

Energieeffizienz auf Knopfdruck – Computer planen technische Systeme

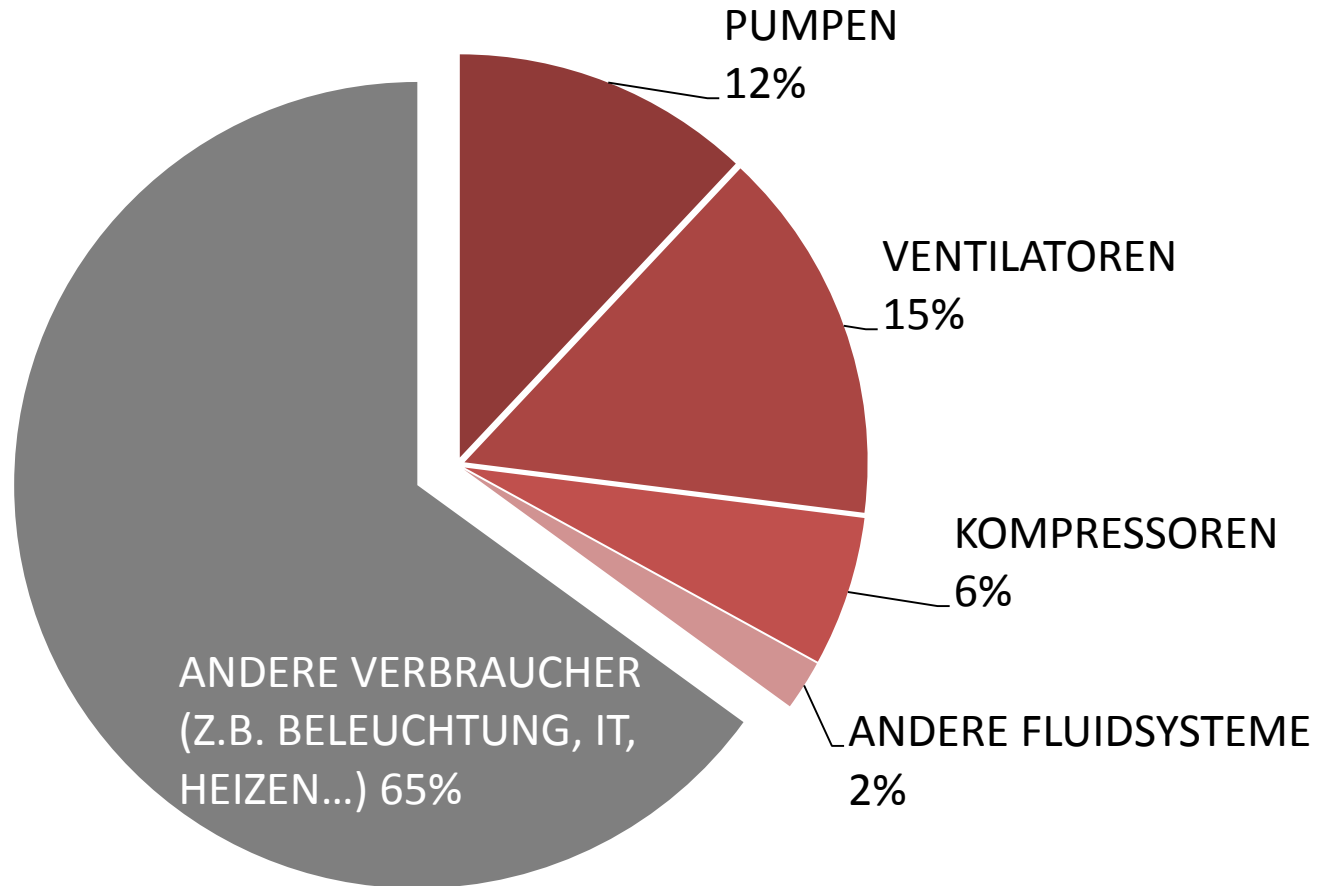


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Institut für Fluidsystemtechnik, Technische Optimierung
Dipl.-Math. Thorsten Ederer, M.Sc. Phys.



