

# Algorithmen designen in Zukunft technische Systeme

Prof. Dr. Ulf Lorenz

## Googles technologische Träume



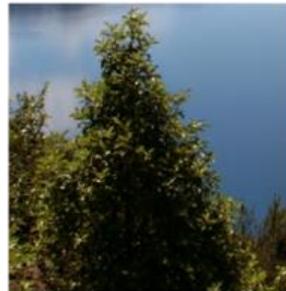
[http://images.google.de/imgres?imgurl=http://c.mobilegeeks.de/wp-content/uploads/2014/05/Google-Car-2.jpg&imgrefurl=http://www.mobilegeeks.de/google-car-selbstfahrendes-auto-prototyp-details/&h=3459&w=5190&tbnid=HXK0mmnZm4pauM:&tbnh=90&tbnw=135&docid=camltMO5\\_kjo7M&usg=\\_\\_5RePNKVcLQSFSoxYWQ82y4vRh\\_l=&sa=X&ved=0ahUKEwi9\\_ozkklbMAhWGtA4KHVzOCJgQ9QEIHzaA](http://images.google.de/imgres?imgurl=http://c.mobilegeeks.de/wp-content/uploads/2014/05/Google-Car-2.jpg&imgrefurl=http://www.mobilegeeks.de/google-car-selbstfahrendes-auto-prototyp-details/&h=3459&w=5190&tbnid=HXK0mmnZm4pauM:&tbnh=90&tbnw=135&docid=camltMO5_kjo7M&usg=__5RePNKVcLQSFSoxYWQ82y4vRh_l=&sa=X&ved=0ahUKEwi9_ozkklbMAhWGtA4KHVzOCJgQ9QEIHzaA)



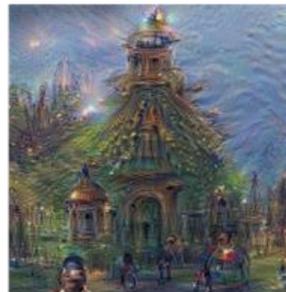
Horizon



Towers & Pagodas



Trees



Buildings



Leaves

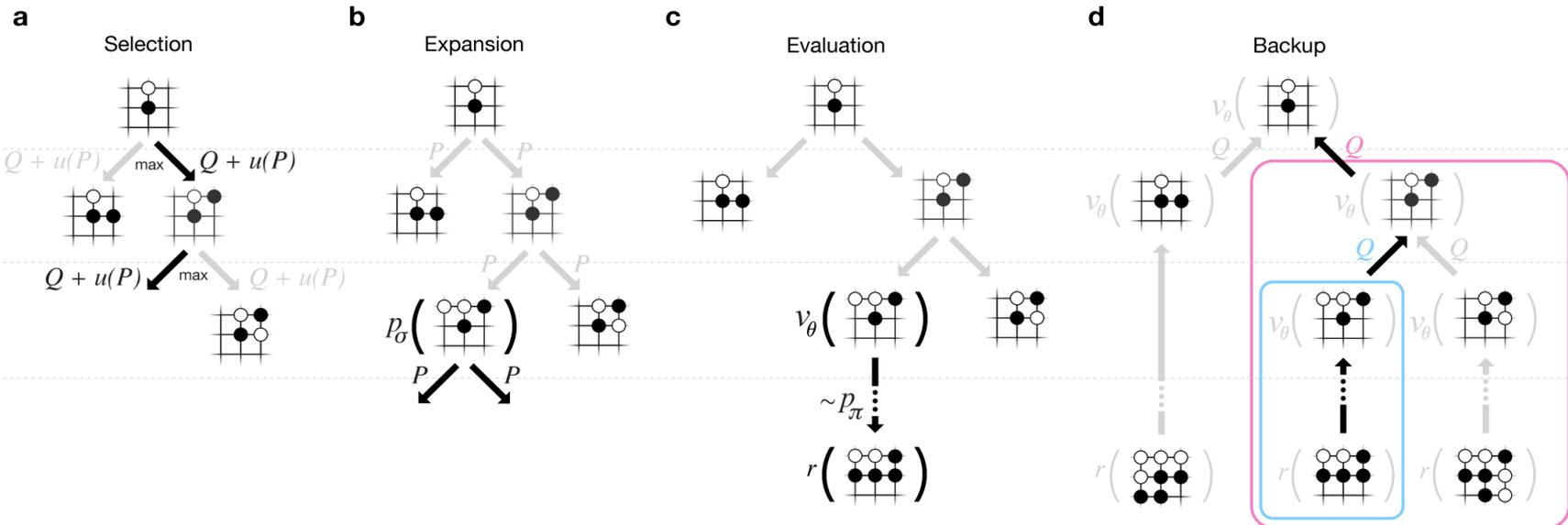


Birds & Insects

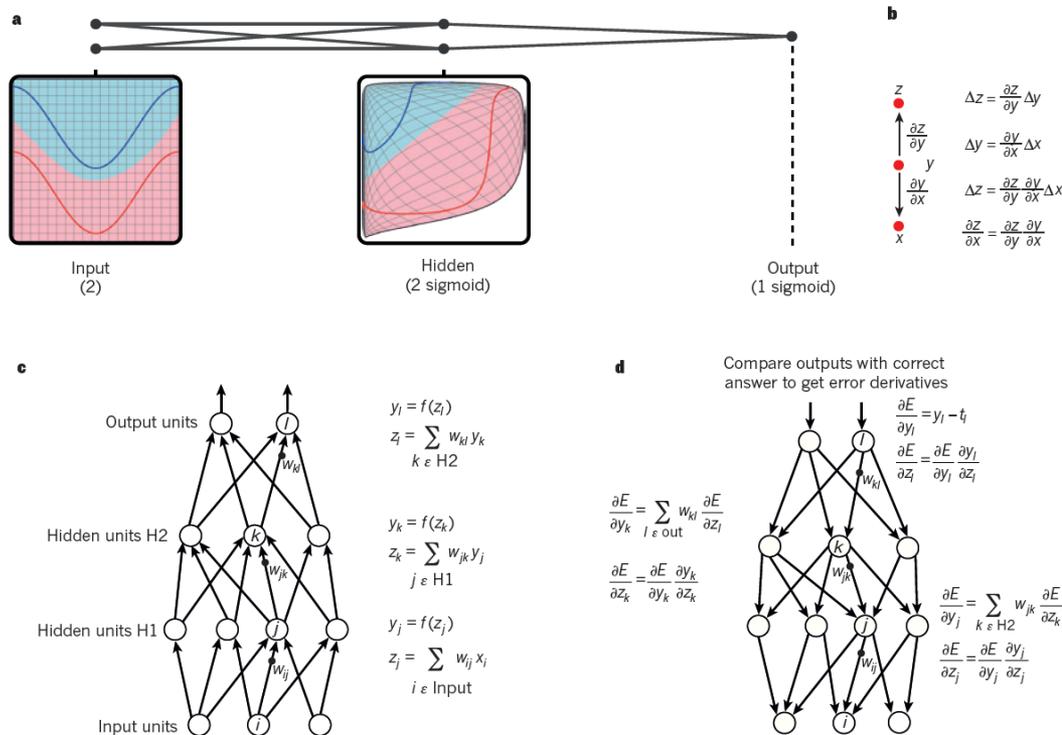
<http://googleresearch.blogspot.de/2015/06/inceptionism-going-deeper-into-neural.html>



<https://www.youtube.com/watch?v=rVlhMGQgDkY>



<https://gogameguru.com/i/2016/03/deepmind-mastering-go.pdf>



<https://gogameguru.com/i/2016/03/deepmind-mastering-go.pdf>

[https://en.wikipedia.org/wiki/Deep\\_learning](https://en.wikipedia.org/wiki/Deep_learning)

Bengio, Yoshua; LeCun, Yann; Hinton, Geoffrey (2015). "Deep Learning". *Nature* 521: 436-444. [doi:10.1038/nature14539](https://doi.org/10.1038/nature14539)

Sind oder haben wir verloren?

Oder wo ist unsere Chance?

