

**Lehrstuhl für  
Prozeßtechnik**

Prof. Dr.-Ing. W. Marquardt  
RWTH Aachen

Vortrag LPT-pre-2000-16

## ADOPT – ein Softwarewerkzeug zur adaptiven dynamischen Optimierung

M. Schlegel, Th. Binder, A. Cruse, J. Oldenburg, W.  
Marquardt

Oktober 2000

Beitrag zu:  
GVC-Fachausschuss "Prozess- und Anlagentechnik",  
Kassel, 23-24. 10. 2000.

Anfragen sind zu richten an:

Lehrstuhl für Prozeßtechnik  
RWTH Aachen  
Templergraben 55  
D-52056 Aachen

Tel.: ++49 / 241 / 80 46 68  
Fax: ++49 / 241 / 88 88 326  
E-Mail: [secretary@lfpt.rwth-aachen.de](mailto:secretary@lfpt.rwth-aachen.de)

# ***ADOPT* – ein Softwarewerkzeug zur adaptiven dynamischen Optimierung**

T. Binder, A. Cruse, J. Oldenburg, **M. Schlegel**, W. Marquardt

Lehrstuhl für Prozesstechnik  
RWTH Aachen

**GVC –/DECHEMA – Fachausschusssitzung**  
Kassel, 23./24. Oktober 2000

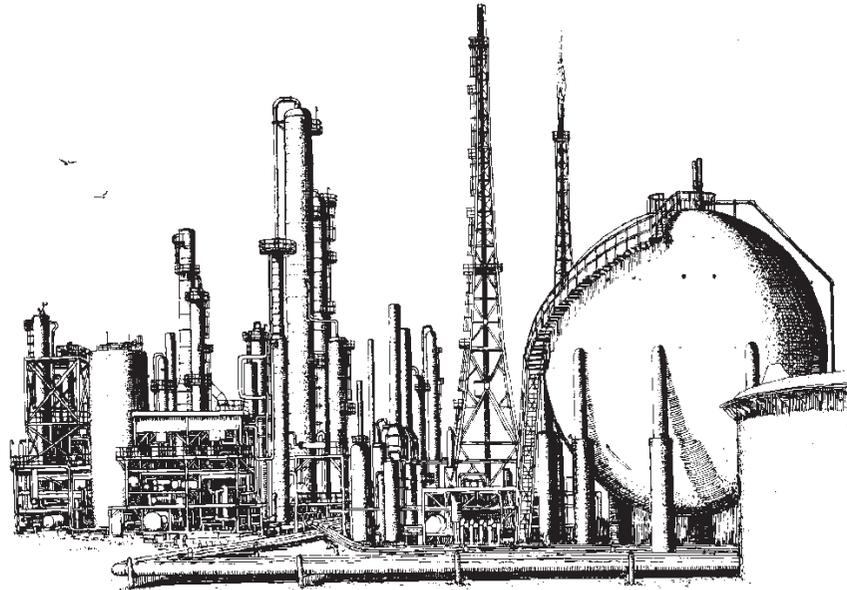
## Dynamische Optimierung

### Aufgaben:

Bestimmung  
optimaler  
Fahrweisen

Optimierungs-  
basierte  
Regelung

Parameter-  
schätzung

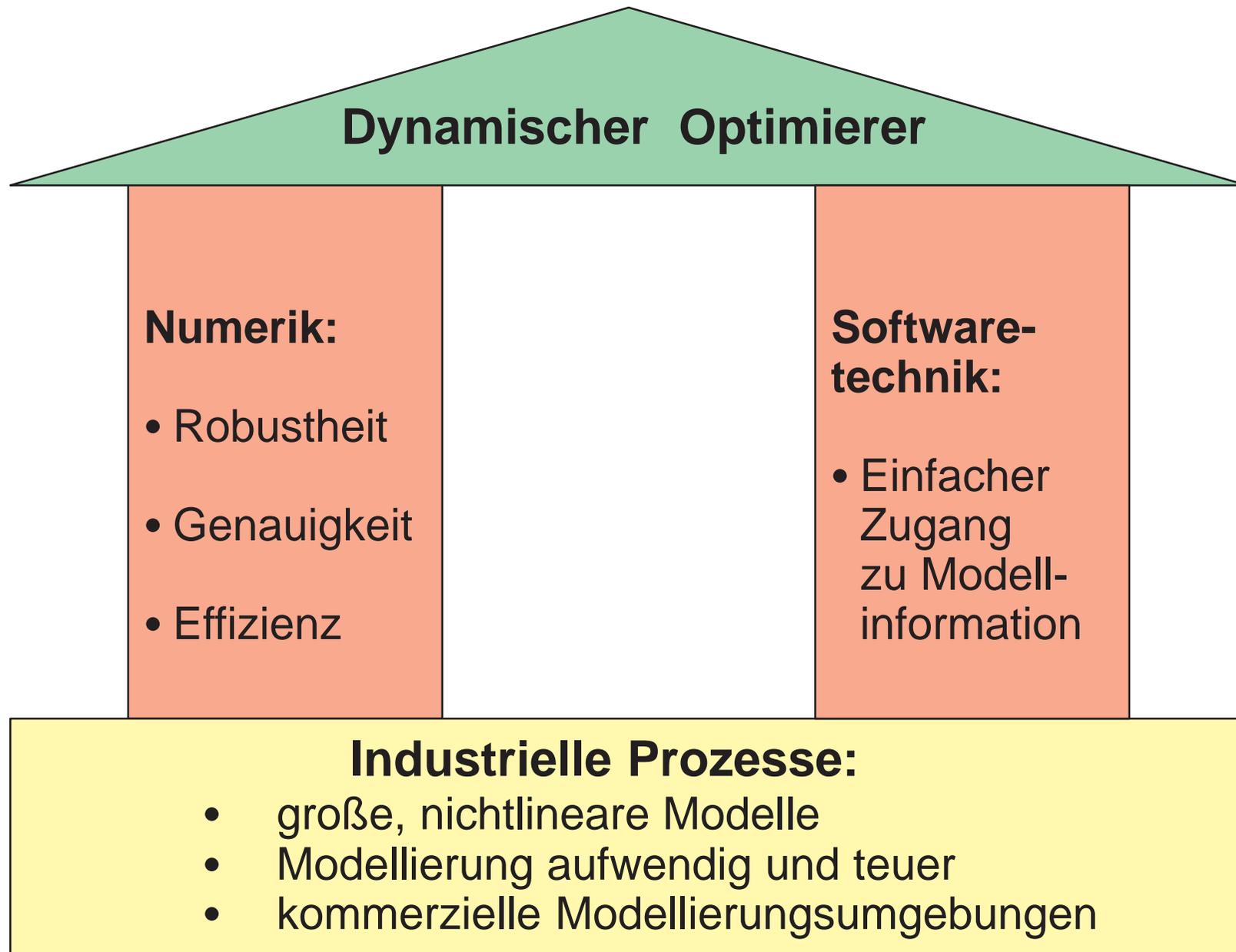


### Ziele:

Wirtschaftlicher  
Prozessbetrieb