Energieverbrauch in der Europäischen Union



Technische Komplexität entsteht durch
das Zusammenspiel von Komponenten

Product Approach



Extended
Product Approach



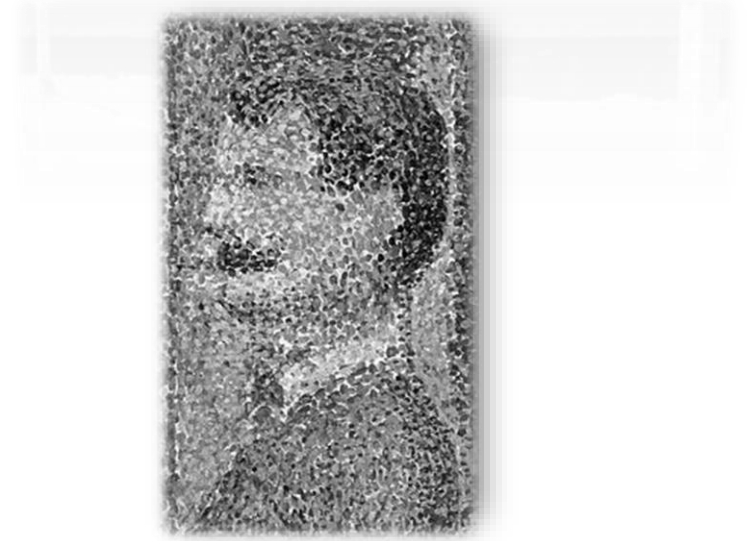
System Approach

Probleme bei der Systemauslegung

1. Keine **Referenz** verfügbar



2. Entscheidung durch **Intuition**

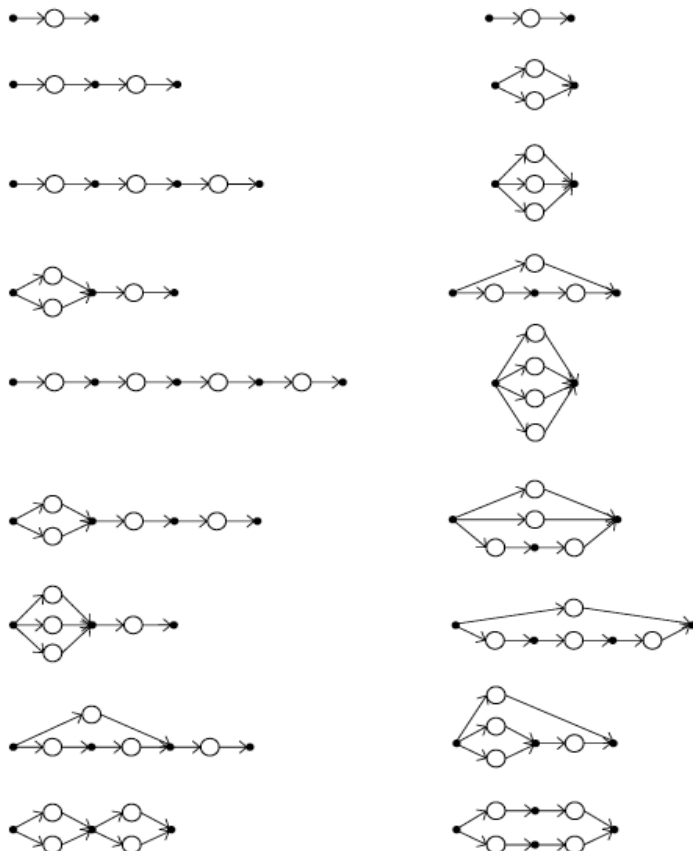


3. Fokus auf **Details**

Idee: Unterstütze die Entscheidungsfindung
durch computergestützte Verfahren

Repräsentation von Systemtopologien

YOKE CHAINS

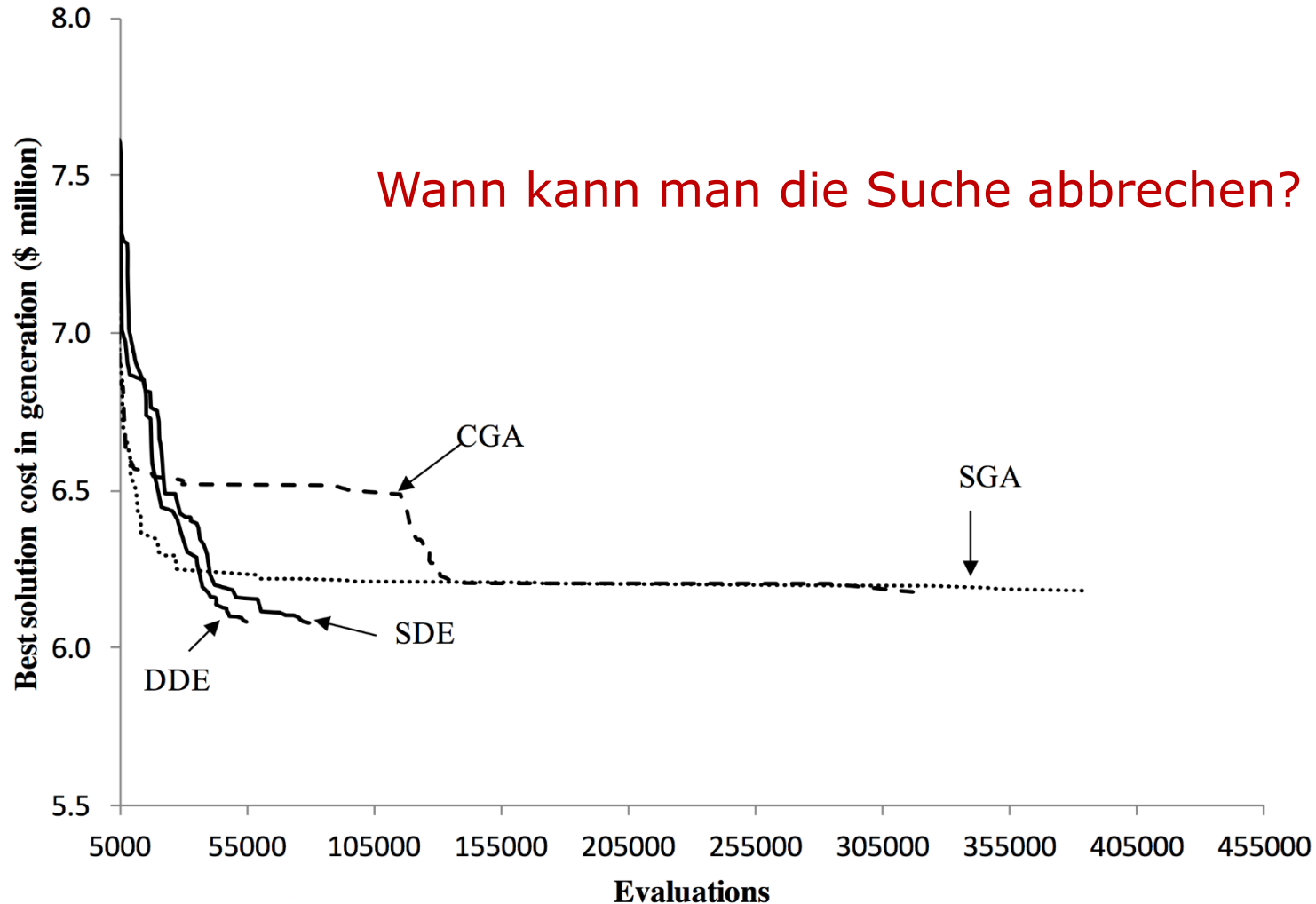