## Wir LEBEN!

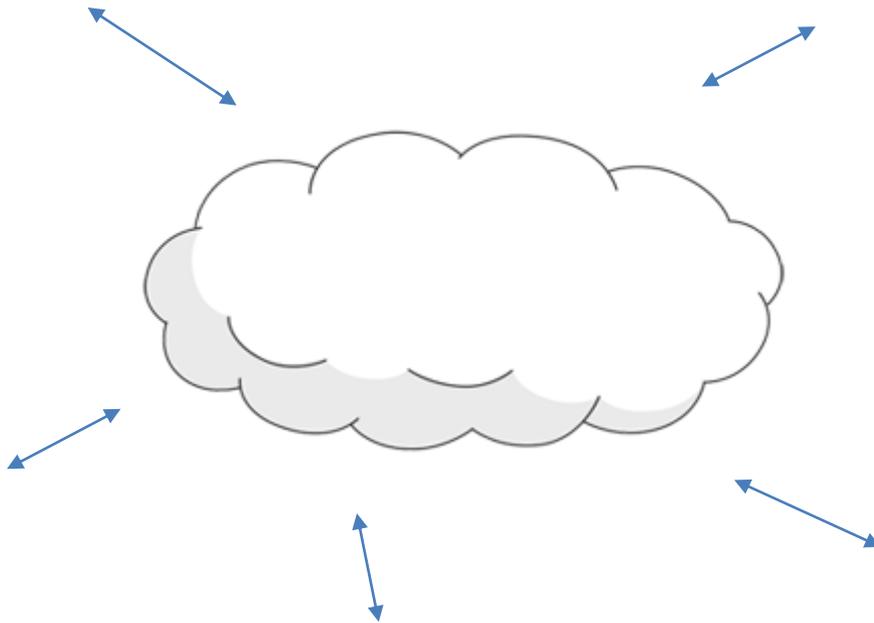
Wir müssen allerdings wohl oder übel  
am technologischen Fortschritt dranbleiben.

## Idee 1: IoT

Ein kurzer Gedanke zu

LAGER

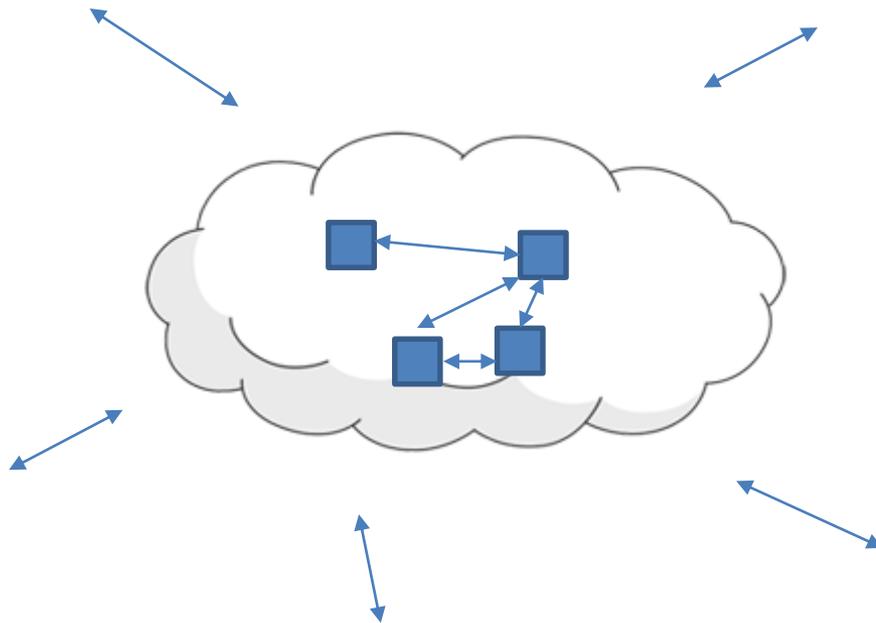
## Wie könnte ein Lager in Zukunft designed sein?



### Ziele:

- Artikel werden mit „hoher Wahrscheinlichkeit“ in vorbestimmter Zeit gefunden
- sehr viele Anfragen gleichzeitig
- Lagerbestände nicht mehr als x% höher als benötigt
- wenig Platz verbrauchend
- vollautomatisch

## Wie könnte ein Lager in Zukunft designed sein?



Es wurden viele verschiedene Topologien untersucht

- 2-D Gitter
- 3-D Gitter
- Hypercubes
- Linien
- ...

Es wurden Mitte der 90er Algorithmen entwickelt zum schnellen speichern und lesen von Daten in Rechnernetzen...



<http://wonderfulengineering.com/amazon-uses-an-army-of-robot-workers-in-its-warehouse-to-fulfill-orders/>

## Idee 2: TOR

lot = „verstöpseln“

und dann ?

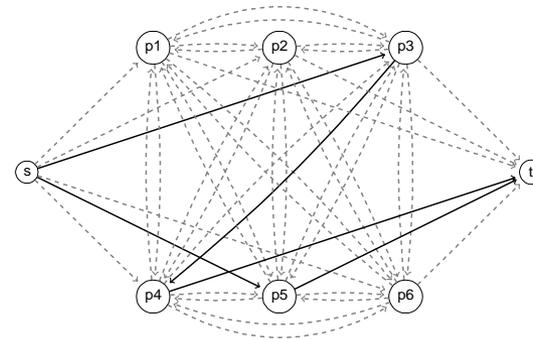
# Stationäres Fluidbeispiel

## Druckerhöhungsanlage

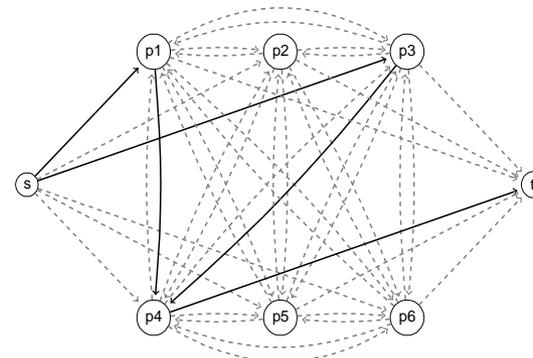
(Source: KSB AG)



## TOPOLOGIE / GRAPH 1

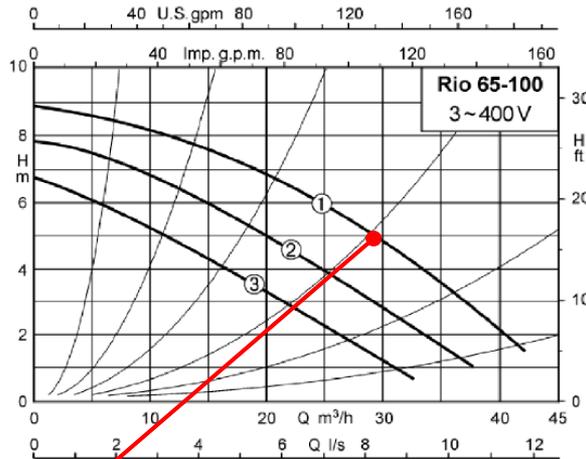


## TOPOLOGIE / GRAPH 2



# Stationäres Fluidbeispiel

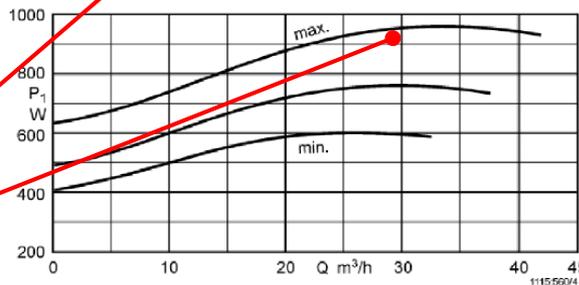
(I)



DZ Stufe 1

$Q=29 \text{ m}^3/\text{h}$

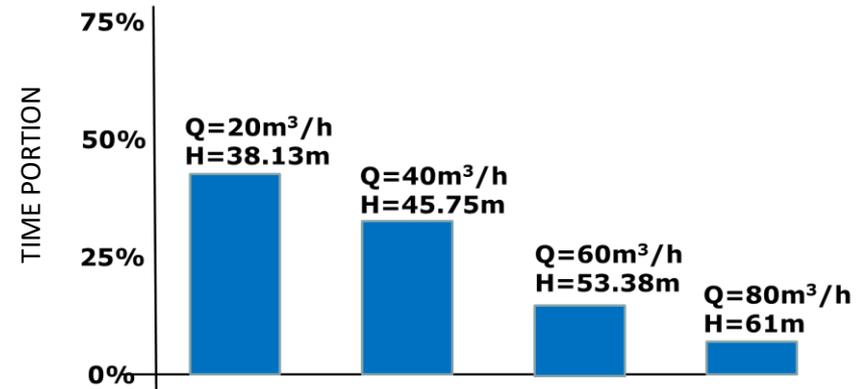
$P=950 \text{ W}$



(II) Fluidmechanik / Physikalische Gesetze

(III)

*Kunden-  
anforderungen*



# Stationäres Fluidbeispiel

## MIP MODEL FOR ALL(!) COMBINATIONS

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

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

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

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

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

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

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

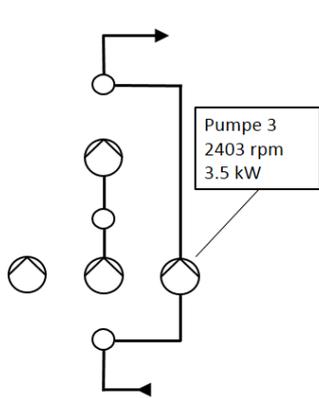
$$q_{s,p}^V = \sum_{(p,l) \in K^{(2D)}} k_{p,l}^q \cdot k_{s,p,l}^z + (k_{p,l+1}^q - k_{p,l}^q) \cdot k_{s,p,l}^s \quad \forall s \in S, p \in P^{(2D)}$$