Flexible Reaktion  
auf Markt-  
bedingungen

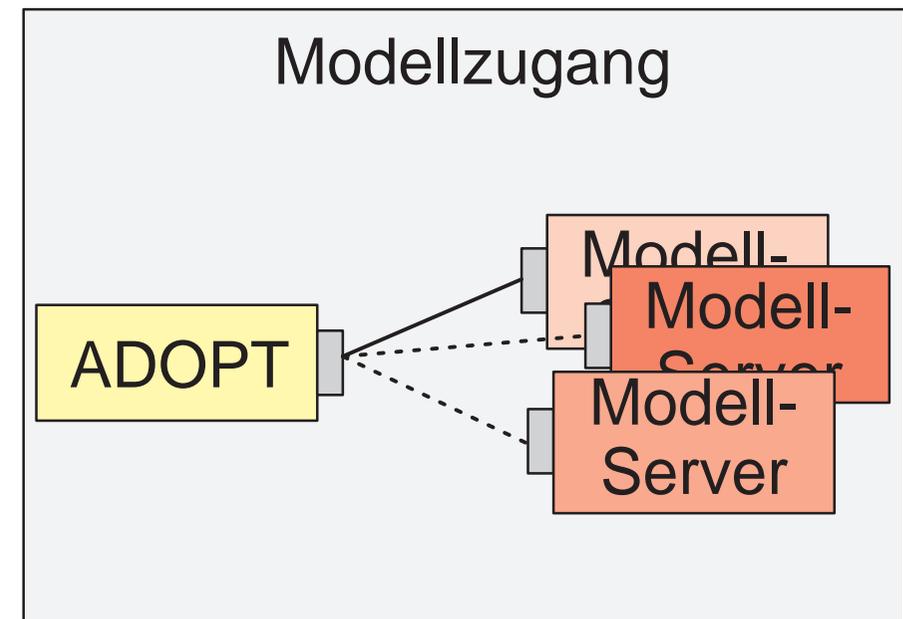
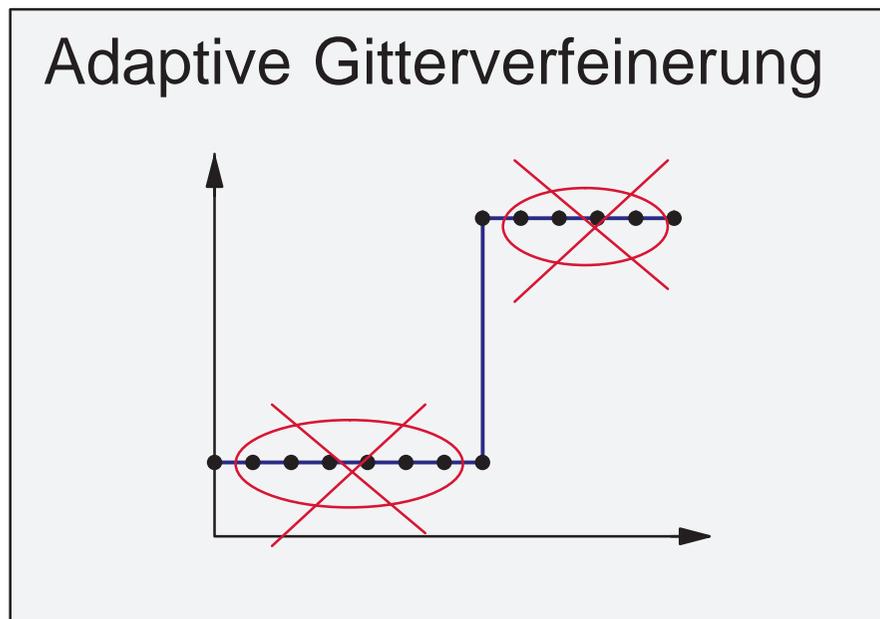
Sichere  
Prozessführung



ADOPT = adaptive dynamische Optimierung

⇒ Weiterentwicklung von DYNOPT (Abel, Helbig, 1999)

## Merkmale:



$$\min_{u(t), t_f} \Phi(x(t), u(t), t_f)$$

Gütefunktion (z.B. Kosten)

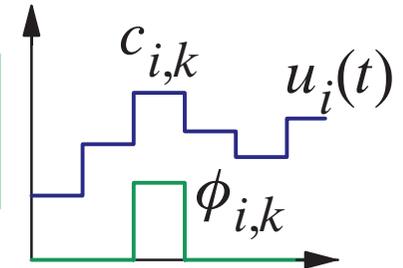
$$\text{s.t. } 0 = F\left(\frac{dx}{dt}, x(t), u(t), t, x_0\right)$$

Modellgleichungen (z.B. Reaktormodell)

$$0 \leq g(x(t), u(t))$$

Nebenbedingungen (z.B. Temperaturschranke)