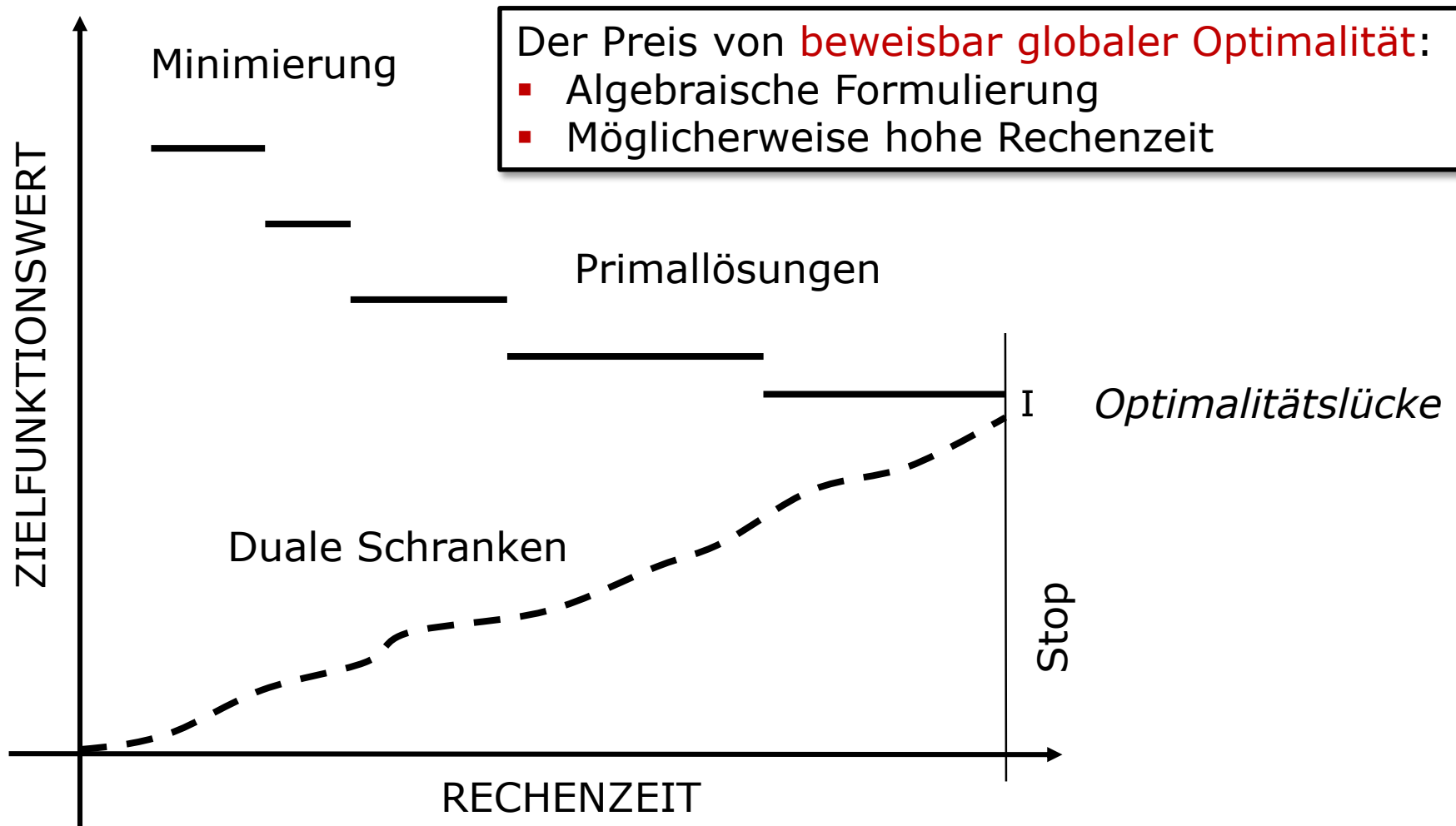
KOMBINATORISCHE EXPLOSION

#K Anzahl möglicher Systeme

1	1
2	1
3	4
4	38
5	728
6	26704
7	1866256
8	251548592
9	66296291072
10	34496488594816
11	35641657548953344
12	73354596206766622208
13	301272202649664088951808
14	2471648811030443735290891264
15	40527680937730480234609755344896

Das Problem von Primalheuristiken







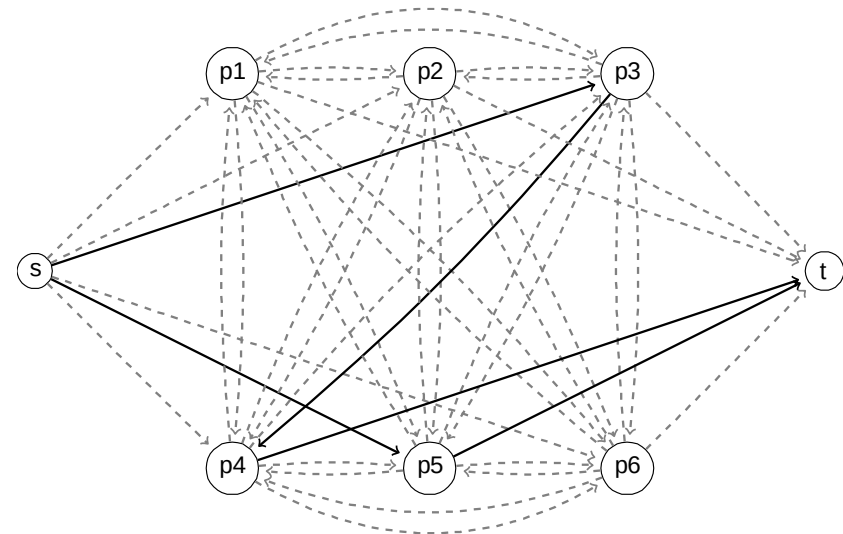
Automatisierte Auslegung eines Fluidfördersystems

DRUCKERHÖHUNGSANLAGE

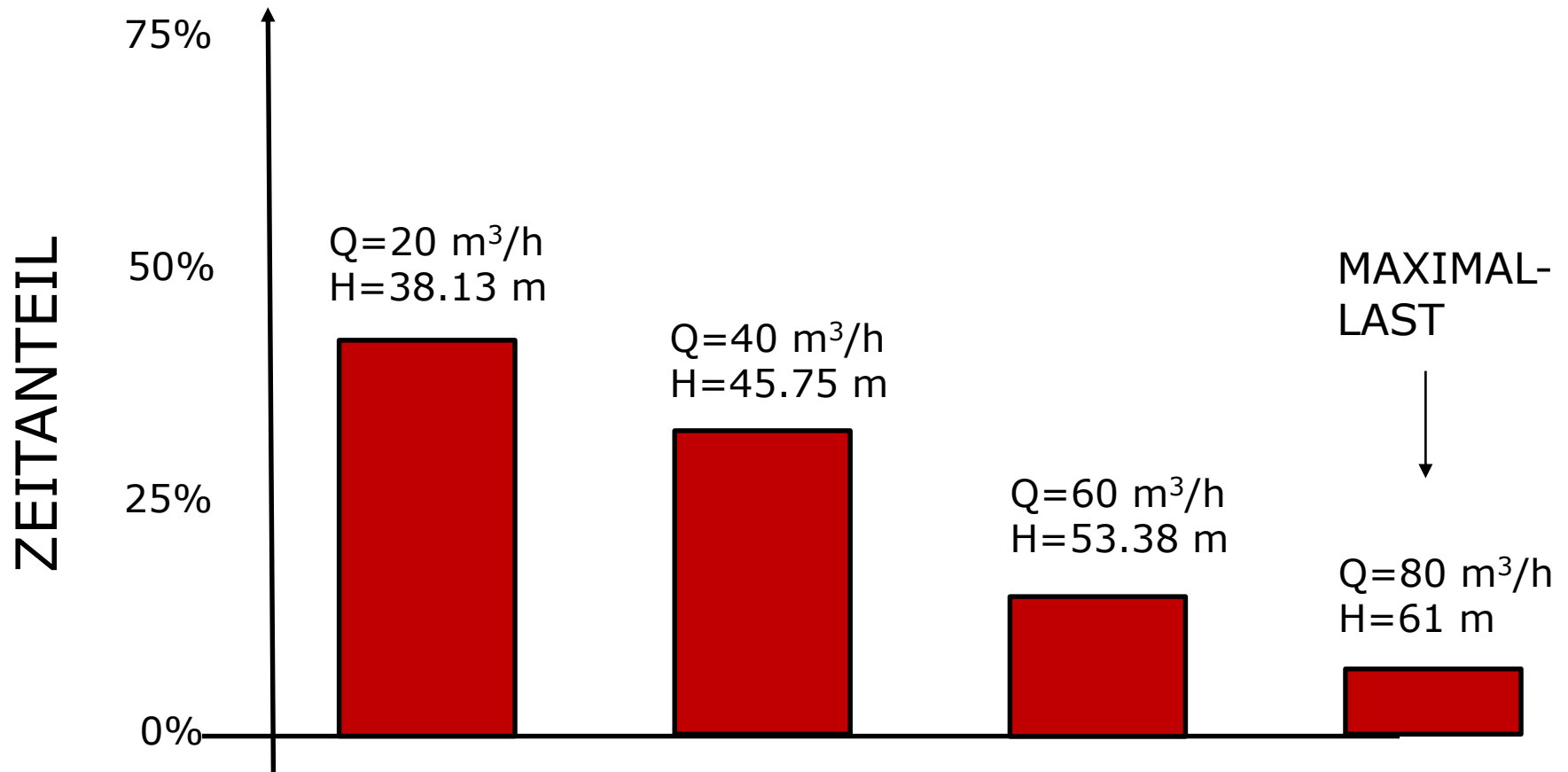
(Source: KSB AG)