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

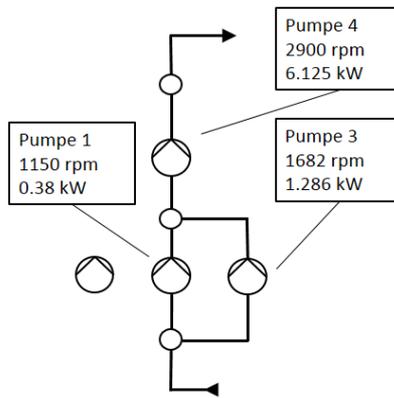
$$p_{s,p}^V = \sum_{(p,l) \in K^{(2D)}} k_{p,l}^p \cdot k_{s,p,l}^z + (k_{p,l+1}^p - k_{p,l}^p) \cdot k_{s,p,l}^s \quad \forall s \in S, p \in P^{(2D)}$$

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

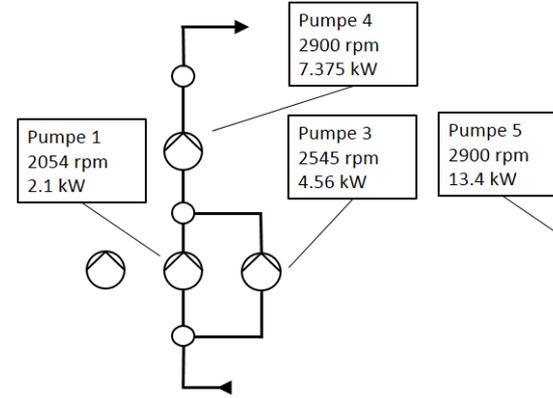
# Stationäres Fluidbeispiel



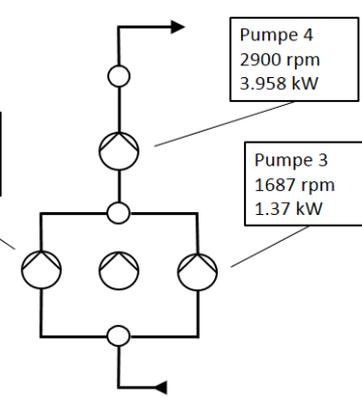
**Setting 1**  
 $Q = 20 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 38.13 \text{ m}$



**Setting 2**  
 $Q = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 45.75 \text{ m}$



**Setting 3**  
 $Q = 60 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 53.38 \text{ m}$



**Setting 4**  
 $Q = 80 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $H = 61 \text{ m}$

50%

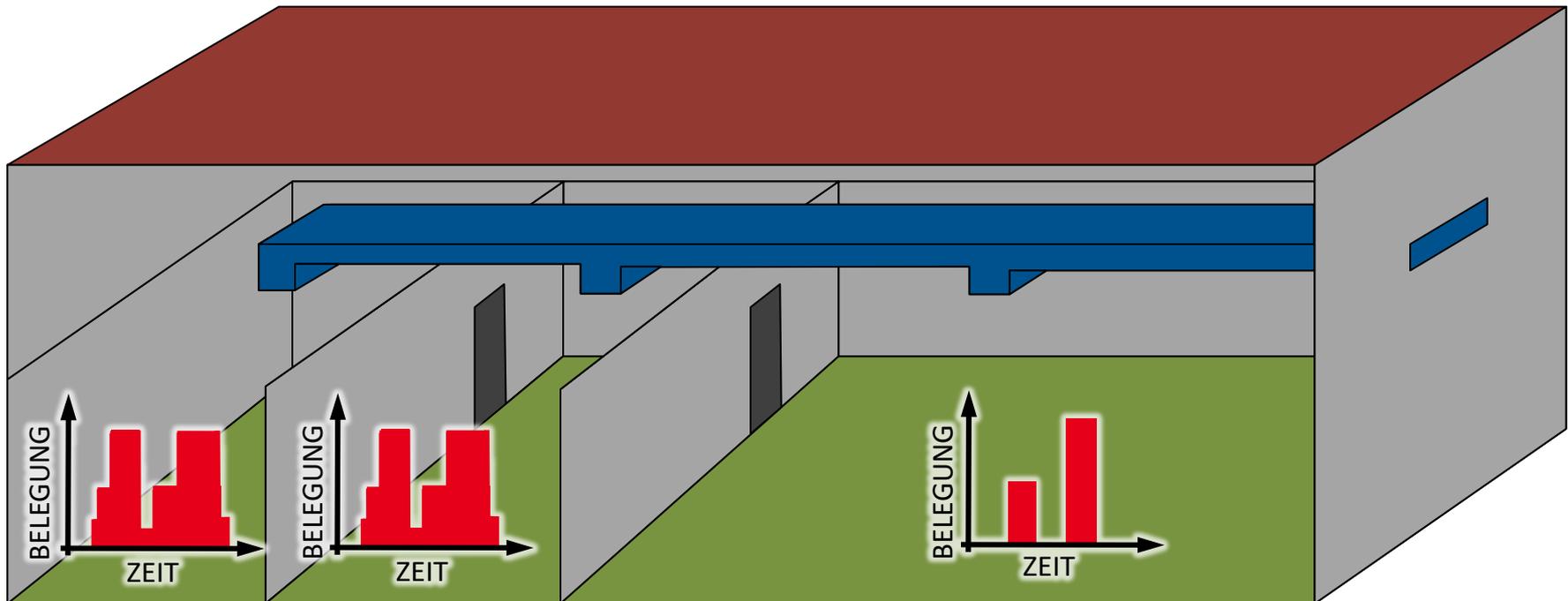
25%

0%

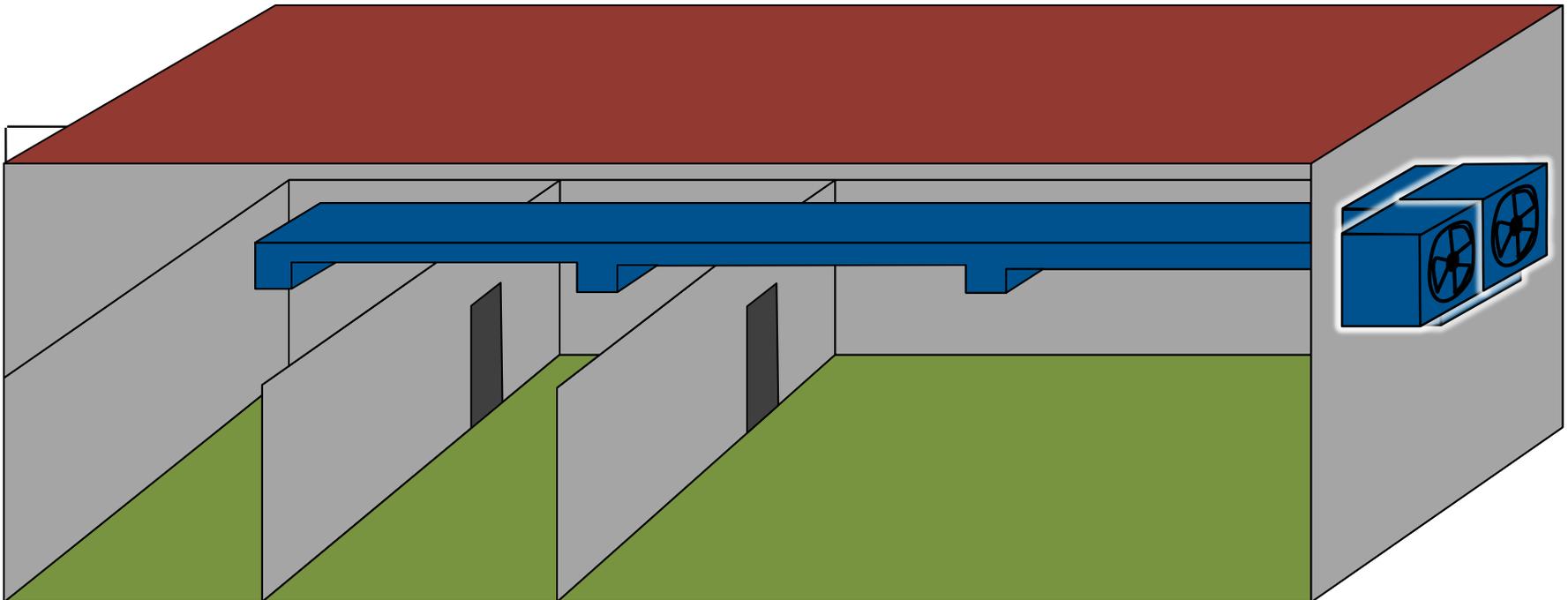
# Weitere Beispiele

- Ventilatorensysteme
- Optimales Design eines hydrostatischen Getriebes – in Bezug auf optimale Wartungsstrategien
- Altpapieraufbereitung
- Automatikgetriebeentwurf