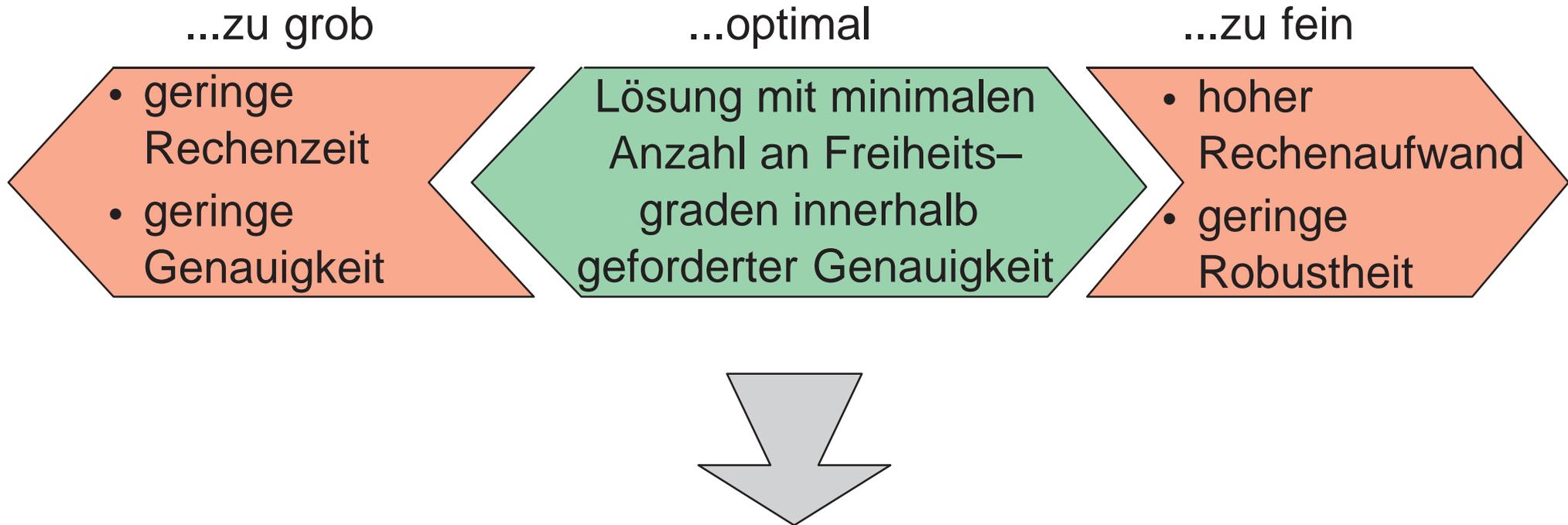
Diskretisiere Steuergrößenvektor  $u_i(t) = \sum c_{i,k} \phi_{i,k}(t)$



- Nichtlineares Optimierungsproblem (NLP)
- Lösung der Modellgleichungen durch numerische Integration

Frage:

*Wahl der Diskretisierungsgitter  $\phi_{i,k}$ ?*



## **ADOPT:**

wavelet-basierter Ansatz (Binder *et al.* 1998/2000)

- Hinzufügung und/oder Entfernung von Gitterpunkten
- Unabhängiges Gitter für jede Steuergröße

## Modellierungswerkzeuge:

- eigenständige Formate
- häufig nicht kompatibel



## Modelltransformation:

- aufwendig und teuer
- fehleranfällig

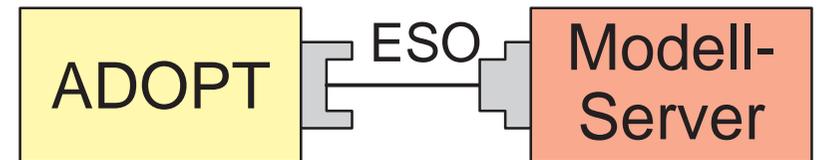


## CAPE-OPEN (EU-Projekt):

- Definition von Standard-Schnittstellen zum Datenaustausch zwischen Software in der Prozessindustrie