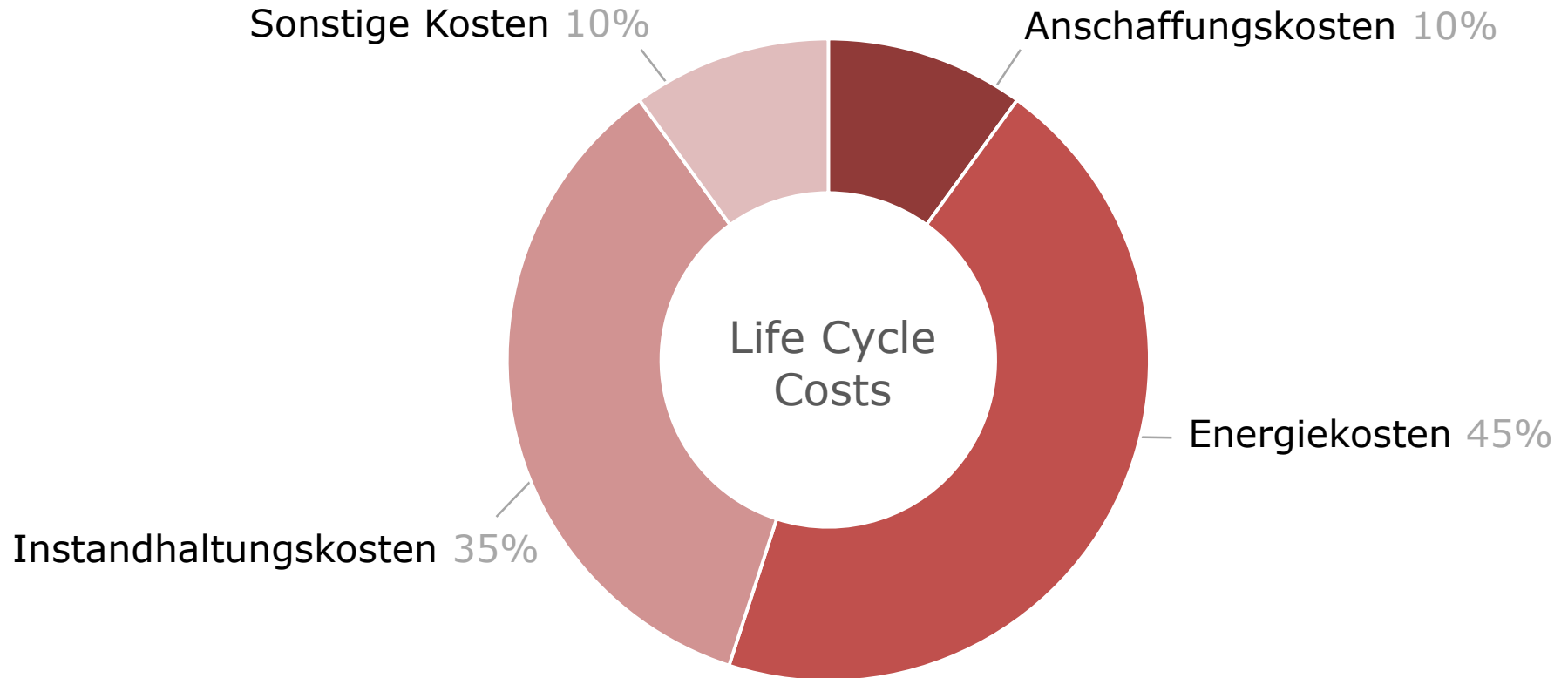
TOPOLOGIE / GRAPH



Was ist die Funktion? Lastprofil

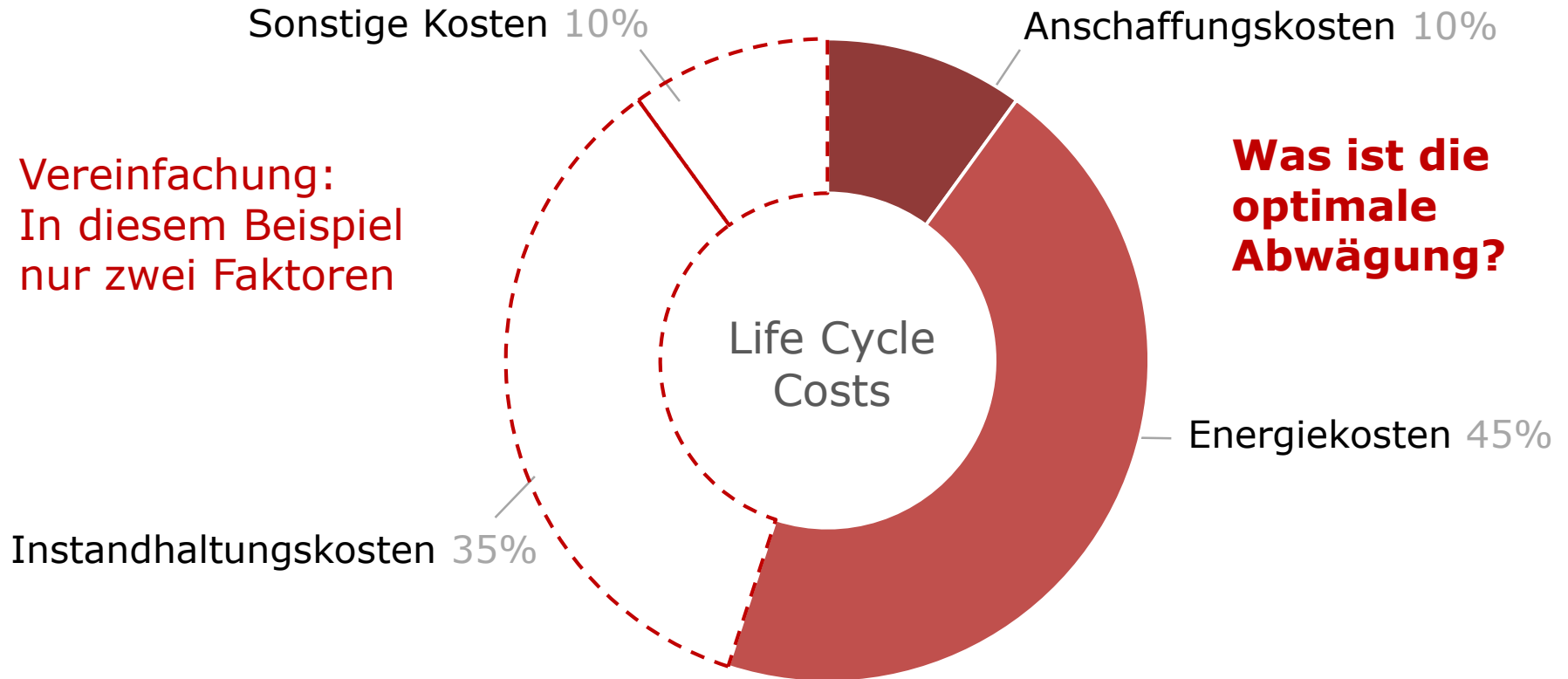


Einsparpotentiale erkennen



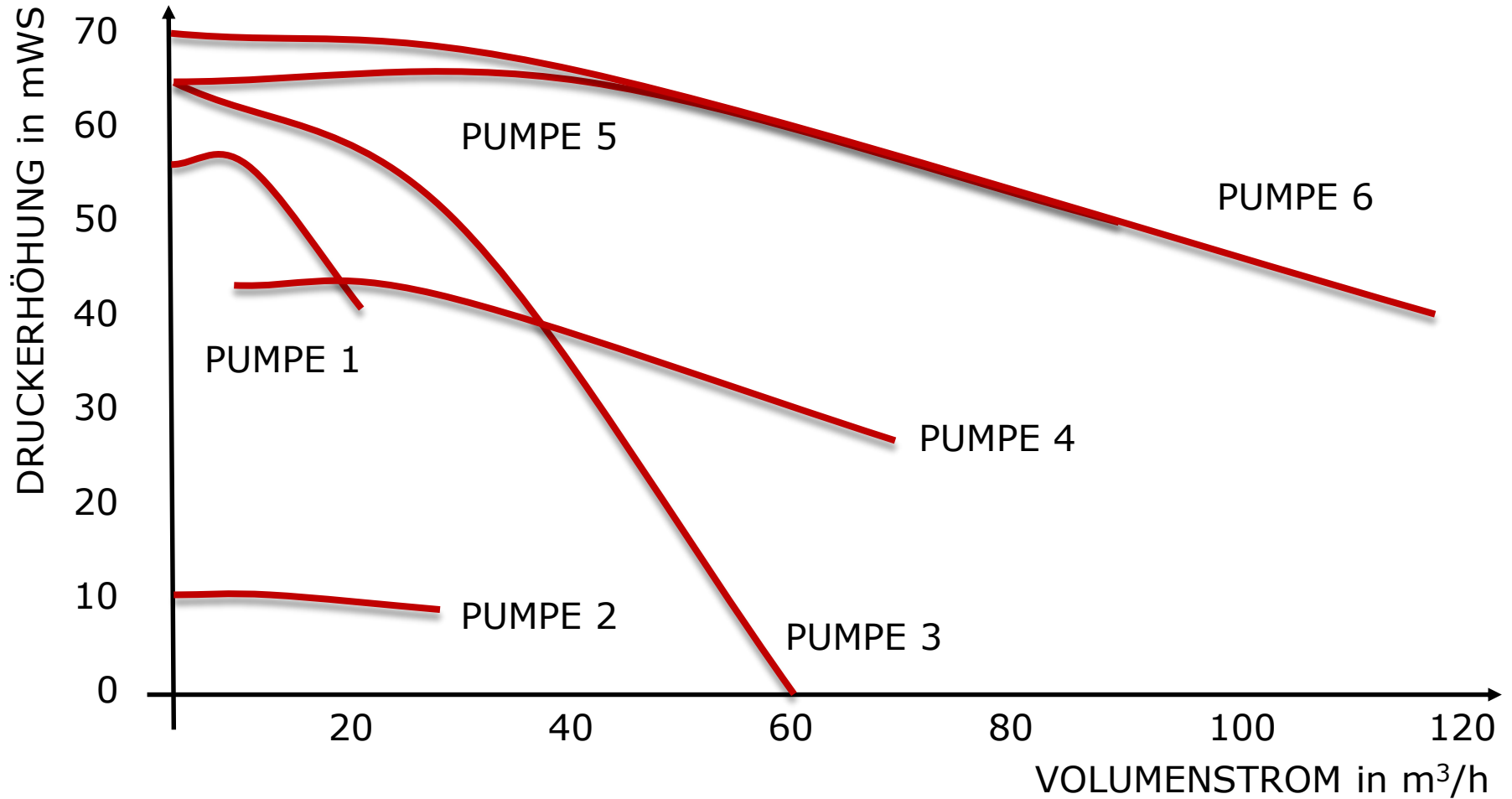
