

UNIVERSITÄT DORTMUND

Wintersemester 2008/09

**Praktische Optimierung**  
(Vorlesung)

Prof. Dr. Günter Rudolph  
Fachbereich Informatik  
Lehrstuhl für Algorithm Engineering

Kapitel 1: Einleitung

**Arbeitsdefinition:**  
*Praktische Optimierung* =<sub>def</sub>  
Was kann man tun, wenn

1. Problem nicht analytisch lösbar und
2. kein Lösungsalgorithmus bekannt.

⇒ Zu behandelnde **Fragestellungen:**

- Wie löst man Probleme analytisch?
- Welche Verfahren für bestimmte Problemklassen gibt es?
- Wie entwickelt man ein (heuristisches) Verfahren zur approximativen Lösung?

Rudolph: PO (WS 2008/09) • Kap. 1: Einleitung 2

Kapitel 1: Einleitung

**Problemklassen**

hier:

- deterministisch, statisch
- deterministisch, statisch,  $\geq 2$  Zielsetzungen
- nicht-deterministisch, statisch
- deterministisch, dynamisch

Rudolph: PO (WS 2008/09) • Kap. 1: Einleitung 3

Kapitel 1: Einleitung

**Statisch, deterministisch**

$f(x; \theta) \rightarrow \min!$   
↑  
Parameter  $\in \mathbb{R}^p$

statisch	: keine Änderungen über der Zeit
deterministisch	: alle Parameter sind Konstanten

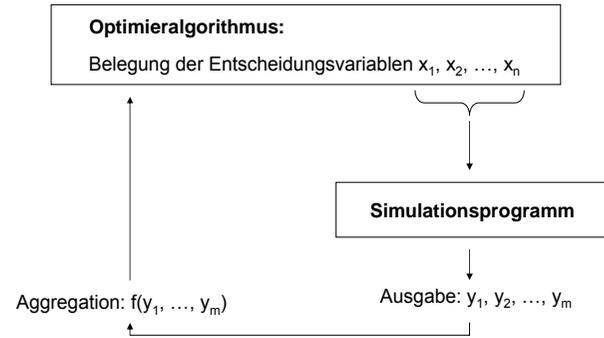
1. **Ansatz:** Analytisch lösbar?  $f(\cdot)$  differenzierbar? Lösung herleitbar?

iterative Näherung?  $x^{(t+1)} = \text{ALG}(x^{(t)})$

Berechnung von  $f(\cdot)$  kann viel Zeit kosten!  
z.B. bei technischen Anwendungen: Simulationslauf

Rudolph: PO (WS 2008/09) • Kap. 1: Einleitung 4

## Kapitel 1: Einleitung



denkbar: „Metamodellierung“ von  $f(\cdot)$

**Idee:** erzeuge approximatives Modell von  $f(\cdot)$ , das schnell zu berechnen!

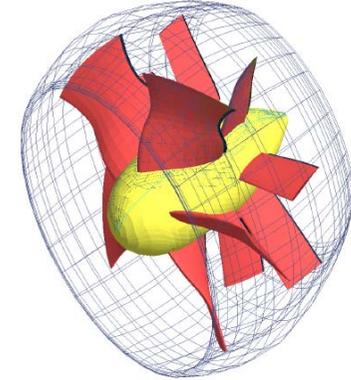
## Typical Application (I)

### Optimization of Ship Propulsion Systems:

#### Linear Jet

Speed range between

- Conventional propellers tend to cavitate at high speeds (loss of efficiency, damages)
- Water jets efficiency not competitive at lower speeds



System of multiple components:

- Rotor
- Stator
- Nozzle

## Typical Application (II)

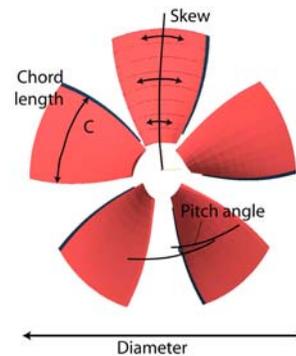
Parameters of Ship Propulsion System:

Geometry of propeller defined by

- Propeller diameter
- Rotation speed
- Pitch
- Chord length

Spline curves in use,  
bases defined by parameters

All together: **9 parameters**  
(decision space dimension: 9)



