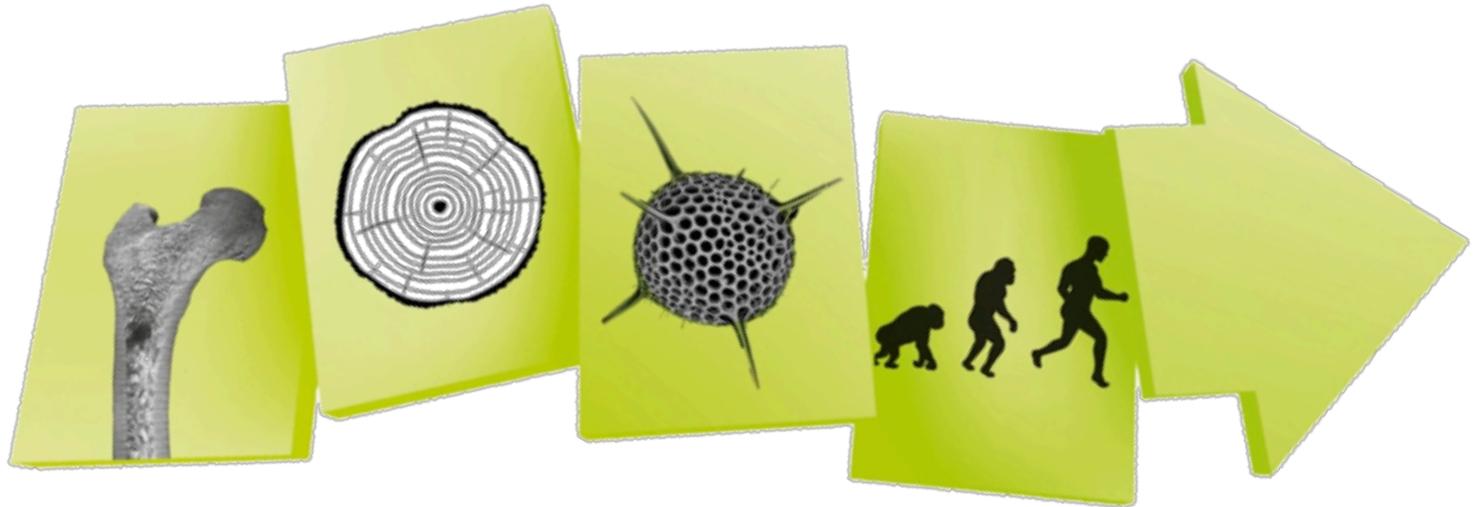


Bionik in der Strukturoptimierung: Bauteilgestaltung nach dem Vorbild der Natur

Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer

Lehrgebiet: Bionik und Leichtbau



Gliederung

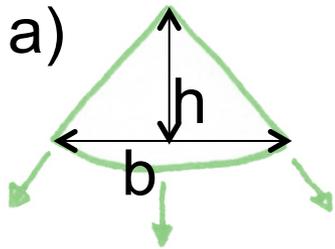
1. Bionik
2. Was kann man von der Natur lernen?
3. Strukturoptimierung
 1. Topologieoptimierung
 2. Formoptimierung
 3. Strukturoptimierung im PEP
4. Literatur
5. Fazit

1. Warum Bionik?

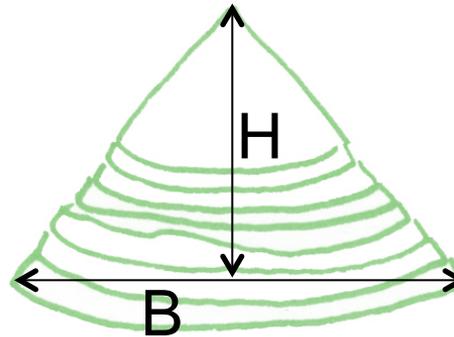
- Entwicklung der Natur durch Evolution seit ca. 2 Milliarden Jahren
- Demonstration erfolgreicher Konzepte
- ein neutraler Vermittler
- Ziel ökonomisch und nicht technisch optimale Lösung

direktes kopieren oft nicht sinnvoll

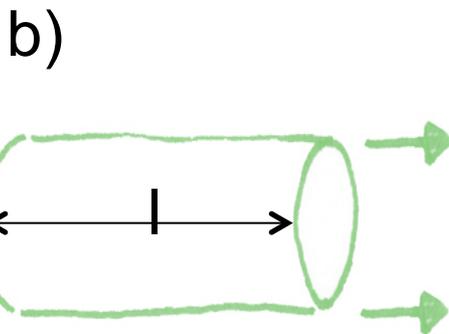
z.B. favorisierte Formen



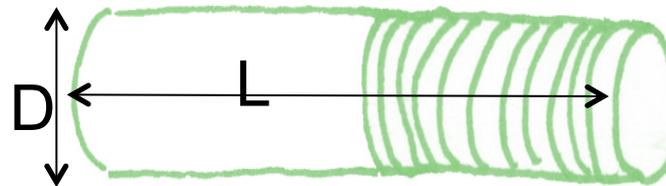
$$h/b=0,6$$



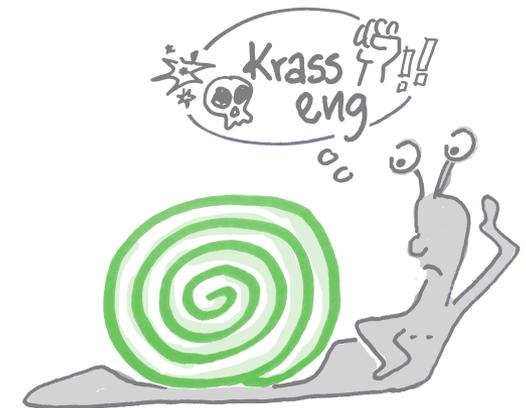
$$H/B=0,6$$



$$l/d=1,7$$



$$L/D=3,1$$



A. Sauer: Bionik in der Strukturoptimierung

Bionik

Biologie & Technik

Allgemeine Definition:

Technische Probleme mit Hilfe der Natur lösen.

VDI-Richtlinie 6220:

Bionik verbindet in interdisziplinärer Zusammenarbeit Biologie und Technik mit dem Ziel, durch **Abstraktion**, **Übertragung** und **Anwendung** von Erkenntnissen, die an biologischen Vorbildern gewonnenen werden, **technische Fragestellungen** zu lösen.