(Quelle: Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbauer)

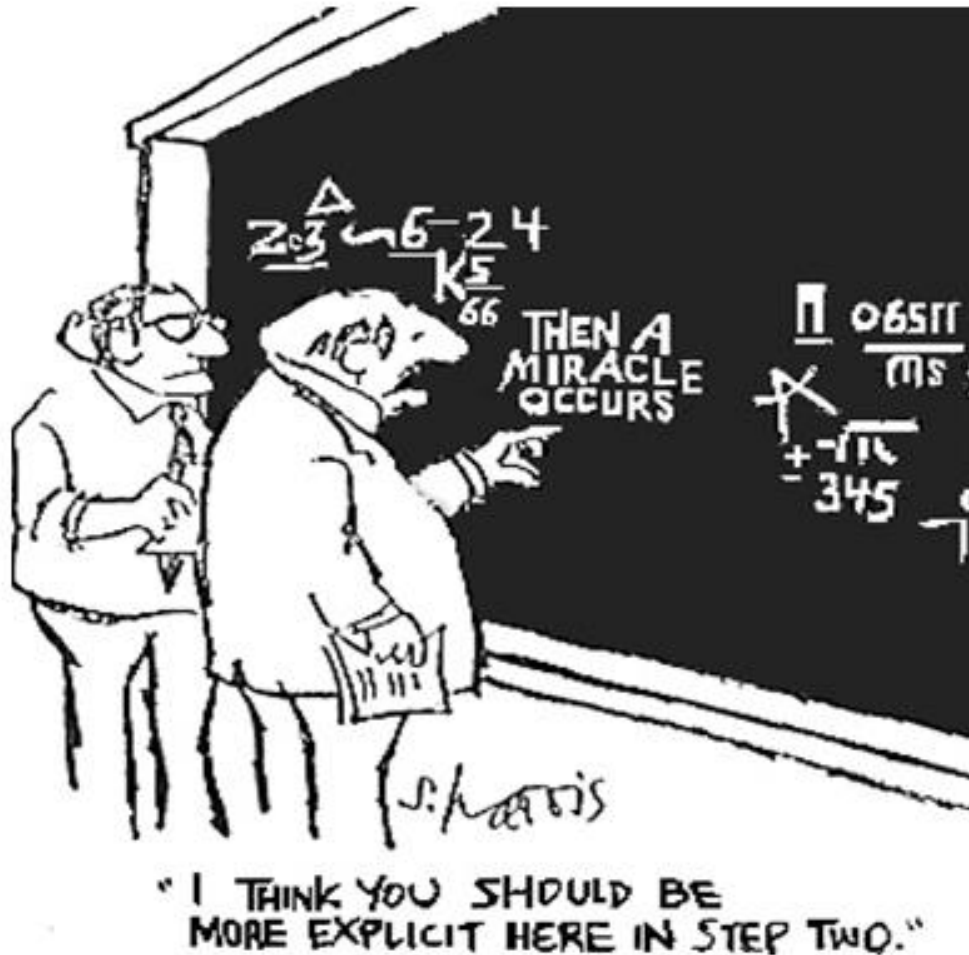
Einsparpotentiale erkennen



(Quelle: Verband deutscher Maschinen- und Anlagenbauer)