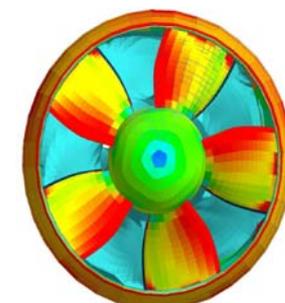
## Typical Application (III)

### Preliminary design



Optimization done by  
Evolutionary Algorithm

### Optimized design



- Chord length increased
- Larger hub diameter

## Kapitel 1: Einleitung

### mehrfache Zielsetzung:

Beispiel: Brennstabwechselproblem (1994f.):

A565	A321	0232	B121	D099	A111	A121
A226	0321	C139	A982	C321	C021	A222
A987	A553	B111	B112	A002	A144	0128
A009	B454	0287	A801	B071	B522	
C343	D762	C424	0999	B991		
0292	D393	A632	0020			
A233	B987	C112				

gleichmäßiger Abbrand → max.  
hohe Energieleistung → max.

 heiße / aktive Stäbe  
 kalte / inaktive Stäbe

Brennstabauswahl, -position und -orientierung → Simulator  
Simulator rechnet ... (damals ca. 60s) → Ausgabe: 2 Werte

## Kapitel 1: Einleitung

### mehrfache Zielsetzung:

Was bedeutet hier „optimal“?

**1 Ziel** : Lösung  $x^*$ , so dass  $f(x^*)$  kleinster/größter Wert

**2 Ziele** : Lösung  $x^*$ , so dass  $f(x^*)$  ... ?

Problem: unvergleichbare Lösungen

Bsp:  $\begin{pmatrix} 3 \\ 6 \end{pmatrix} \preceq \begin{pmatrix} 4 \\ 7 \end{pmatrix}$  und  $\begin{pmatrix} 3 \\ 6 \end{pmatrix} \preceq \begin{pmatrix} 3 \\ 7 \end{pmatrix}$  aber  $\begin{pmatrix} 3 \\ 6 \end{pmatrix} \parallel \begin{pmatrix} 2 \\ 7 \end{pmatrix}$

⇒ neuer Optimalitätsbegriff nötig!

⇒ Pareto-Optimalität

## Kapitel 1: Einleitung

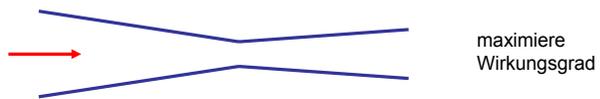
Was tun, wenn Physik / Chemie etc. des Prozesses unverstanden?  
⇒ kein Simulationsprogramm verfügbar!

### Ansatz:

Optimierung am realen Objekt!

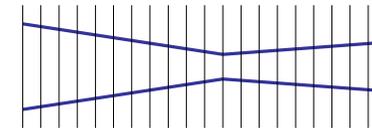
**Beispiel:** Zweiphasendüse (Schwefel, 1968)

Hochgeschwindigkeitdüse, turbulente Strömung, physikalisch nicht modellierbar



## Kapitel 1: Einleitung

### Versuchsaufbau:

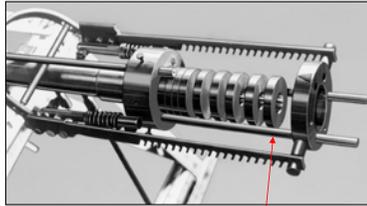


Herstellung verschiedener konisch geformter Teilstücke / Segmente  
Form des Düsenteilstücks ist Entscheidungsvariable

Auswahl von Düsenteilstücken  
Zusammenspannen  
Wasserdampf unter hohem Druck durch Düse  
Wirkungsgrad **messen!** } „Simulatorersatz“

## Kapitel 1: Einleitung

Das reale Objekt:



Segment

Startlösung:



Optimierte Lösung:

(nach 45 Verbesserungen)