Gliederung

1. Bionik
2. Was kann man von der Natur lernen?
3. Strukturoptimierung
 1. Topologieoptimierung
 2. Formoptimierung
 3. Strukturoptimierung im PEP
4. Literatur
5. Fazit

Was kann man von der Natur lernen

**Mechanismus
der Evolution**

**Optimierungs-
verfahren in der
Natur
= Adaptivität**

**Ergebnisse der
Evolution =
Funktionen**

Z.B.: verbinden,
reinigen,
schärfen,

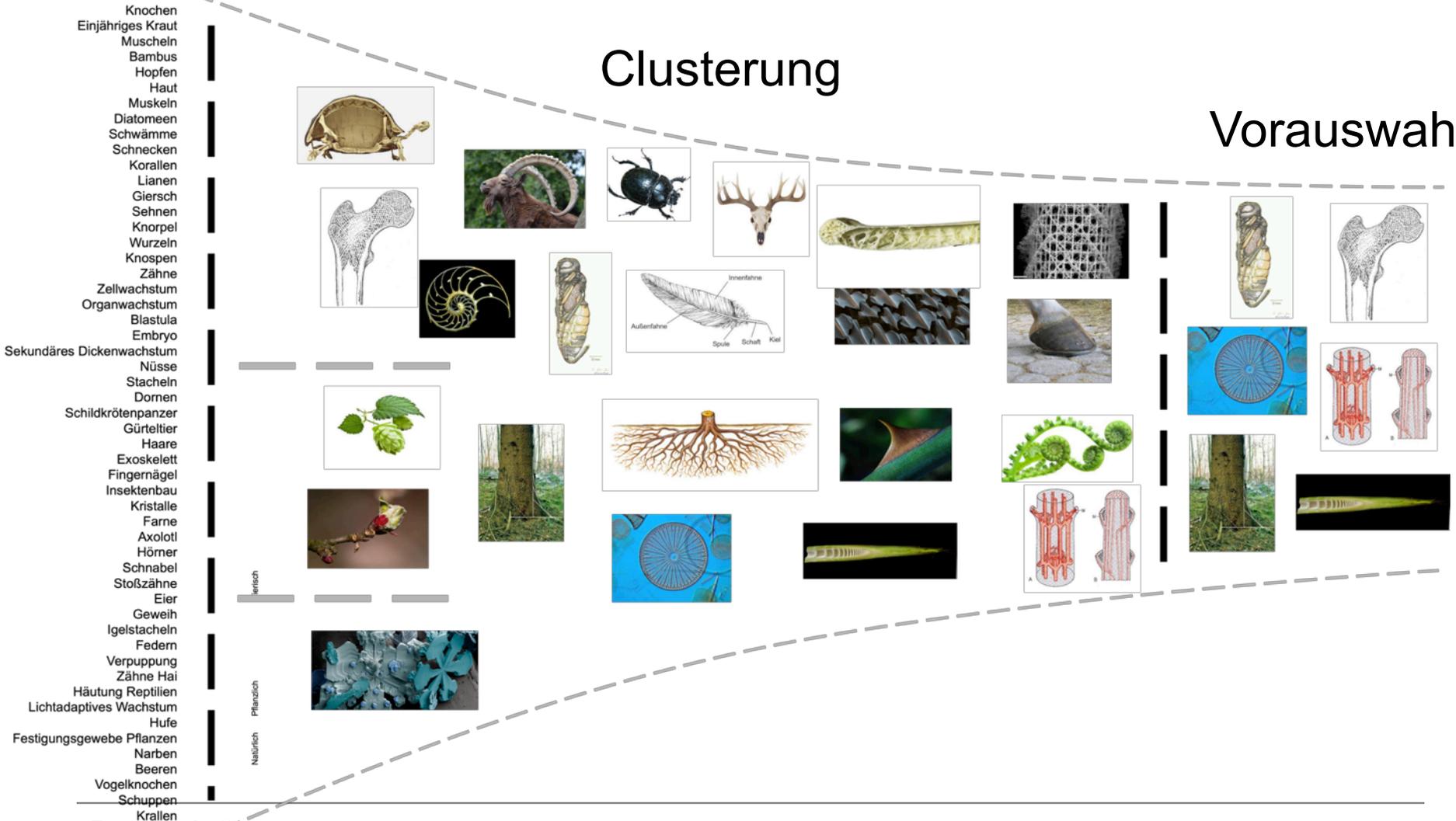
...

Funktionen: Screening in der Natur

Sammlung

Clusterung

Vorauswahl



Funktionen Bsp.:

Klettverschluss



Erb, Biokon

Lotuseffekt

selbstreinigende Oberflächen



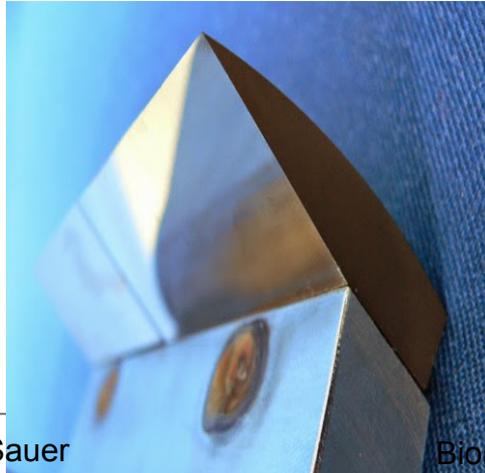
Lotusan

Rodentics:

selbstschärfende Messer nach dem Vorbild von Wühlmäusezähnen



Prof. Dr. A. Sauer



Bionik in der Strukturoptimierung

Buckelwalflossen



Was kann man von der Natur lernen

**Mechanismus
der Evolution**

**Optimierungs-
verfahren in der
Natur
= Adaptivität**

**Ergebnisse der
Evolution =
Funktionen**

Z.B.: verbinden,
reinigen,
schärfen,

...

Mechanismus der Evolution



Westfälische
Hochschule

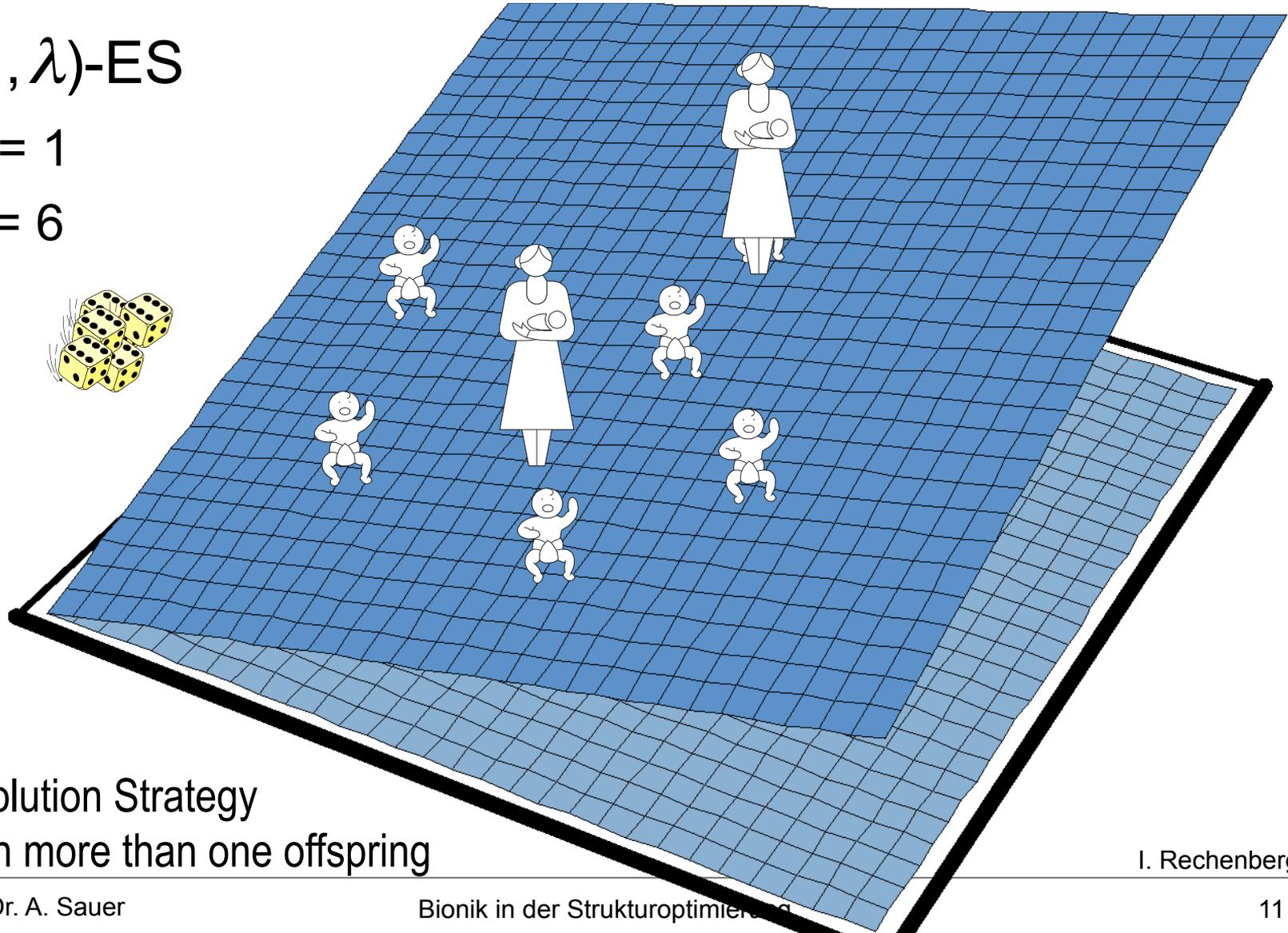
Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen

Evolutionären Algorithmen, z.B. die Evolutions-Strategie

(μ, λ) -ES

$$\mu = 1$$

$$\lambda = 6$$



Evolution Strategy
with more than one offspring

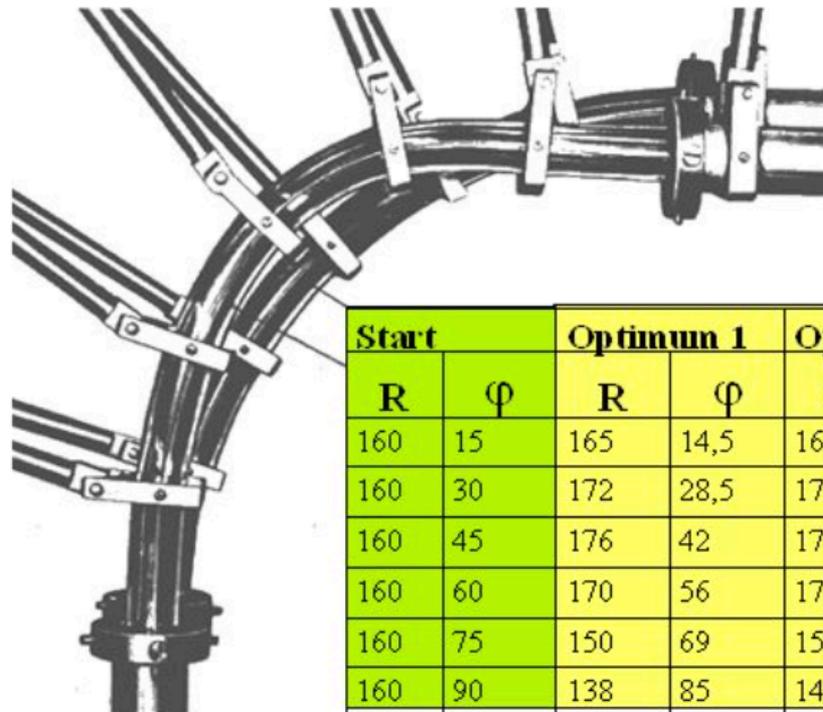
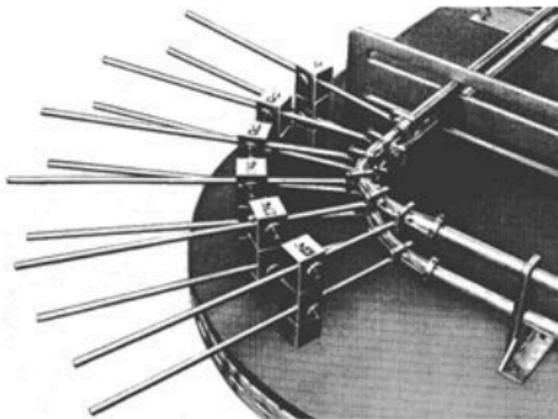
I. Rechenberg

Evolutionsstrategie

Versuchsaufbau Rohrkrümmung (Rechenberg 1973)

Parameter $\mathbf{g} = (g_1, \dots, g_n)$ mit $g_i = (R, \varphi)$ Polarkoordinaten der Stützstellen

Ziel = Durchflußmenge/Zeit, Änderungen = normalvert. Abweichungen



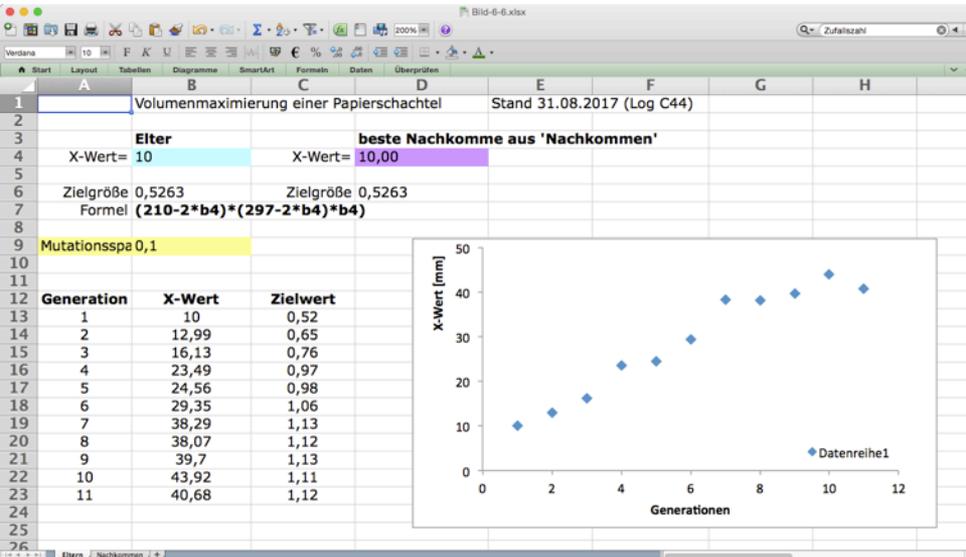
Startkrümmung

Endkrümmung

Start		Optimum 1		Optimum 2	
R	φ	R	φ	R	φ
160	15	165	14,5	165	14,5
160	30	172	28,5	172	28,5
160	45	176	42	176	42
160	60	170	56	170	56
160	75	150	69	152	69
160	90	138	85	142	85

Ergebnis: Durchfluss **verbessert** um ca. 10%

Evolutionstrategie



	A
1	
2	Zufallszahl
3	=ZUFALLSZAHL()
4	
5	Zufallsbereich(-1;1)
6	=ZUFALLSBEREICH(-1;1)
7	
8	Mutationsrate
9	=1+ZUFALLSBEREICH(-1;1)*ZUFALLSZAHL
10	
11	Skalierungsparameter
12	1