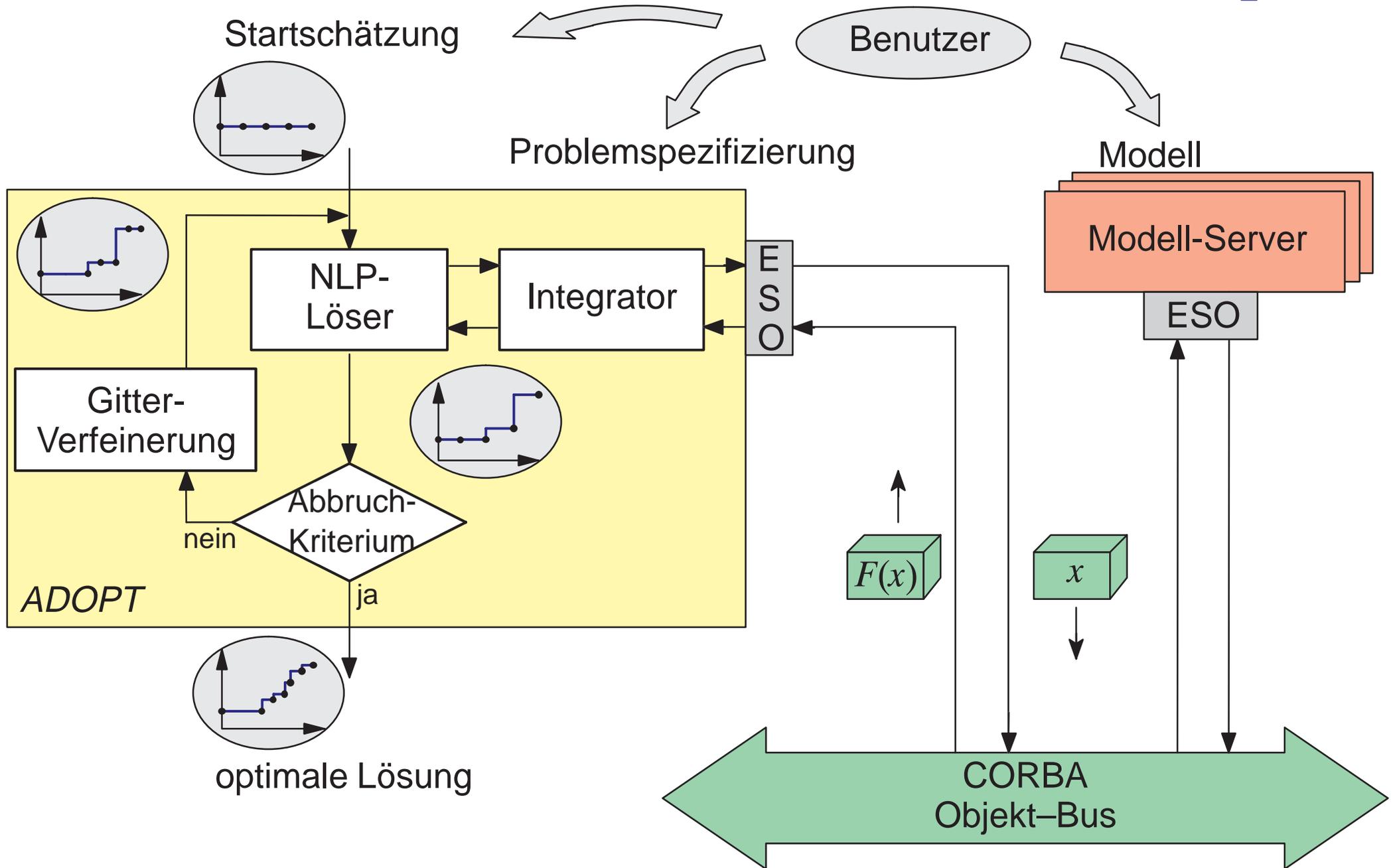
## Differentiell-algebraische Systeme:

- *Equation Set Object* (ESO)
- ⇒ Modellgleichungen/-variablen
- ⇒ Struktur der Jacobi-Matrix
- ⇒ etc.