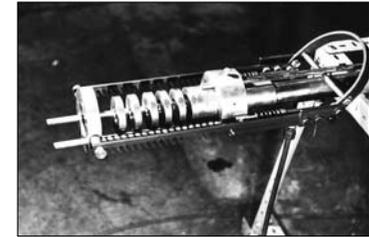


## Experimental two-phase nozzle optimization (II)



collection of conical nozzle parts

device for clamping nozzle parts



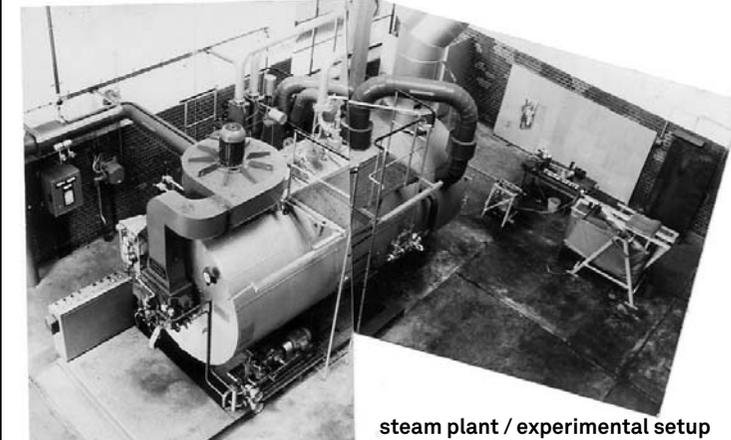
## Experimental two-phase nozzle optimization (III)



Hans-Paul Schwefel  
while changing nozzle parts



## Experimental two-phase nozzle optimization (IV)



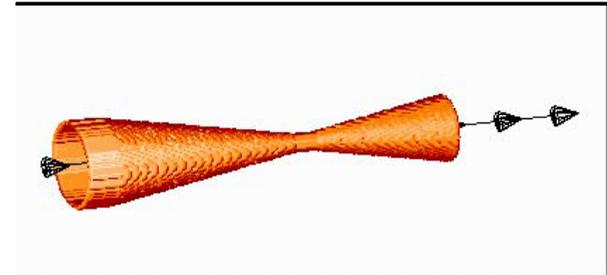
steam plant / experimental setup



the nozzle in operation ...  
... while measuring degree of efficiency

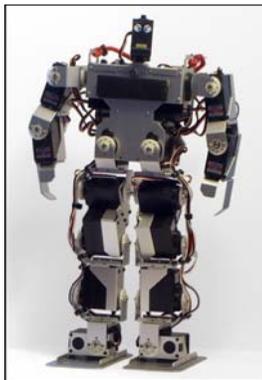
## Kapitel 1: Einleitung

Video:



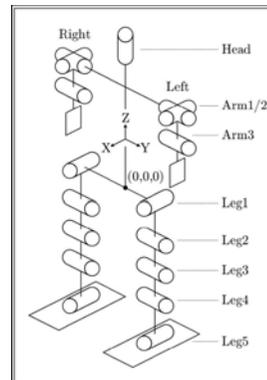
## Kapitel 1: Einleitung

**Neueres Beispiel:** Humanoider Roboter soll laufen lernen!



Kondo KHR-1

Modell:



## Kapitel 1: Einleitung

**Ansatz:**

- Physikalisches Modell des Laufens aufstellen  
  Parametrisiert: Wie hoch Fuß heben? Wie weit Arm schwingen? etc.
- Simulationsprogramm („Walking Engine“)
- Optimierungsalgorithmus variiert Parameter
- Optimalitätskriterium: Laufgeschwindigkeit (aus Simulation)

*Nach Optimierung:*

Parameter in den realen Roboter laden ...

**... und er fällt um, läuft schief, läuft langsam.**



**Warum?**

Modell und Simulation zu ungenau!



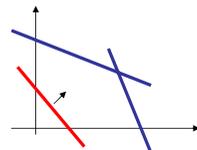
Lichtschranken

**Aufbau:**

1. Optimierer variiert Parameter
2. Download zum Robo
3. Läuft ...
4. Qualität = Zeit zwischen Lichtschranken

Was ist zu beachten, wenn Parameter des Problems **stochastisch**?

$$f(x) = c_1 x_1 + c_2 x_2 \quad \text{mit } A \cdot x \leq b$$



$f(x) = z = \text{const.}$

- Wenn  $c_i$  in  $f(\cdot)$  Zufallsvariable (Zva):  
 ⇒  $f(\cdot)$  Zva  
 ⇒ Steigung zufällig
- Wenn Parameter in  $A$  und/oder  $b$  Zva:  
 ⇒ zulässiger Bereich zufällig  
 ⇒ zulässige (ggf. optimale) Lösung wird unzulässig!

Optimalitätsbegriff?

Was kann man tun, wenn Parameter **zeitabhängig**?

⇒ das Optimum wandert im Raum!

- Optimum folgen ...
- Optimum vorhersagen ...

**Optimalitätsbegriff?**