ICS 07.080		VDI-RICHTLINIEN		Juni 2012 June 2012	
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Bionische Optimierung Evolutionäre Algorithmen in der Anwendung		VDI 6224		
	Biomimetic optimization Application of evolutionary algorithms		Blatt 1 / Part 1		
			Ausg. deutsch/englisch Issue German/English		

A. Sauer: Bionik in der Strukturoptimierung (Kapitel 6)

Was kann man von der Natur lernen

**Mechanismus
der Evolution**

**Optimierungs-
verfahren in der
Natur
= Adaptivität**

**Ergebnisse der
Evolution =
Funktionen**

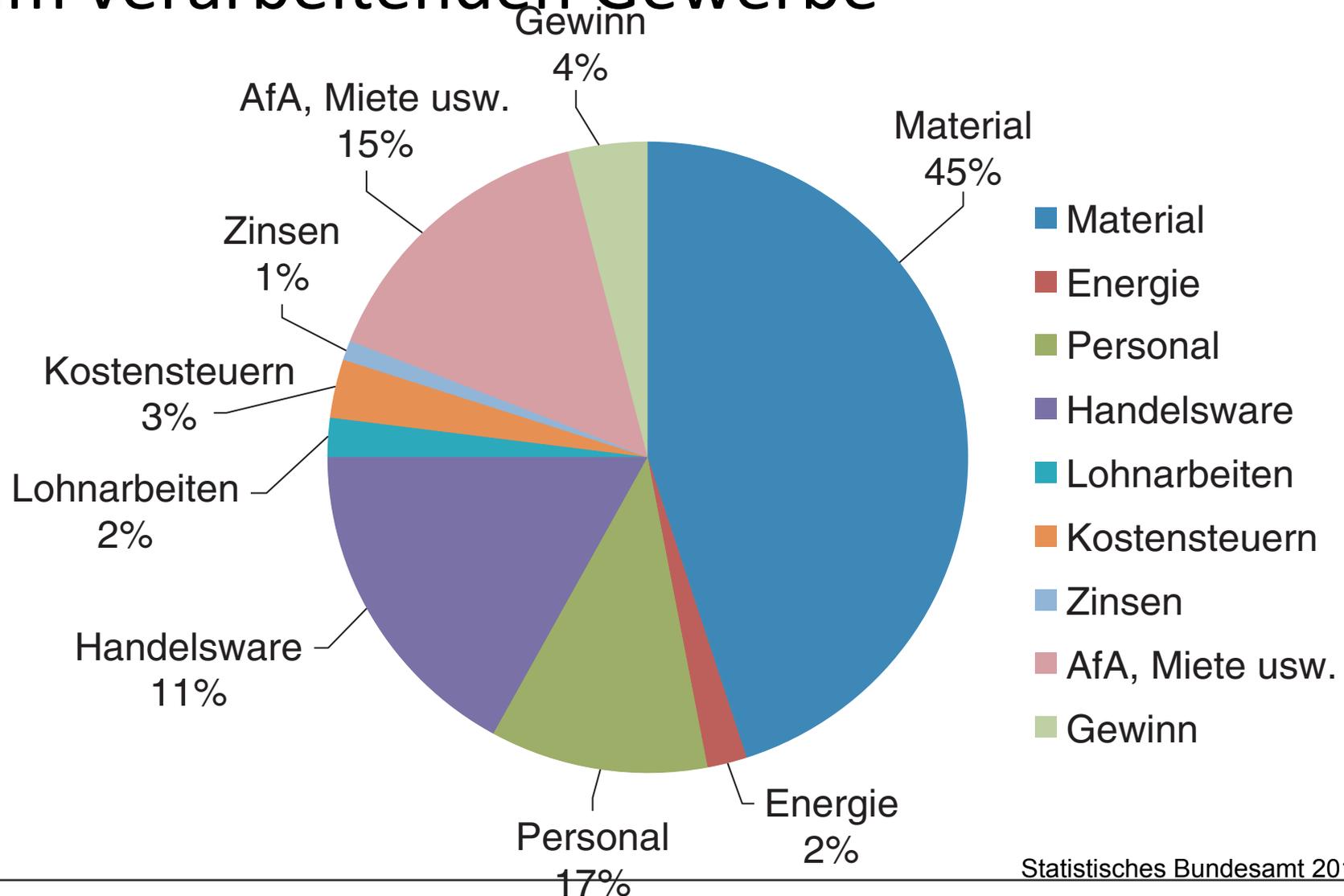
Z.B.: verbinden,
reinigen,
schärfen

Optimierung und Adaption

- Ziel technischer Tools ist oft das physikalische Optimum
- ein biologischer Organismus muss zum Überleben nicht physikalisch optimal sein, sondern besser als der Mitbewerber

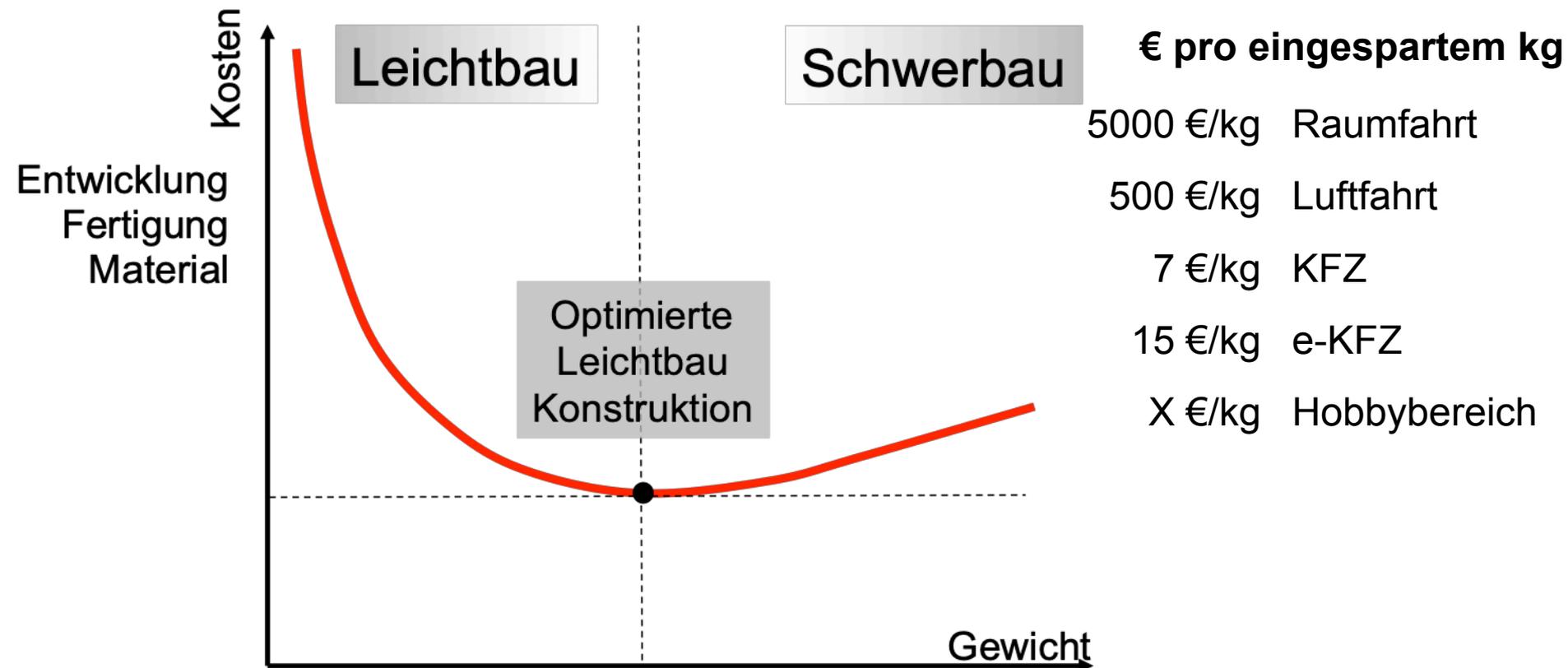
!!! Optimierung und Leichtbau MUSS nicht teuer sein, sondern kann sogar Geld sparen!!!