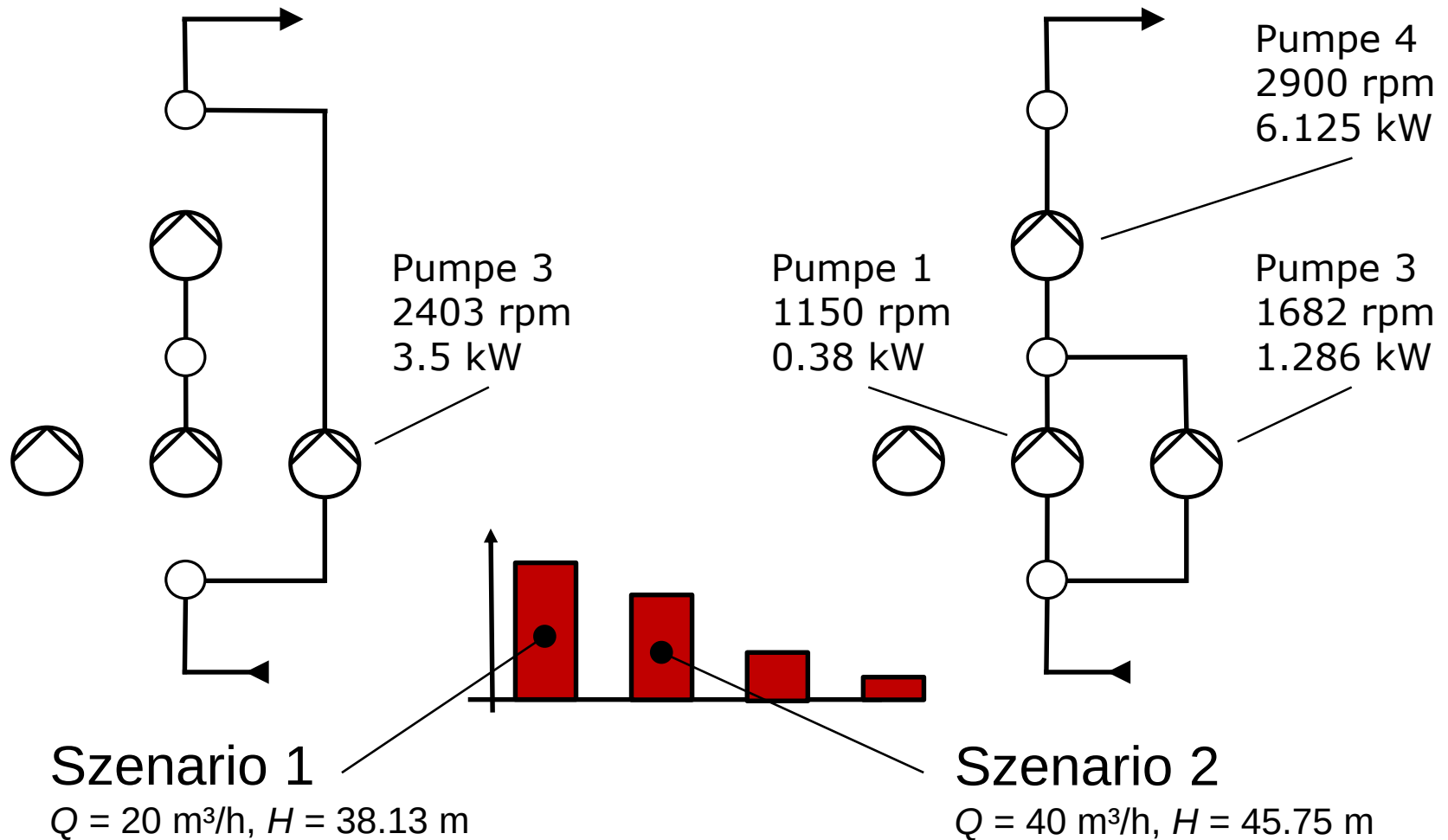
Pumpenkennlinien



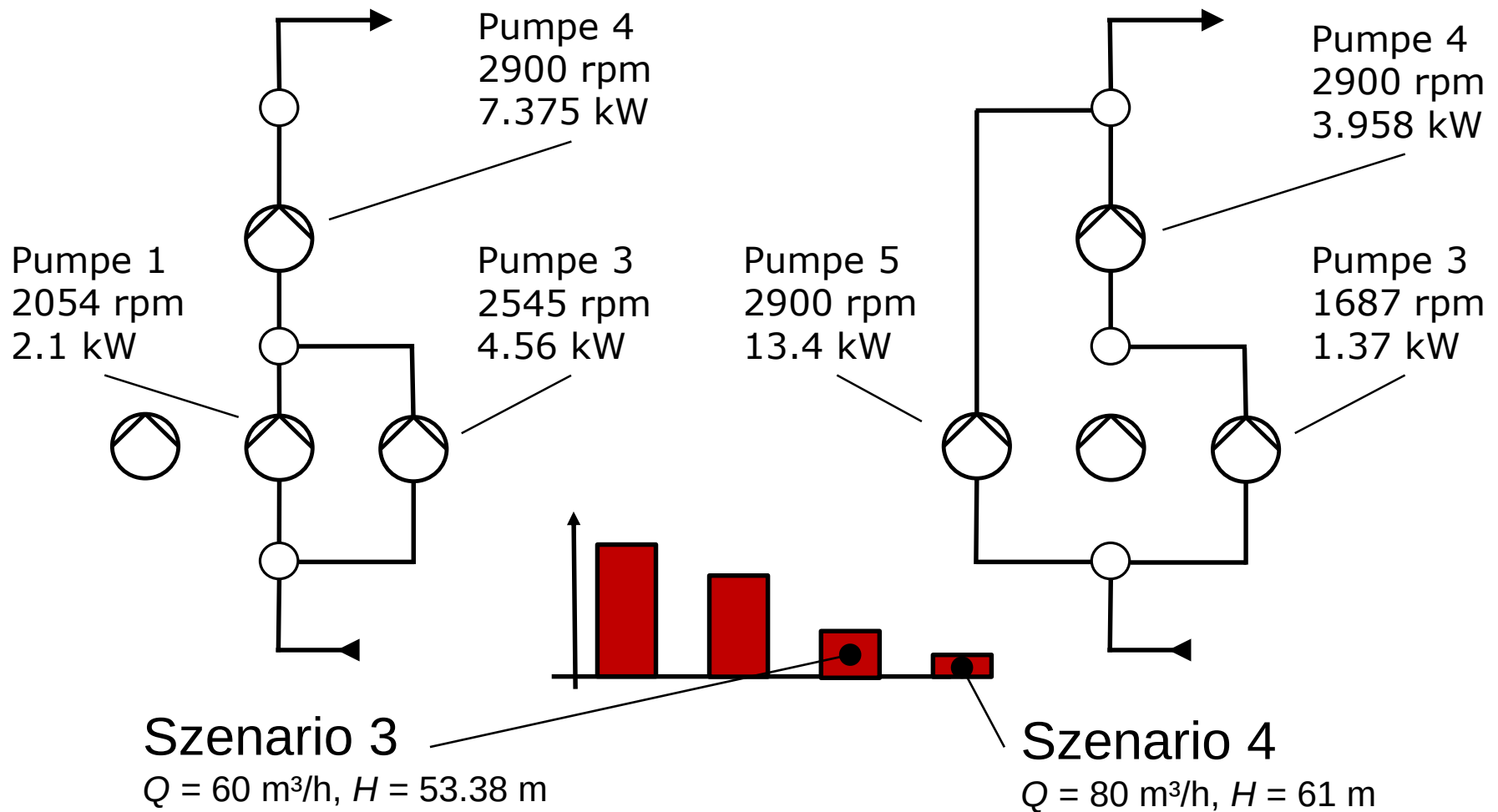


- **Pöttgen, P. ; Ederer, T. ; Pelz, P. F. :** *Examination and Optimisation of a heating circuit using TOR*, EST 2015, 19-21 Mai 2015, Karlsruhe.
- **Schänzle, C. ; Altherr, L.; Ederer, T.; Lorenz, U.; Pelz, P. F. :** *As good as it can be – Ventilation system design by a combined scaling and discrete optimization method*, Fan 2015, (2015)
- **Holl, M.; Platzer, M.; Pelz, P. F. :** *Optimal energy systems design applied to an innovative ocean-wind energy converter*, 7th International Conference on Sustainable Development and Planning, (2015)
- **Vergé, Angela ; Pöttgen, P. ; Pelz, P. F. :** *Hilfe von TOR - Lebensdauer als Optimierungsziel im automatisierten Systementwurf*, fluid MARKT, (2014)
- **Dörig, B. ; Ederer, T. ; Hedrich, P. ; Lorenz, U. ; Pelz, P. F. ; Pöttgen, P. :** *Technical Operations Research (TOR) Exemplified by a Hydrostatic Power Transmission System*, 9.IFK – Proceedings Vol.1, (2014)
- **Pelz, P. F. ; Lorenz, U. ; Ederer, T. ; Metzler, M. ; Pöttgen, P. :** *Global System Optimization and Scaling for Turbo Systems and Machines*, 15th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, ISROMAC-15, 24.02.2014 - 28.02.2014, Honolulu, Hawaii, USA., (2014)