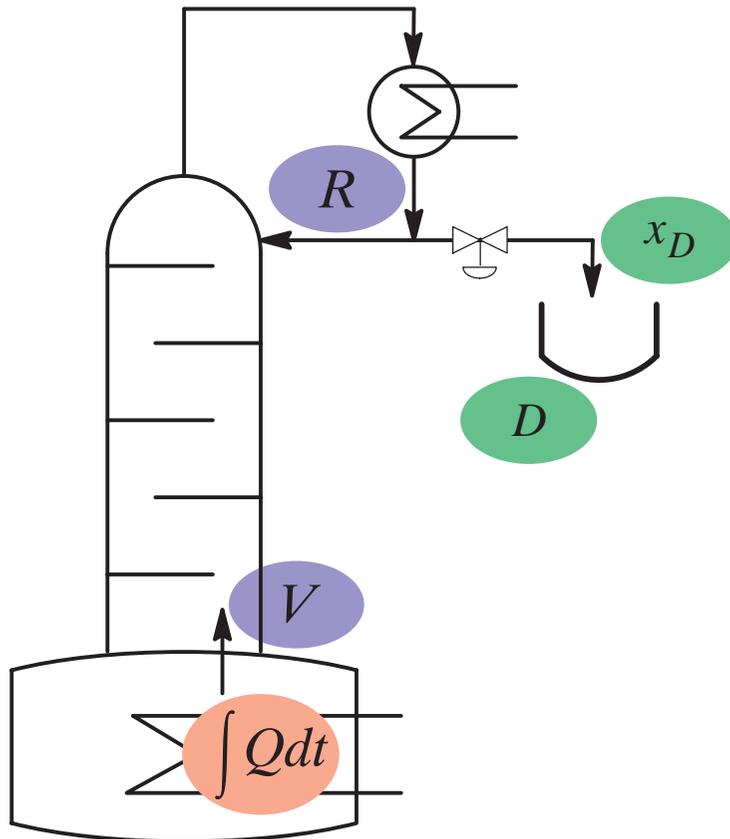


## ADOPT:

- Implementierung des ESO-Standards
- ESO-kompatible Modellierungsumgebungen



nach: *Cervantes und Biegler, 1998*



## Ziel:

minimiere Energiebedarf  $\int Qdt$

vorgegeben:

1 h Betrieb

Distillatmenge  $D \geq 6.0$  kmol

Produktkonzent.  $x_D \geq 0.46$

## Steuergößen:

Rückflussrate  $R$

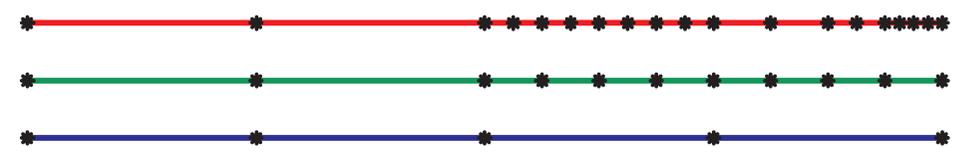
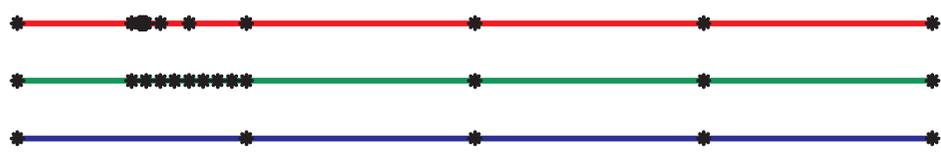
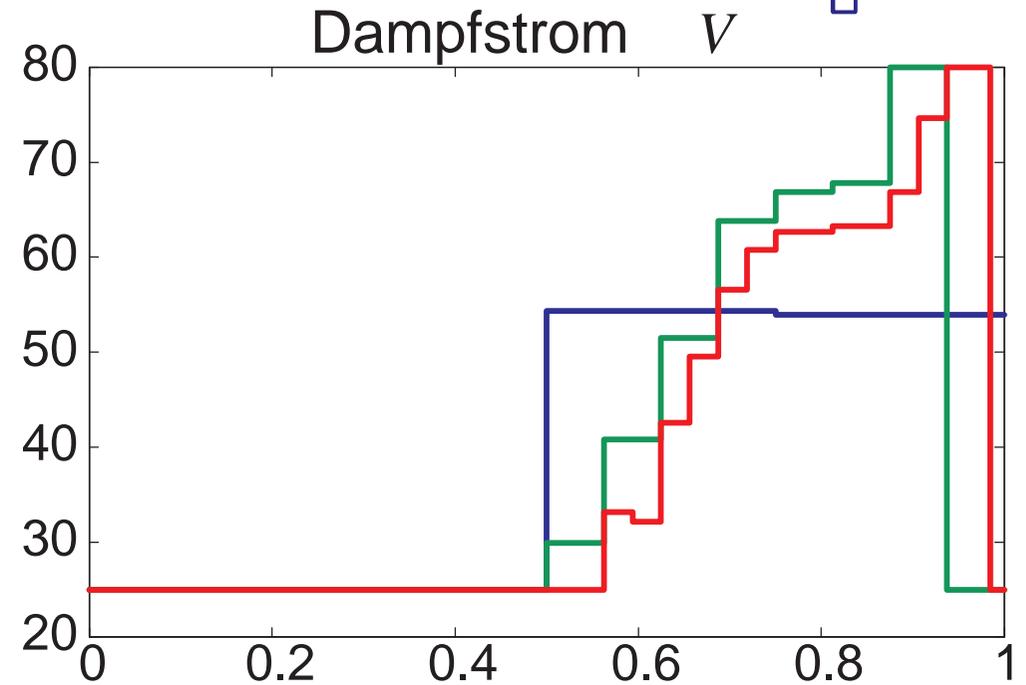
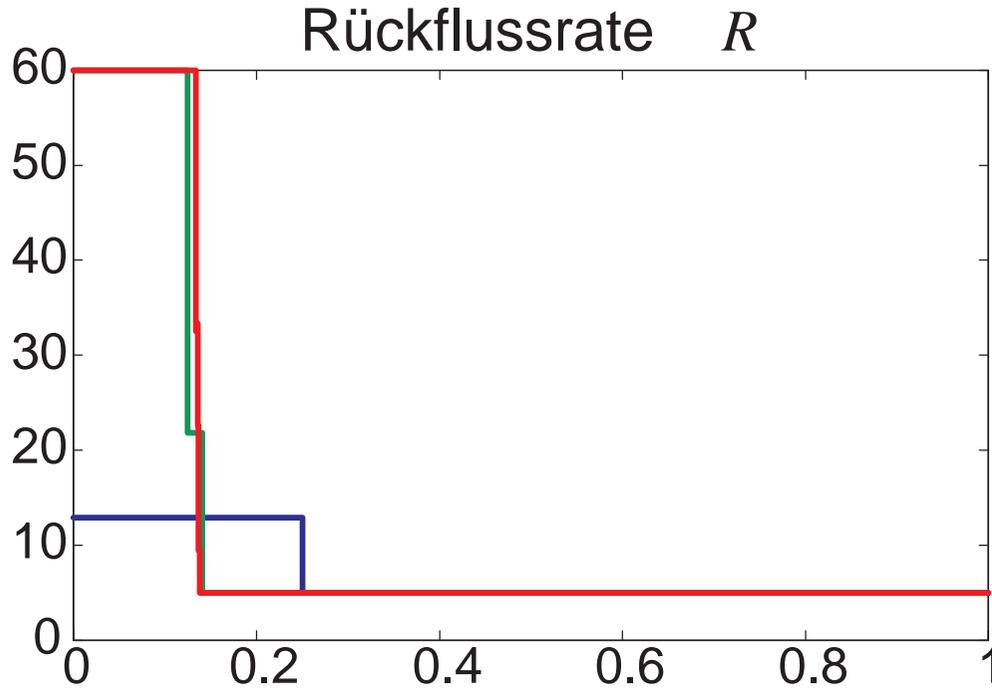
Dampfstrom  $V$