Kostenstruktur im verarbeitenden Gewerbe



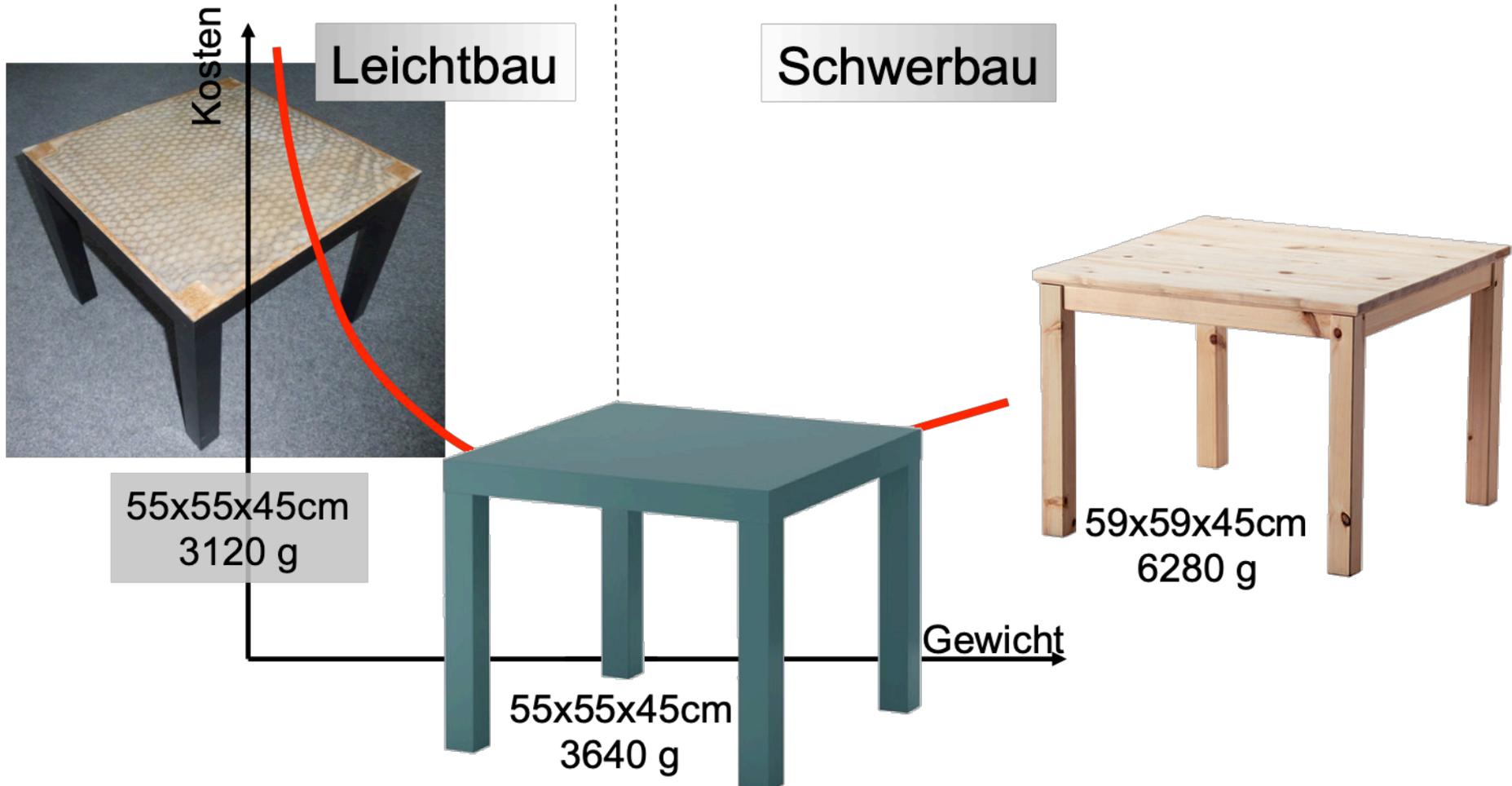
Statistisches Bundesamt 2013

Zusammenhang Gewicht zu Kosten



Nach Klein: Leichtbaukonstruktion

+ Sekundäreffekte





A. Sauer

Optimierungs-Werkzeuge



Computer-Tool



implementierte Tools



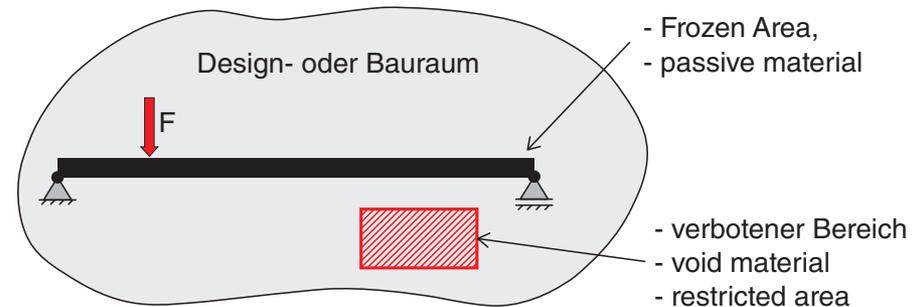
App



Ingenieurs-Know-How

3. Strukturoptimierung

Welche Merkmale beschreiben einen Gegenstand?