# Aufgabe: Frische Luft im Gebäude



# Aufgabe: Frische Luft im Gebäude



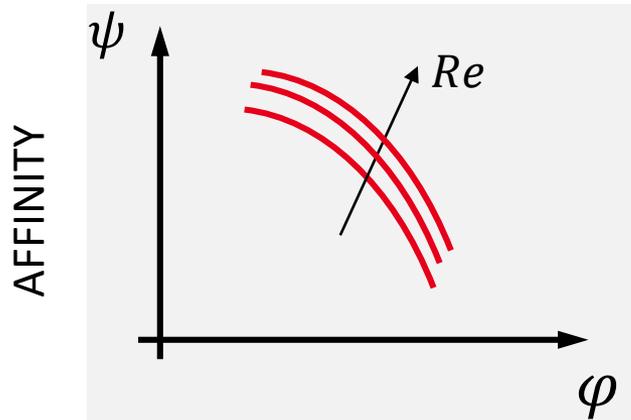
## Zusätzliche Information: Skalierungsgestze



*ebm Papst*

# Ähnlichkeits- und Skalierungsgesetze

Dimension-free curve

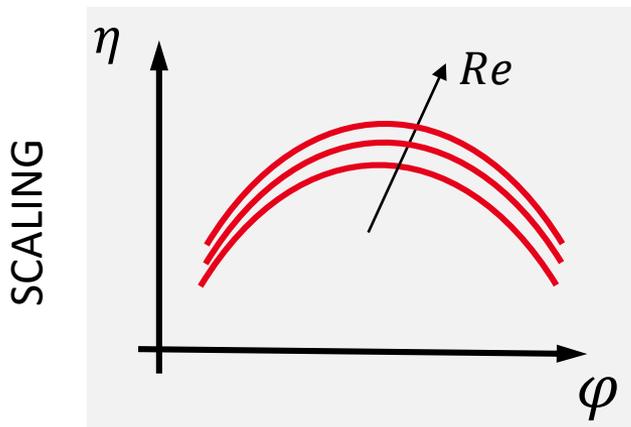
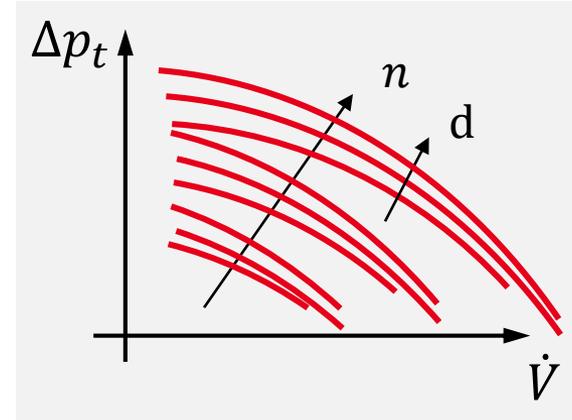


$$\psi := \frac{\Delta p_t}{\frac{\pi^2}{2} \rho n^2 d^2}$$

$$\varphi := \frac{\dot{V}}{\frac{\pi^2}{4} n d^3}$$

$$\lambda := \psi \varphi / \eta$$

Pressure increase



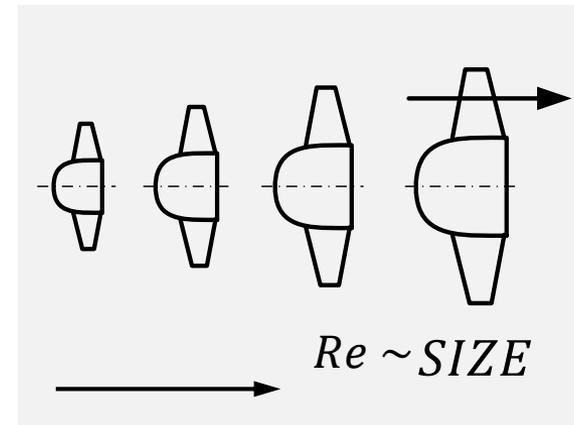
$$d\eta \approx -(1 - \eta) \frac{dc_f}{c_f}$$

$$c_f = 0.074 Re^{-1/5}$$

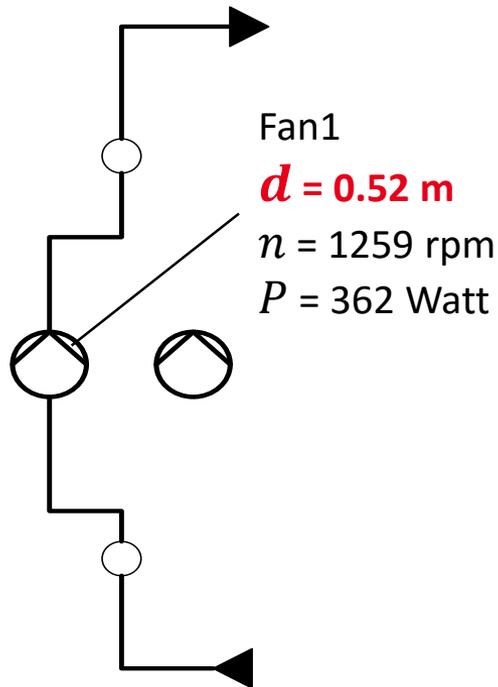
$$\Delta\eta = \frac{1}{5} (1 - \eta_m) \frac{\Delta Re}{Re_m}$$

[Spurk 1992]

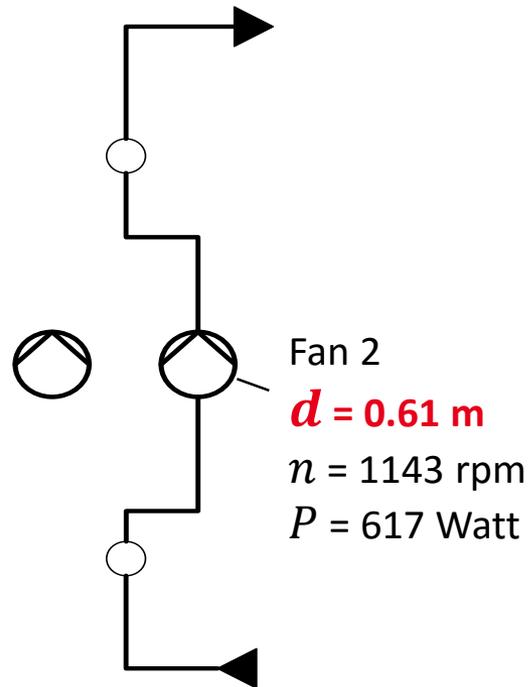
[Pelz 2012]



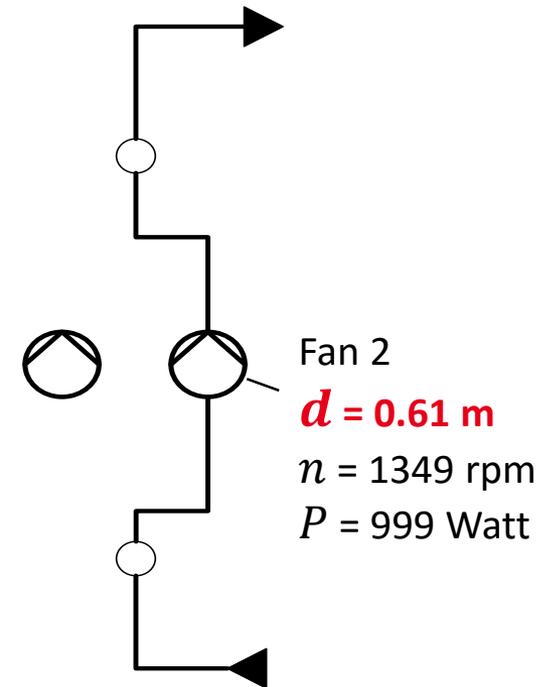
# Lösung



SCENARIO 1  
 $\dot{V} = 6200 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $\Delta p_t = 150 \text{ Pa}$

