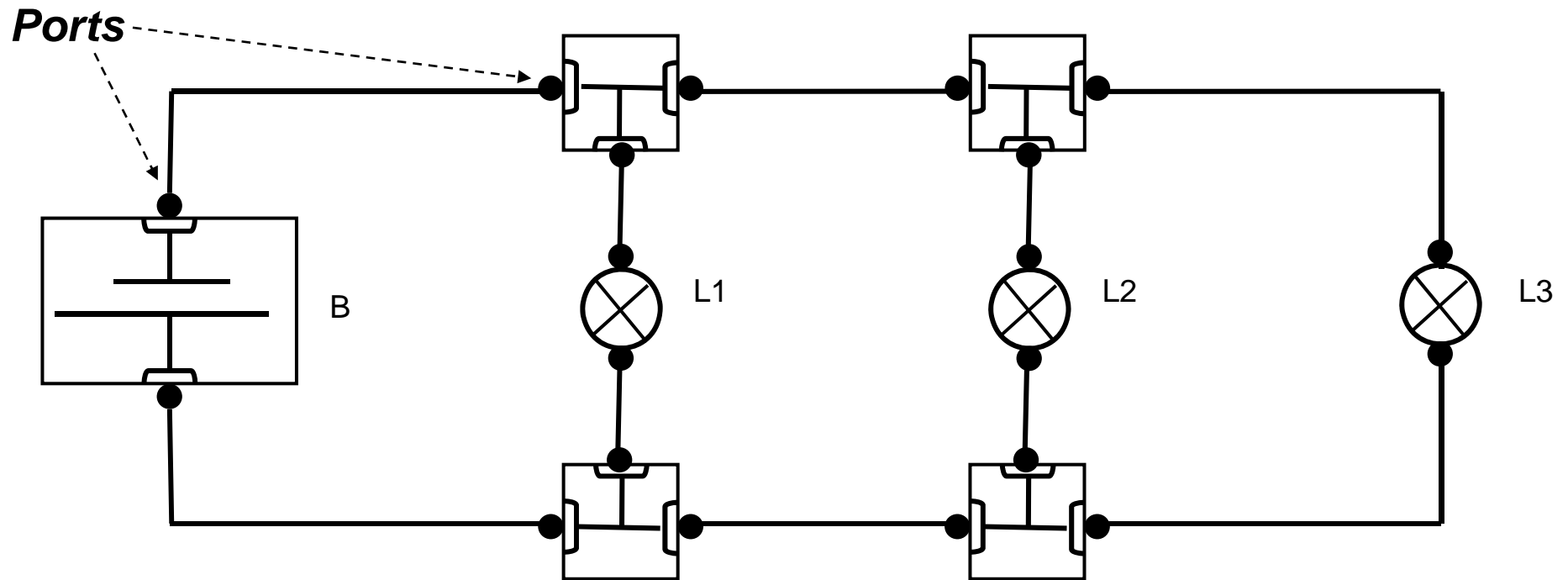
## Maßnahmen (*control actions*)

- Variablen und einzustellende Werte dafür
- Maß für Zugänglichkeit und Schwierigkeit, bestimmte Werte einzustellen

## Beobachtungen (*observations*)

- Variablen
- Maß für Zugänglichkeit

# Modellierung eines einfachen elektrischen Systems



**Komponententypen:**

**Batterie**

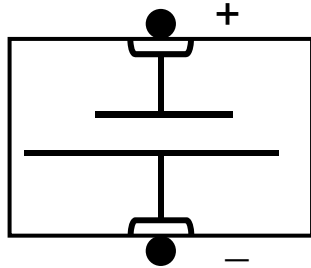
**Lampe**

**Kabel**

**Steckverbindung (3)**

# Modellierung eines einfachen elektrischen Systems

## Batterie



### Fehlermodi:

entladen

Kontaktlücke bei +

Kontaktlücke bei -

Wackelkontakt bei +

Wackelkontakt bei -

korrodiert

### Maßnahmen:

Klemme bei + lösen

Klemme bei - lösen

Klemme bei + befestigen

Klemme bei - befestigen

### Beobachtungen:

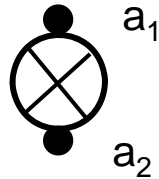
Klemmen ansehen

Spannung bei + messen

Spannung bei - messen

# Modellierung eines einfachen elektrischen Systems

## Lampe



### Fehlermodi:

durchgebrannt  
Lampe nicht eingesetzt  
Wackelkontakt  
korrodiert

### Maßnahmen:

Lampe ausschrauben  
Lampe einschrauben

### Beobachtungen:

Lampe ansehen

## Kabel



### Fehlermodi:

unterbrochen  
Kurzschluss gegen Masse  
Kurzschluss gegen Spannung  
korrodiert

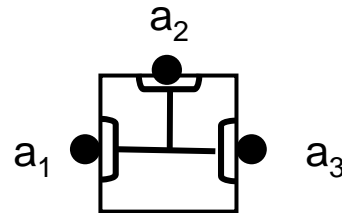
### Maßnahmen:

### Beobachtungen:

Spannung an  $a_1$  messen  
Spannung an  $a_2$  messen  
Kabel ansehen

# Modellierung eines einfachen elektrischen Systems

## Steckverbindung (3)



### Fehlermodi:

Kontaktlücke bei  $a_1$   
Kontaktlücke bei  $a_2$   
Kontaktlücke bei  $a_3$   
Wackelkontakt bei  $a_1$   
Wackelkontakt bei  $a_2$   
Wackelkontakt bei  $a_3$

### Maßnahmen:

Kontakt bei  $a_1$  schließen  
Kontakt bei  $a_2$  schließen  
Kontakt bei  $a_3$  schließen  
Kontakt bei  $a_1$  lösen  
Kontakt bei  $a_2$  lösen  
Kontakt bei  $a_3$  lösen

### Beobachtungen: Kontakte ansehen