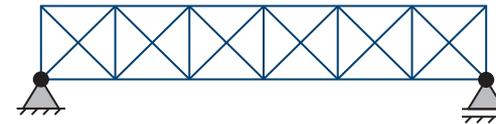
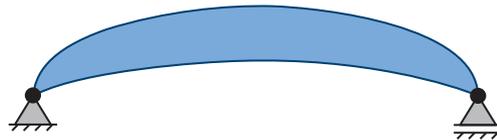


Ausgangsdesign

Optimierung

Designvorschlag

Bauweise Konzept



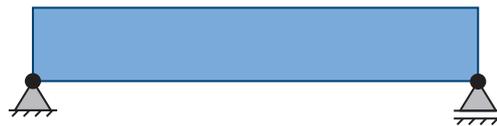
Material

Stahl

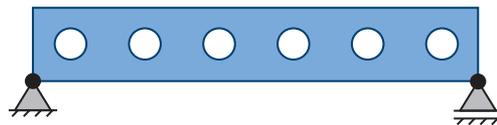


Verbundwerkstoff

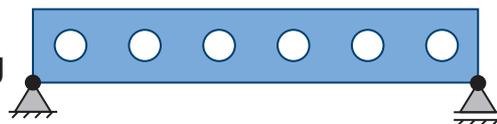
Topologie



Form



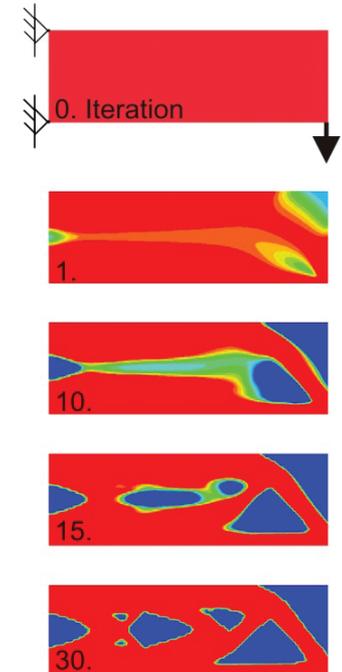
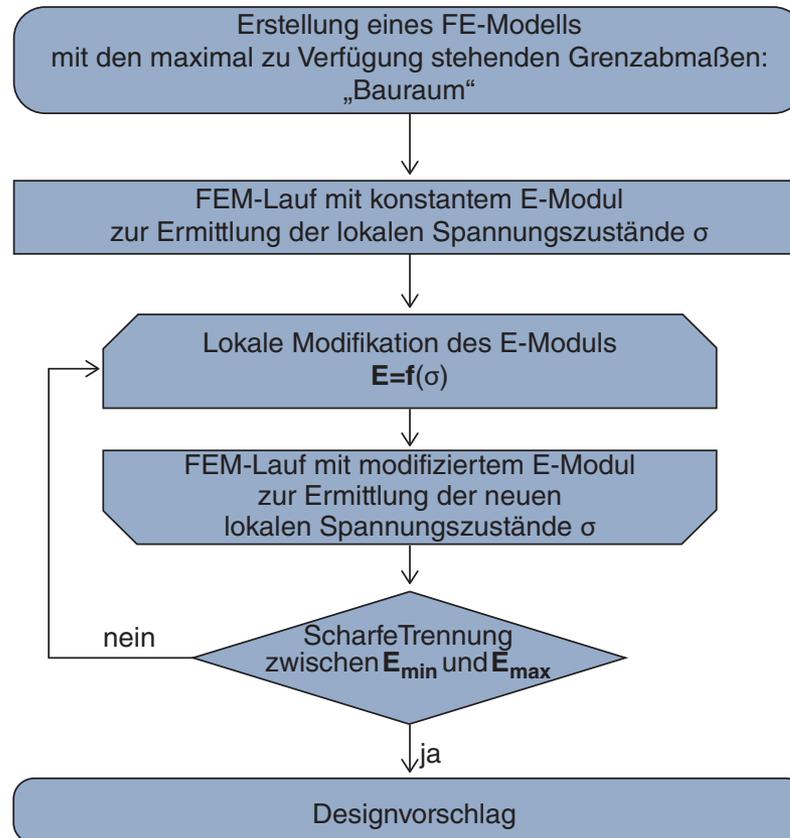
Sizing/ Dimensionierung



3. Strukturoptimierung

3.1 Topologieoptimierung

SKO-Methode (Soft Kill Option)



Kommerzielle Tools z.B. Altair-Inspire



The screenshot displays the Altair Inspire software interface with a workflow diagram. The workflow starts with a red triangular part, which is then simplified to a grey triangular part. This is followed by concept generation, resulting in a yellow and blue lattice structure. The final step is smoothing options, resulting in a yellow and blue surface model. The interface includes a toolbar at the top with icons for File, Part, Lines, Messages, Circles, Axis, Trim/Blend, Part/Pull, Solid Edit, Simplify/Part, Part, Shape Controls, Loads/Supports, Analysis, Optimize, Measure, Tools/Matrix, View, Show/Hide, and Configure. A yellow box labeled 'Geometry Simplification' contains the text 'Remove imprints, rounds, fillets, holes and pockets' and points to icons for Imprints, Rounds, Holes, Plug, and Patch. A yellow box labeled 'Concept Generation' contains the text 'Evaluate concepts with maximum stiffness or minimum mass'. A yellow box labeled 'Analysis' contains the text 'Investigate linear static and normal modes analysis on a model'. A yellow box labeled 'Smoothing Options' contains the text 'Create surface models from Inspire and export as a geometry file for refinement in CAD'. A yellow box labeled 'Concentrated Mass Parts' contains the text 'Create a concentrated mass either on a part or at a point in space'. On the right side, the 'Analysis Explorer' panel shows the following data:

Result Type
Displacement
Factor of Safety
Percent of Yield
Tension and Compression
Maximum Shear Stress
von Mises Stress
Major Principal Stress

von Mises Stress:

Max:	4.024e+07 Pa
	3.623e+07 Pa
	3.222e+07 Pa
	2.821e+07 Pa
	2.421e+07 Pa
	2.020e+07 Pa
	1.620e+07 Pa
	1.220e+07 Pa
	8.190e+06 Pa
	4.184e+06 Pa
	1.783e+05 Pa
Min:	0.000e+00 Pa

The 'INSPIRE solidThinking' logo is visible in the bottom right corner of the software interface.