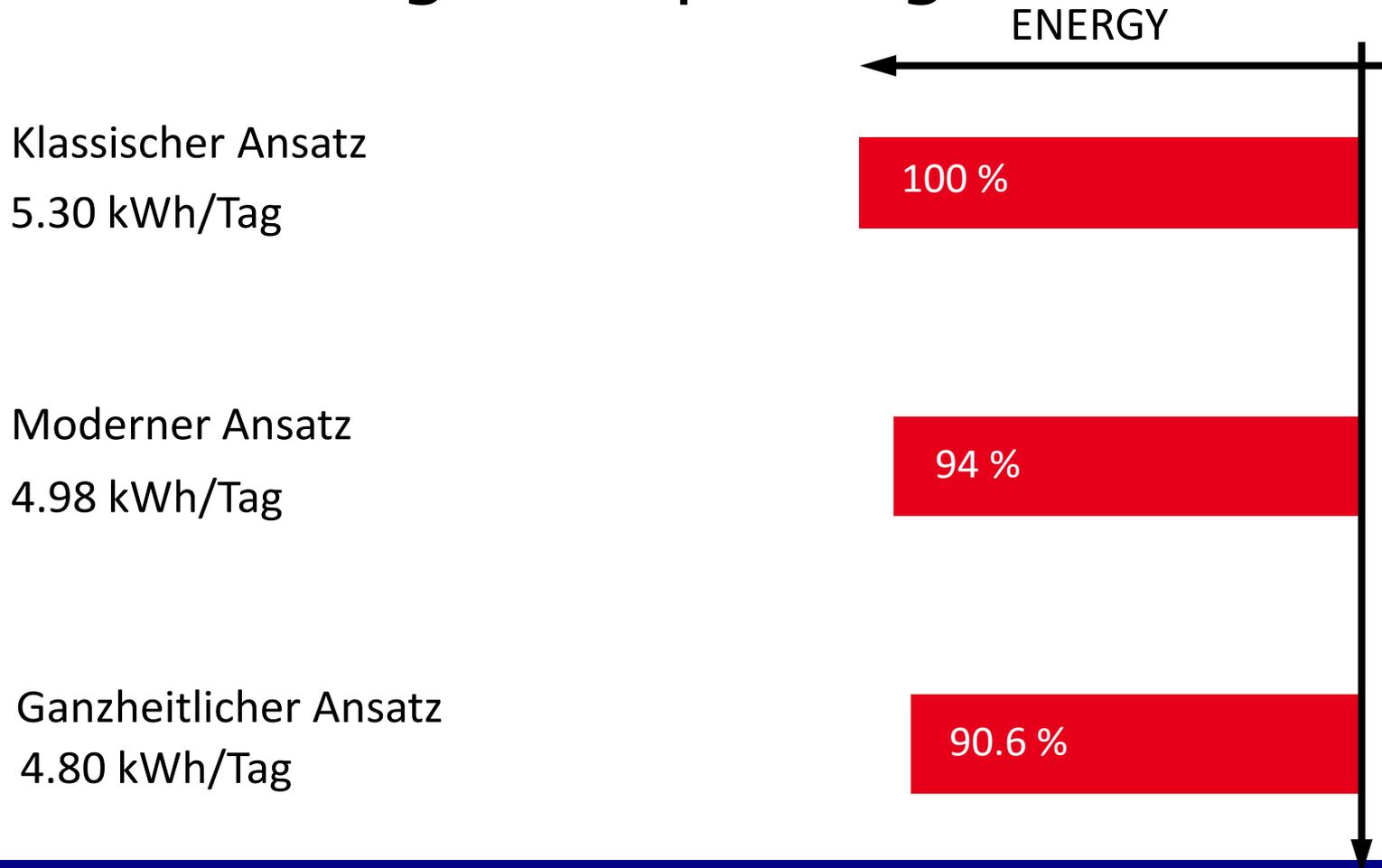


SCENARIO 2  
 $\dot{V} = 9300 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $\Delta p_t = 175 \text{ Pa}$

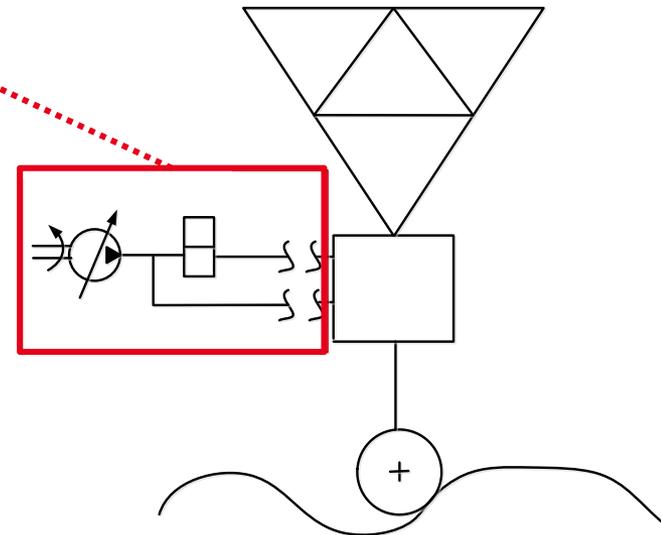
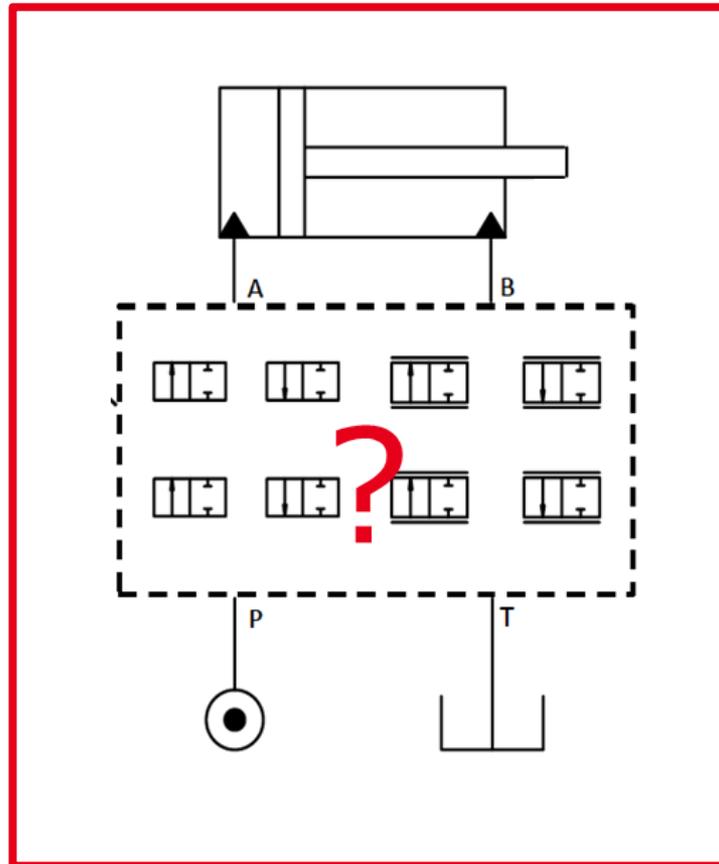


SCENARIO 3  
 $\dot{V} = 12400 \text{ m}^3/\text{h}$   
 $\Delta p_t = 200 \text{ Pa}$

# Energieeinsparung



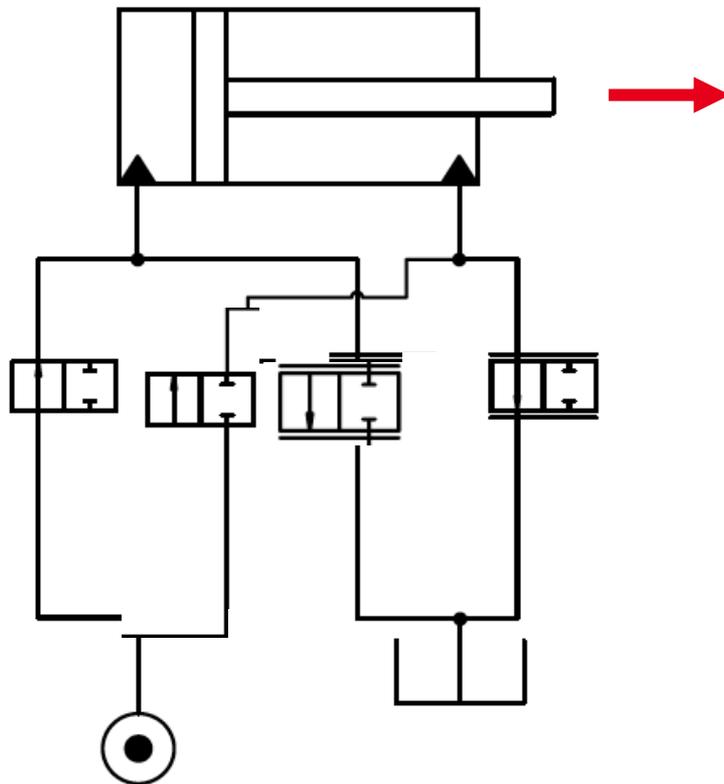
# Optimales Design eines Hydrostatischen Getriebes