## Modellspezifikationen:

10 Böden

gPROMS-Modell mit 418 Variablen/  
Gleichungen

63 differentielle Variablen/  
Gleichungen



	Iteration	Gütefunktion	Rechenzeit[s]	
<span style="color: blue;">—</span>	0	62.322	34.8	} akku- muliert
<span style="color: green;">—</span>	2	61.575	310.9	
<span style="color: red;">—</span>	4	61.542	1080.3	
	äquidistant	61.564	2474.3	



Gewinn an Robustheit und Effizienz durch Adaption

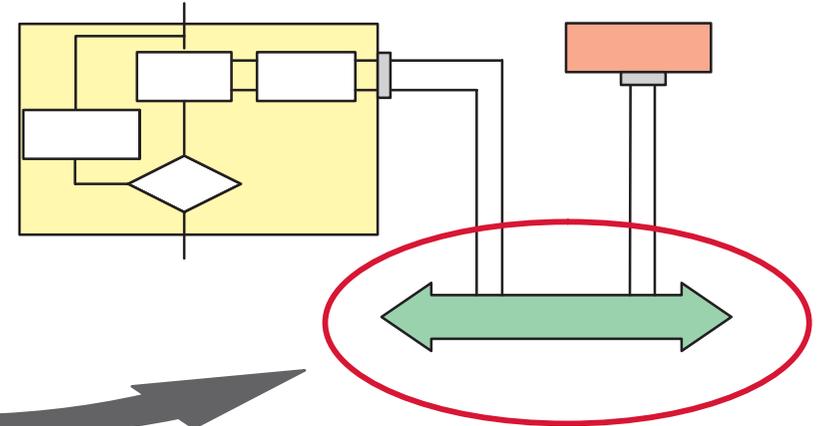


Austausch von Modelldaten funktionsfähige und bequeme Lösung

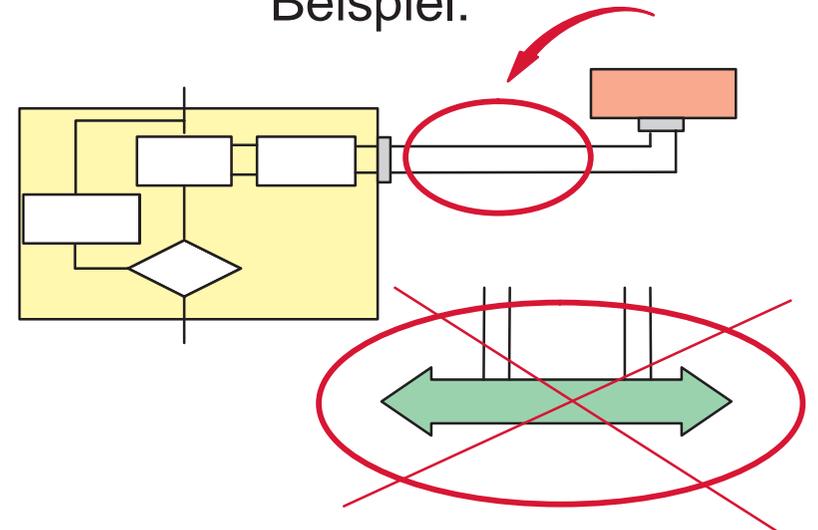


Zeitverlust durch Datentransfer im CORBA-Bus

Lösung des Problems durch Modifikation der Software-technik möglich.



Beispiel:



ADOPT verwendet aktuelle Ideen aus den Bereichen Numerik und Softwaretechnik.

Funktionsfähige Implementierung,  
Robustheit und Effizienzgewinn durch Adaption,  
bequemer Zugriff auf Modelle.

Zukunft:

- weitere Verbesserung der Numerik
- Rechnung auf bewegten Horizonten
- gemischt-ganzzahlige Probleme
- Verbesserung des Modelldatentransfers