www.solidthinking.com



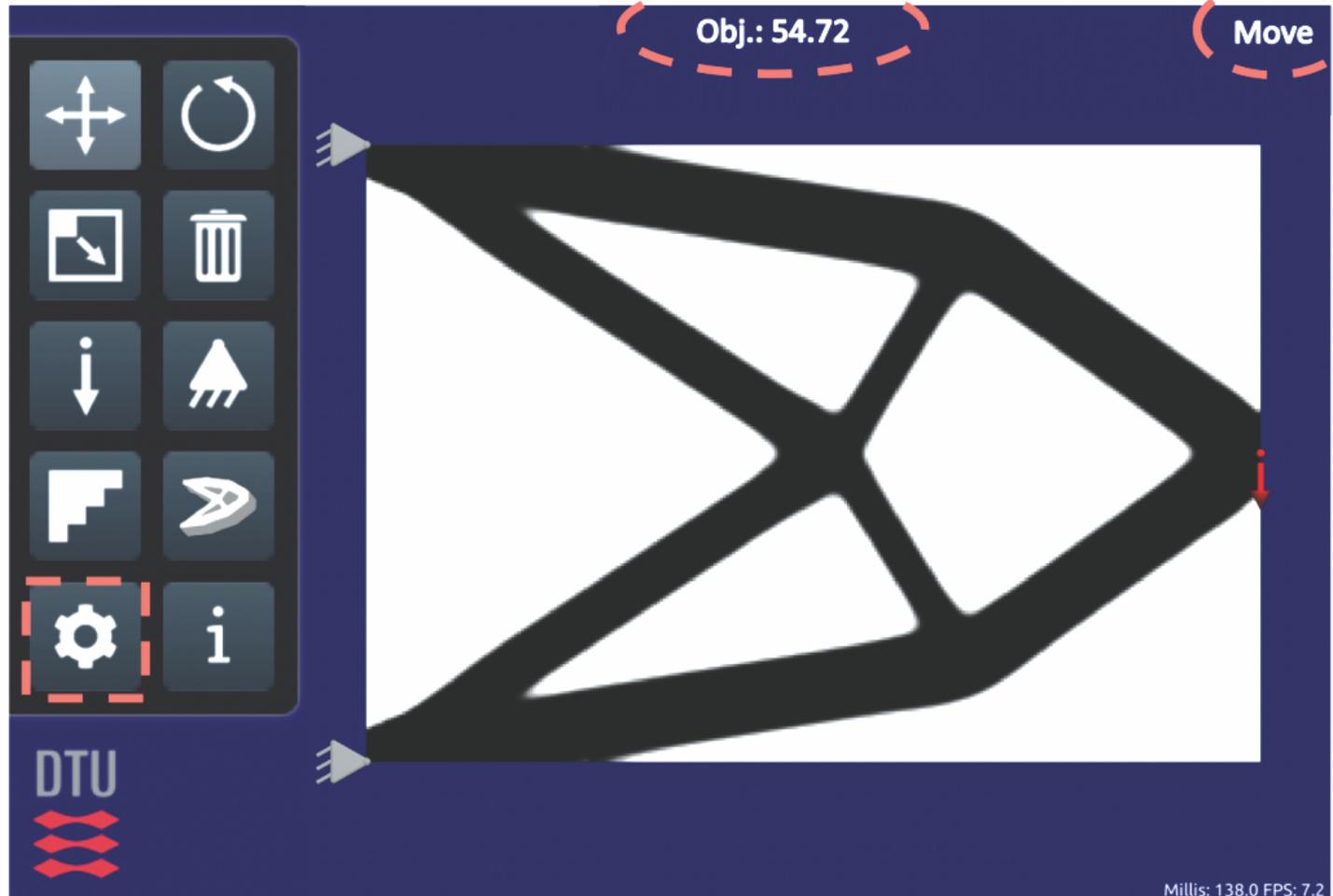
Bsp: TopOpt-App

Zielfunktion

aktive Funktion

Obj.: 54.72

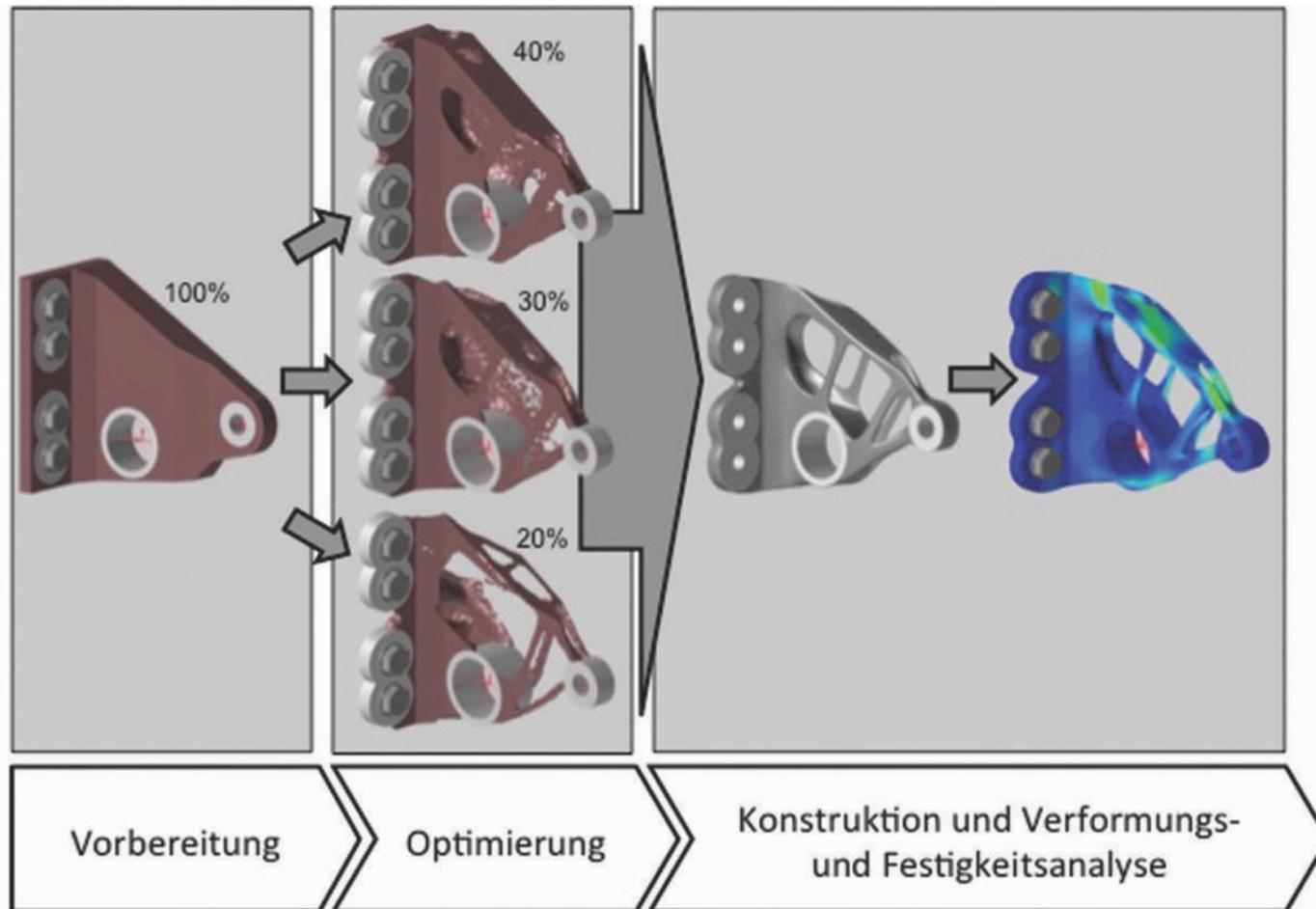
Move



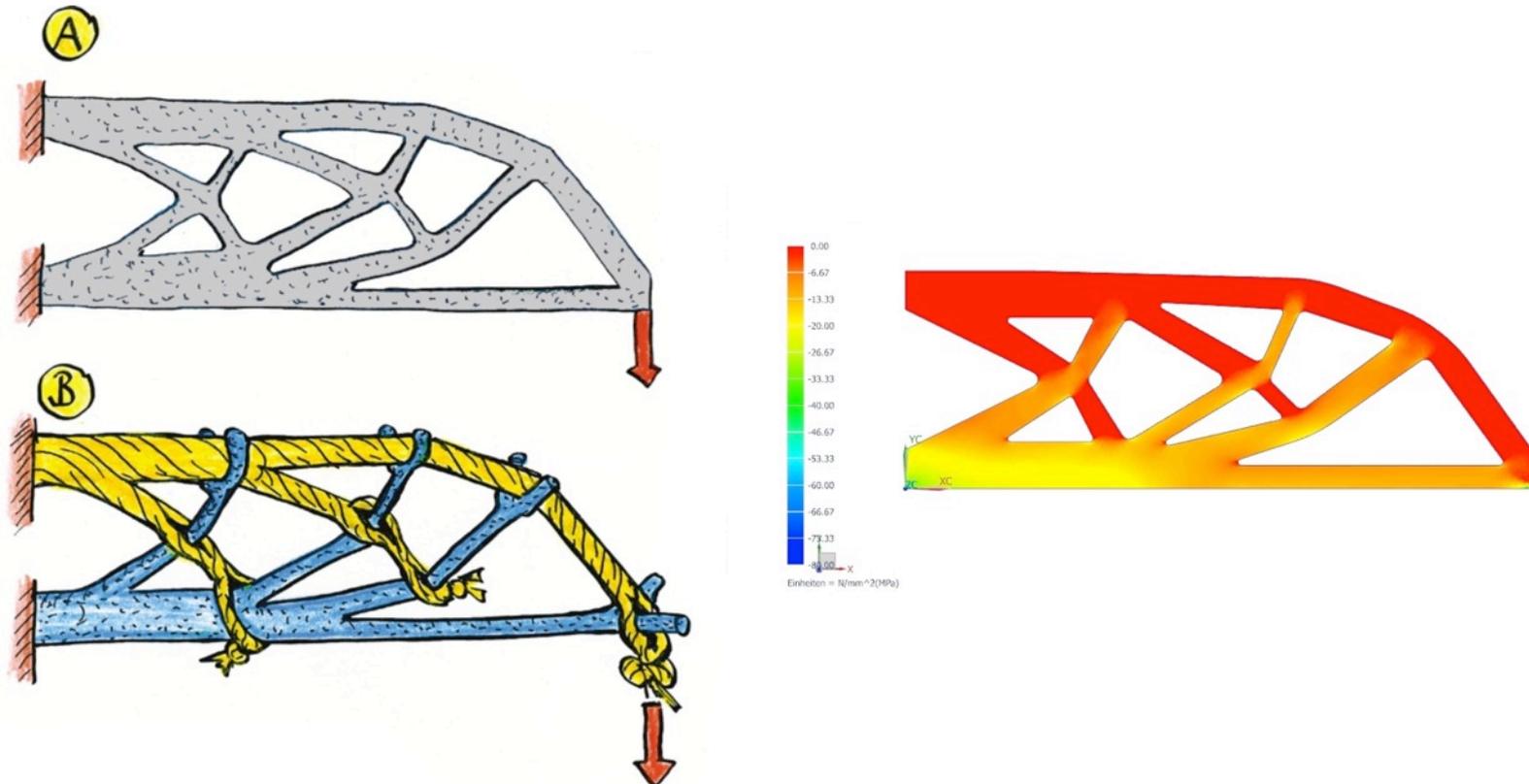
Millis: 138.0 FPS: 7.2

A. Sauer: Bionik in der Strukturoptimierung