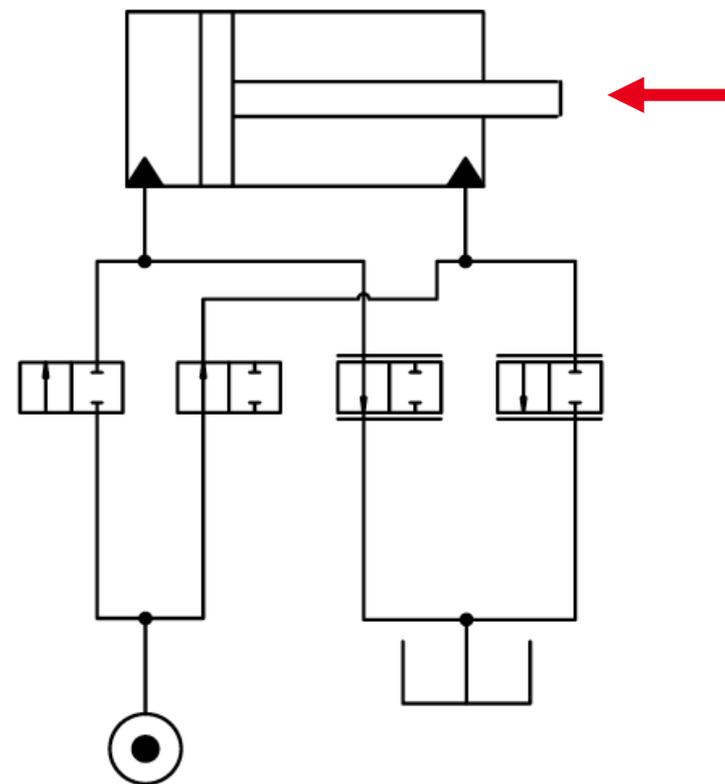
e.g. für hydraulischen Stoßdämpfer

# Technisches Designproblem

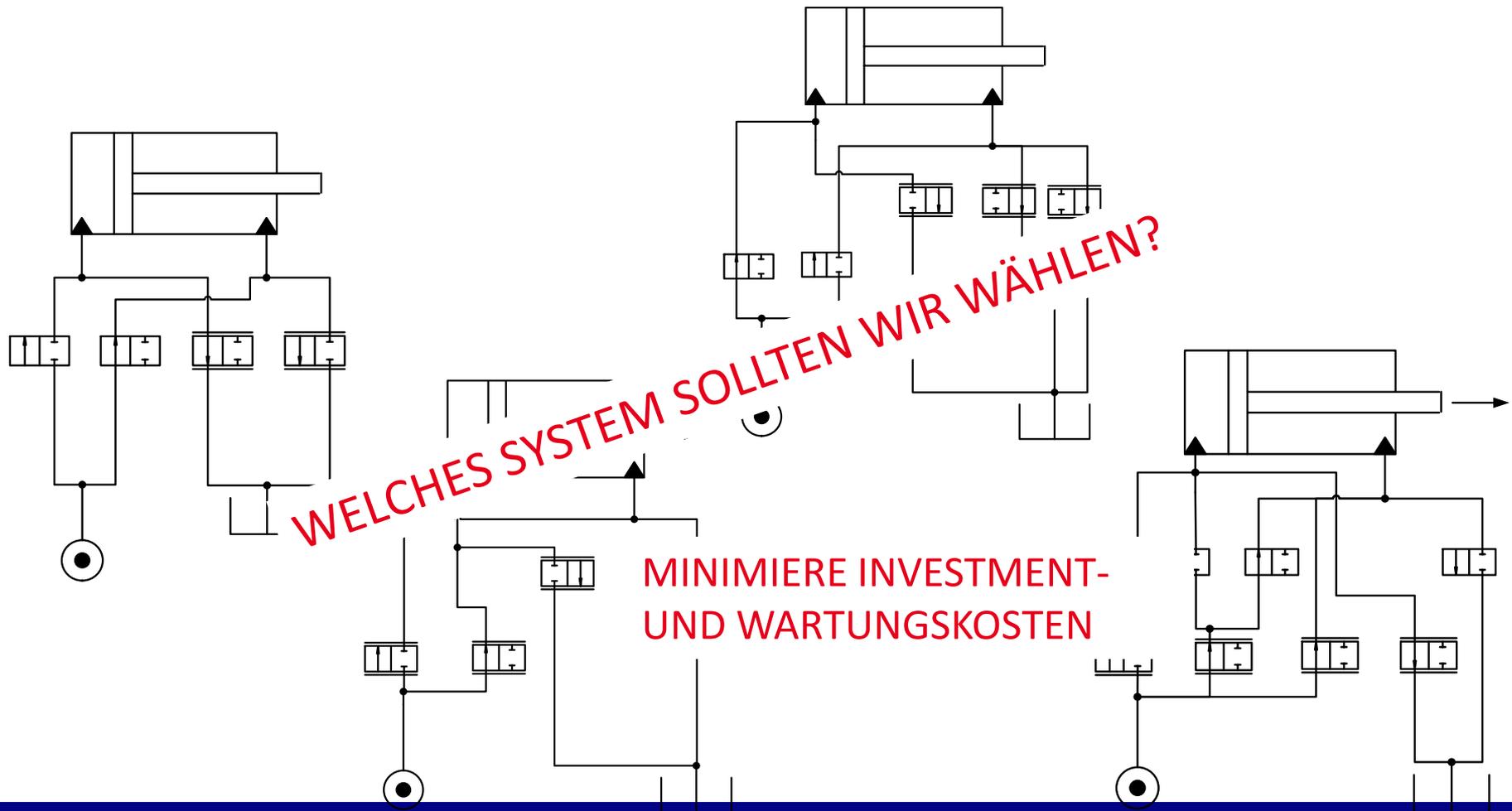
MOVE OUT



MOVE IN



# Viele Topologien sind möglich



**WELCHES SYSTEM SOLLTEN WIR WÄHLEN?**

**MINIMIERE INVESTMENT-  
UND WARTUNGSKOSTEN**

# Maintenance due to Component Wear

- Control edge of a proportional valve wears out with time

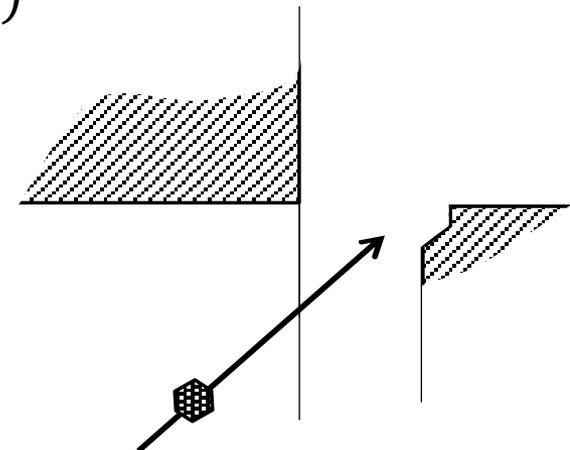
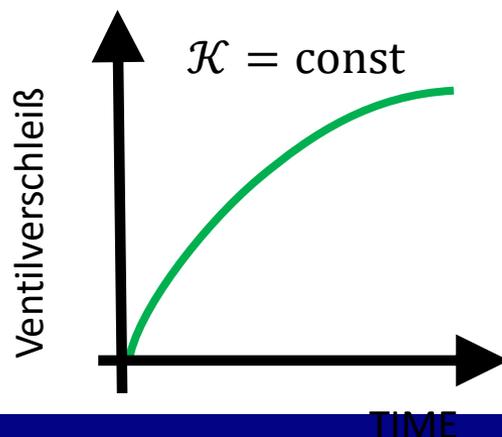
$\forall (i, j) \in \text{Valves}(E)$ :

$$\Delta U_{l,i,j} = \sum_{l \in L} U_{l,i,j} \cdot \left( 1 - \exp\left(-\frac{1}{3} \cdot \mathcal{K}_{l,i,j} \cdot t_l\right) \right)$$