- **Altherr, L. ; Ederer, T.; Lorenz, U.; Pelz, P. F., Pöttgen, P. :** *Designing a Feedback Control System via Mixed-Integer Programming*, Operations Research Aachen, (2014)
- **Altherr, L. ; Ederer, T.; Lorenz, U.; Pelz, P. F. , Pöttgen, P.:** *Experimental Validation of an Enhanced System Synthesis Approach*, Operations Research Aachen, (2014)
- **Pelz, P. F. ; Lorenz, U. ; Ederer, T. ; Lang, S. ; Ludwig, G. :** *Designing Pump Systems by Discrete Mathematical Topology Optimization: The Artificial Fluid Systems Designer (AFSD)*, International Rotating Equipment Conference, (2012)
- **Pelz, P. F. ; Lorenz, U. :** *Effiziente Energiewandlung als Optimierungs- und Skalierungsaufgabe*, TU Forschen, Wissenschaftsmagazin Nr. 1, 2011, (2011)
- ...

Optimallösung (1)



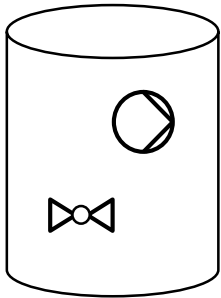
Optimallösung (2)



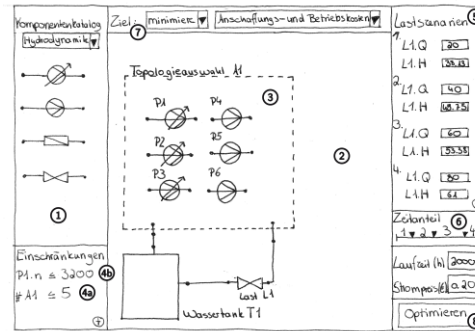
Effiziente Komponenten
alleine führen nicht zu
effizienten Systemen!

TOR Workflow

Komponenten-
Datenbank



Graphische
Benutzeroberfläche



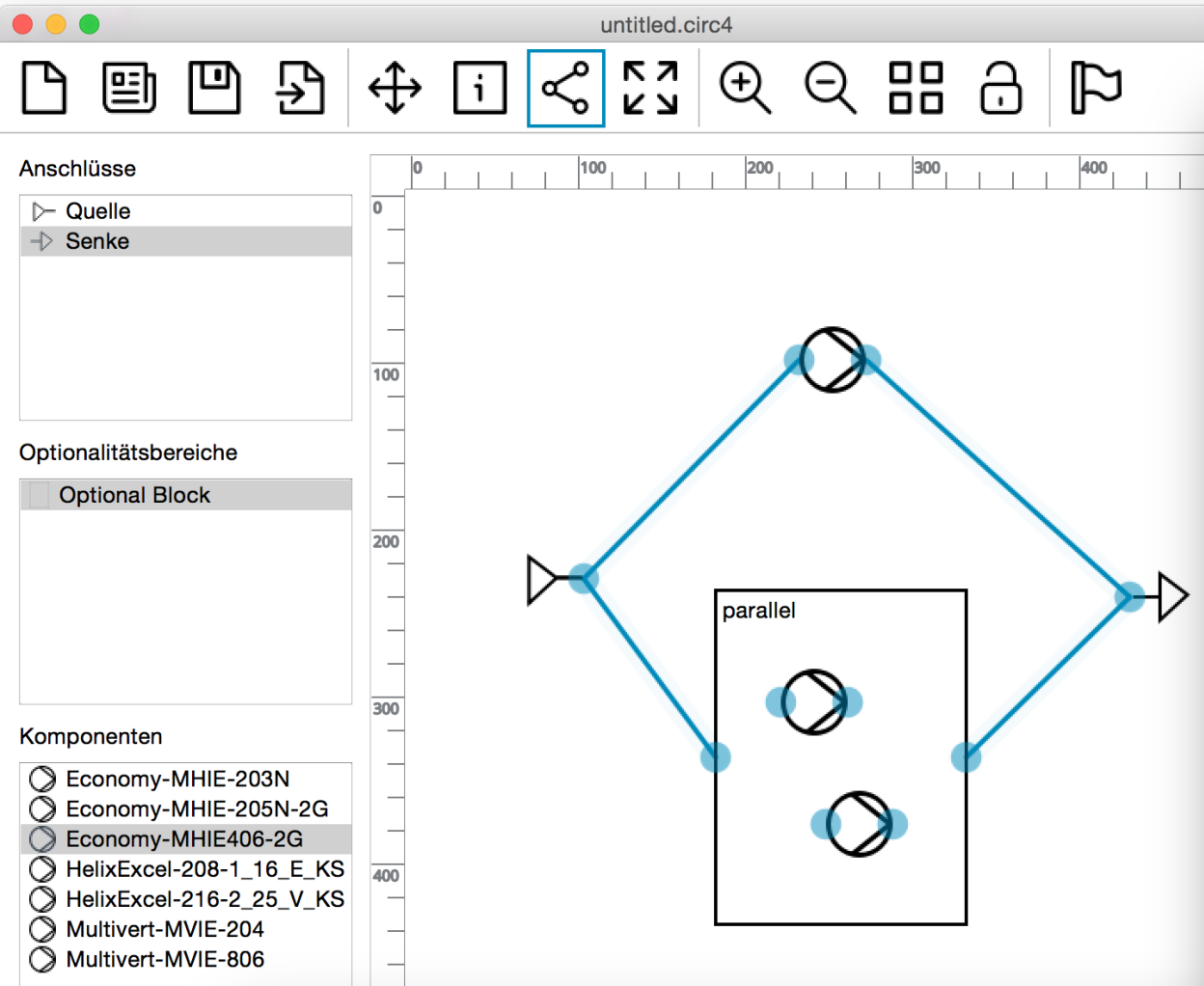
Wartung/
Support

AUSGRÜNDUNG
UNIVERSITÄT

Physikalische
Modelle

Mathematisches
Modell

Algorithmen



Zu minimierende Zielfunktion

Stromverbrauch

Kosten für kWh in €: 0.1

Laufzeit in Jahren: 10

Optimierung starten!