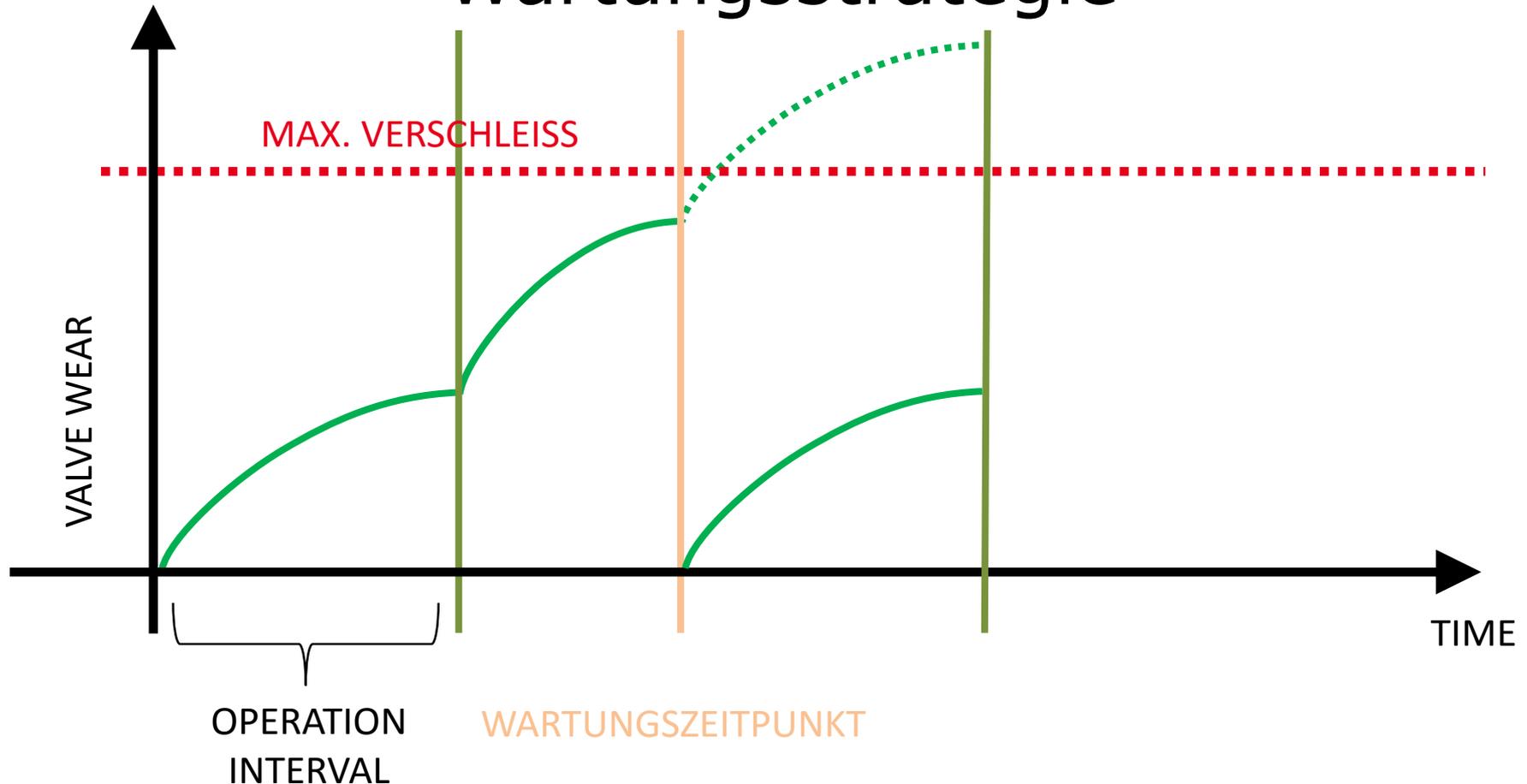
Experimentell bestimmtes  
„Verschleißgesetz“

where

$$\mathcal{K}_{l,i,j} = \mathcal{K}(\Delta H_{l,i,j}, U_{l,i,j}, U_{\max}, d, \rho, c_V)$$



# Auffinden einer optimalen Wartungsstrategie



# Optimization of Sticky Separation in Waste Paper Processing

*Armin Fügenschub*

Helmut Schmidt University /

University of the Federal Armed Forces Hamburg

joint work with:

*Christine Hayn*

Friedrich-Alexander University Erlangen-Nuremberg

*Dennis Michaels*

Technical University Dortmund

with further contributions from:

*Mirjam Dür, Björn Geißler, Alexander Martin, Antonio Morsi,*

*Samuel Schabel, Stefan Vigerske & Klaus Villforth*

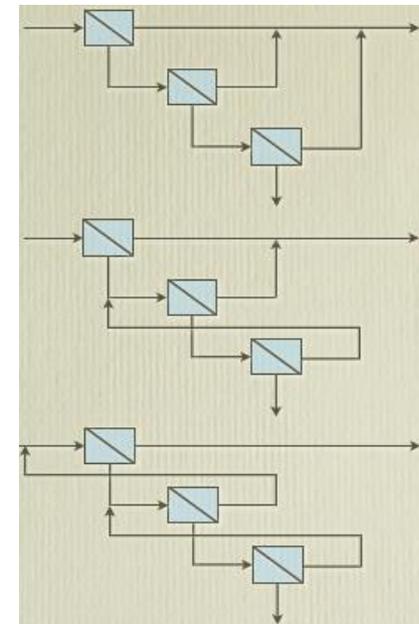
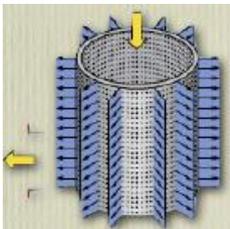


## Typische Schritte beim Papierrecycling

- Manuelle Entfernung unerwünschten Materials
- Papier in kleine Teile zerhacken
- Stücke in Wasser auflösen und Pulp erzeugen
- **Säubern die Pulp von Klebstoffen etc.**
- Pulp entfärben
- trocknen
- Neue Papierrollen können produziert werden

Pictures and text parts from A. Fügenschuh, TOR workshop

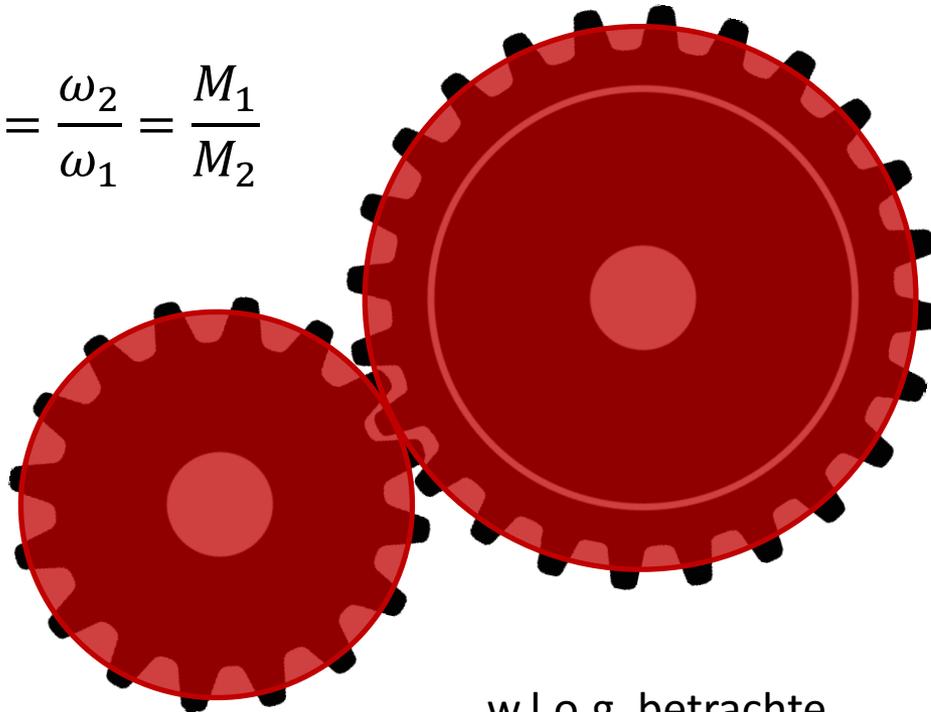
## Filtersysteme für Entfernung klebriger Verunreinigungen



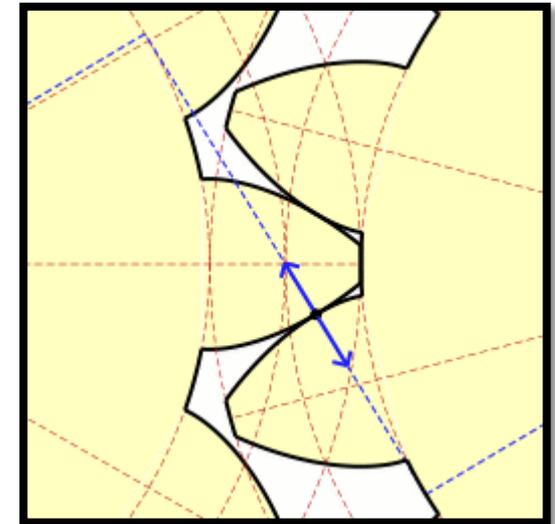
# Basisfunktionalität eines Getriebes

Funktion: Transformiere Kräfte (Kreisgeschwindigkeit × Drehkraft)

$$\frac{r_1}{r_2} = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{M_1}{M_2}$$



w.l.o.g. betrachte  
Zahnräder



*Involute Gear wheel animation*  
Claudio Rocchini



## Zentrale Frage

Wie bekommen wir das algorithmische und modellbildende know-how in das Alltagsleben der Ingenieure hinein?

# Ingenieure, Mathematiker und Informatiker

Es gibt eine einfache einvernehmliche Beobachtung:

***Der Gesamterfolg von Technologien hängt mehr und mehr von optimalem Zusammenspiel von Komponenten und Subsystemen ab.***

- Sehr komplex und für Menschen undurchsichtig
- Soft objectives / ökonomische Aspekte
- Zunehmender Wettbewerb → frühe Funktions- und Kostenabschätzungen werden wichtiger

Efficient components  
alone do not lead to  
efficient systems!