Zielfunktionswert: 1222.29

Stromkosten über die Laufzeit: 232.286

Anschaffungskosten: 990

Stromkosten - 19.0042%

Anschaffungskosten - 80.9958%

Stromverbrauch pro Jahr in kWh: 232.286

Lastfälle

	Szenario	Anteil	Q Min	Q Max	H Min	H Max
1	Maximallast	20%	5 m ³ /h	5 m ³ /h	7 mWS	8 mWS

Ok

Mathematisches Programm: Modell aller möglichen Systeme



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

$$\sum_{(i,v) \in E} q_{s,i,v}^E = q_{s,v}^V \quad \forall s \in S, v \in V : v \neq v_s$$

$$q_{s,v}^V = \sum_{(i,v) \in E} q_{s,i,v}^E \quad \forall s \in S, v \in V : v \neq v_t$$

$$h_{s,i}^{V-} - h_{s,i}^{V+} \leq 2h_s^{S+} \cdot (1 - x_{s,i,j}^E) \quad \forall s \in S, (i,j) \in E$$

$$h_{s,i}^{V+} - h_{s,i}^{V-} \leq 2h_s^{S+} \cdot (1 - x_{s,i,j}^E) \quad \forall s \in S, (i,j) \in E$$

$$h_{s,v}^{V+} + h_{s,v}^V = h_{s,v}^{V-} \quad \forall s \in S, v \in V$$

$$\sum_{(p,l) \in K^{(2D)} : (p,l+1) \in K^{(2D)}} k_{s,p,l}^z = 1 \quad \forall s \in S, p \in P^{(2D)}$$

$$k_{s,p,l}^s \leq k_{s,p,l}^z \quad \forall s \in S, (p,l) \in K^{(2D)} : (p,l+1) \in K^{(2D)}$$

$$q_{s,p}^V = \sum_{(p,l) \in K^{(2D)}} k_{p,l}^q \cdot k_{s,p,l}^z + (k_{p,l+1}^q - k_{p,l}^q) \cdot k_{s,p,l}^s \quad \forall s \in S, p \in P^{(2D)}$$

$$h_{s,p}^V = \sum_{(p,l) \in K^{(2D)}} k_{p,l}^h \cdot k_{s,p,l}^z + (k_{p,l+1}^h - k_{p,l}^h) \cdot k_{s,p,l}^s \quad \forall s \in S, p \in P^{(2D)}$$

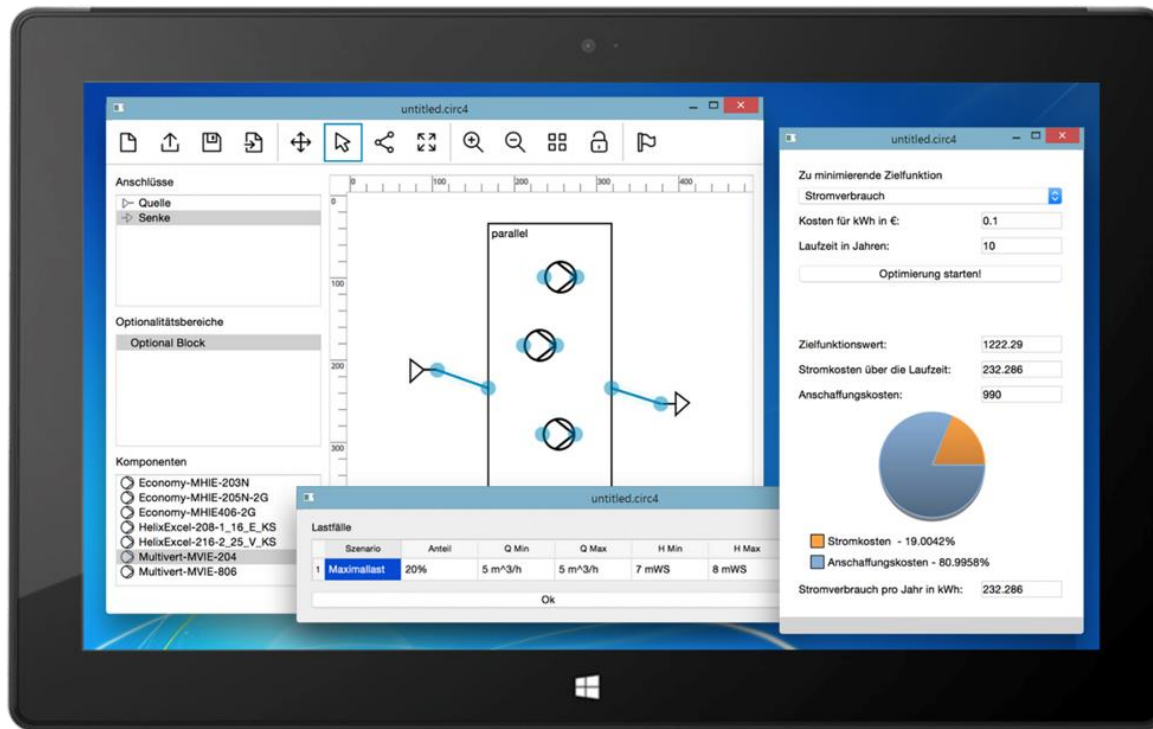
$$p_{s,p}^V = \sum_{(p,l) \in K^{(2D)}} k_{p,l}^p \cdot k_{s,p,l}^z + (k_{p,l+1}^p - k_{p,l}^p) \cdot k_{s,p,l}^s \quad \forall s \in S, p \in P^{(2D)}$$

$$n_{s,p}^V = n_p^{(max)} \quad \forall s \in S, p \in P$$

Systeme planen und optimal betreiben



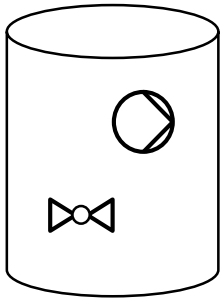
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



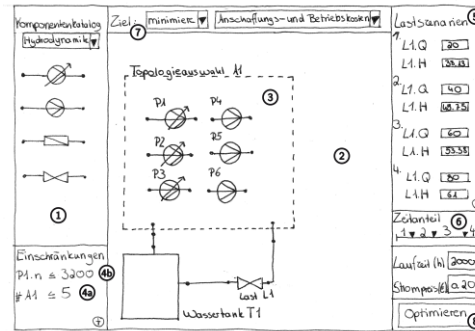
Technische Optimierung und Industrie 4.0

TOR Workflow

Komponenten-
Datenbank



Graphische
Benutzeroberfläche



Wartung/
Support

AUSGRÜNDUNG
UNIVERSITÄT

Physikalische
Modelle

Mathematisches
Modell

Algorithmen

1. Planen Sie Systeme bitte **nicht mehr nur von Hand!**
2. Algorithmen sind nicht alle gleich. Es gibt sehr große Unterschiede bei **Aufwand** und **Güte** der Lösung.
3. Das Feld der **Systemoptimierung** entwickelt sich rasant.

Energieeffizienz auf Knopfdruck – Computer planen technische Systeme



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Institut für Fluidsystemtechnik, Technische Optimierung
Dipl.-Math. Thorsten Ederer, M.Sc. Phys.