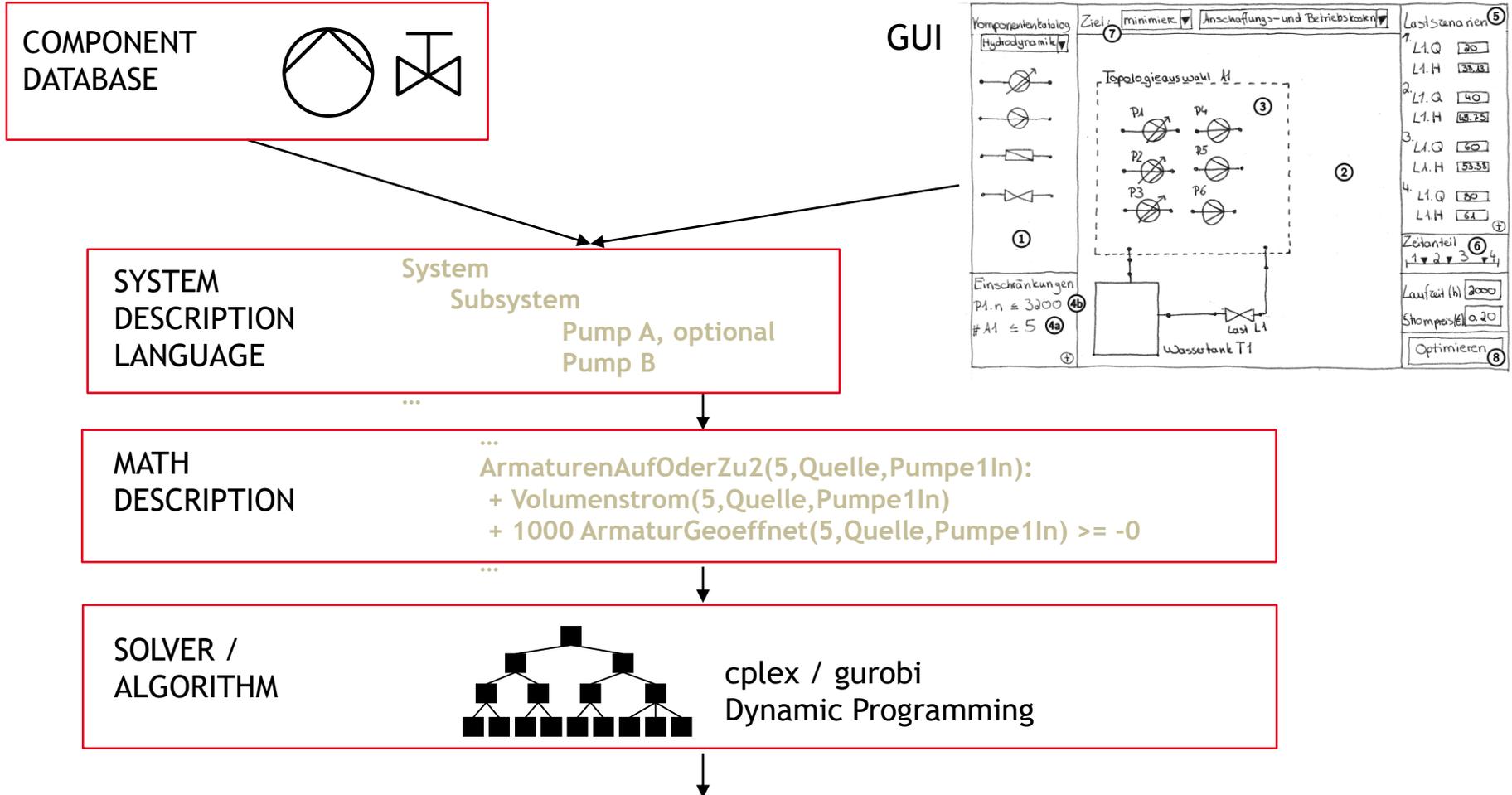
**Dennoch:**

Alle Beispiele, die wir sahen. Hinterlassen  
den Eindruck von frühen

**Hotspots.**

Ein big picture mit Rigor und Relevanz wird  
vermisst.

# Automatischer workflow könnte helfen



„Ingenieurwesen hat die menschliche  
Kreativität kultiviert ...“

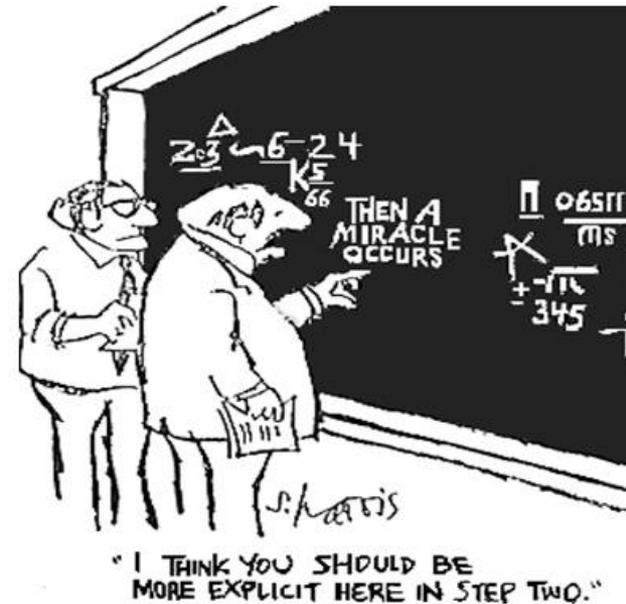
...

# ... aber Schwierigkeiten bei Systemen

1. Keine **Referenz** verfügbar



2. Entscheidungen durch **Intuition**



„Ingenieurwesen hat die menschliche  
Kreativität kultiviert ..“

VS.

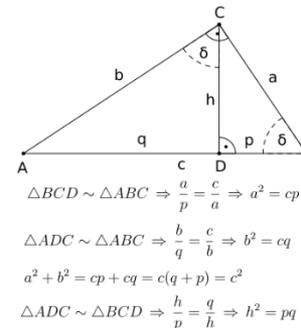
„Mathematiker und Informatiker  
versuchen menschliche Kreativität mit  
Hilfe von Algorithmen zu kompensieren“

# Ignoranz gegenüber physikalischer Realität

1. Aufgewachsen in **geschlossener virtual reality**



2. oder reiner **geschlossener Gedankenwelt**



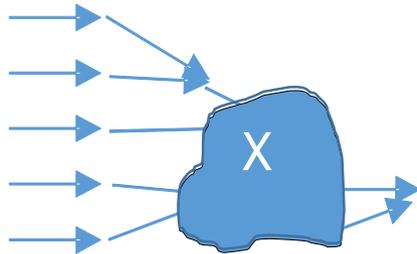
3. Fokus auf **Details**



# „Problem“

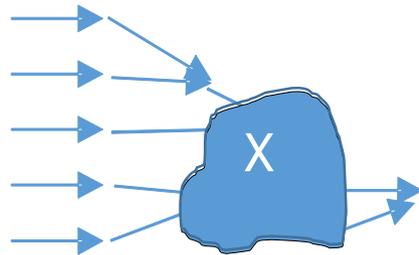
- A technischer Ausdruck der Informatik
- Bedeutet: Tupel von Input, „was ist gegeben“ plus eine Beschreibung von „was wollen wir“.
- Typisches Agreement: nutze keine komplexen Algorithmen zur Beschreibung des Problems.
  
- Komplikation 1: Ingenieure tut oft genau das.
- Komplikation 2: „Das Problem“ existiert oft einfach gar nicht.

# Beispiel aus der Logistik

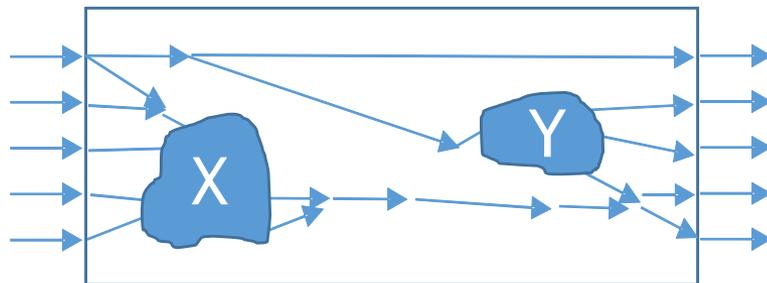


- Transportiere Güter durch X, z.B. ein Bahnhof
- Aufgabe ist, einen optimalen Prozess zu finden.
- The Problem ist „schwer“. „Man kann das Problem nicht trivial dekomponieren.“

# Beispiel aus der Logistik



- Transportiere Güter durch X, z.B. ein Bahnhof
- Aufgabe ist, einen optimalen Prozess zu finden.
- The Problem ist „schwer“. „Man kann das Problem nicht trivial dekomponieren.“



Was ist das wirkliche Problem? Wie finden wir die richtigen Systemgrenzen?

Mit Kreativität! Wir sind alle Ingenieure!

# Technical OR baut Brücken

zwischen Menschen verschiedener  
*wissenschaftlicher* Kulturen.

- Teams bilden.
- Gemeinsame Sprache definieren.
- Gemeinsame Ziele und Teilziele definieren.

# TOR-Quellen

- **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)
- **Fügenschuh, A.; Hayn, C.; Michaels, D.:** T Mixed-integer linear methods for layout-optimization of screening systems in recovered paper production. In *Optimization and Engineering*, Volume 15, Issue 2, pp 533-573, 2014, Springer
- **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)
- ...