i.d.R. keine „Ein-Klick“-Lösungen



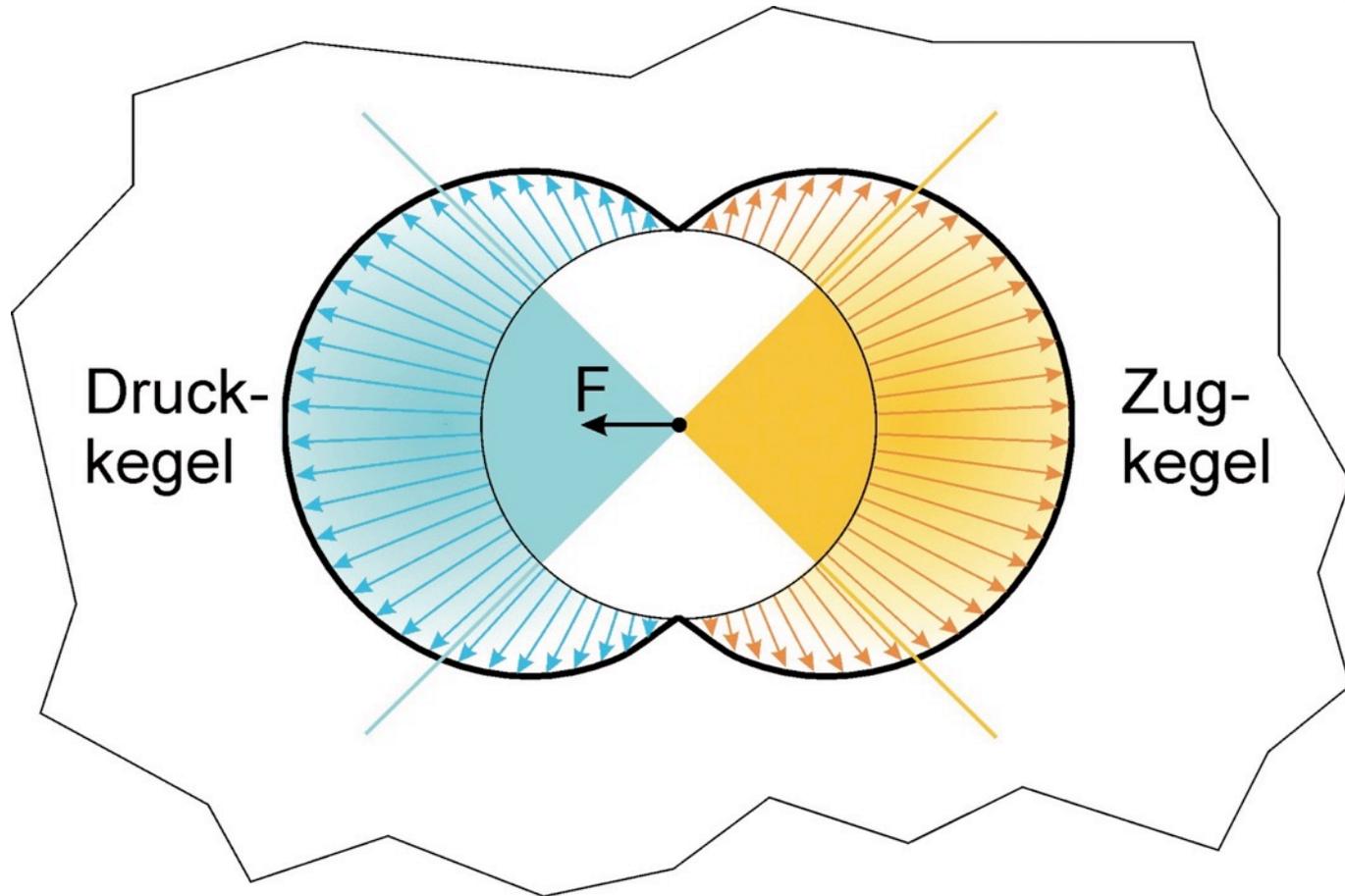
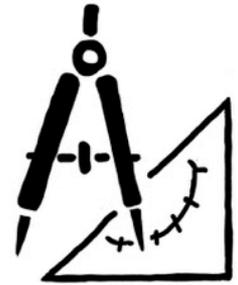
Verständnis der Designvorschläge



8tung: Knickabfrage nicht vergessen!!!

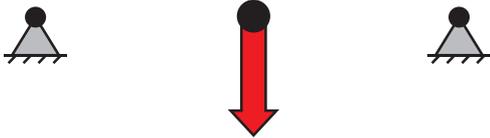
C. Mattheck: Die Körpersprache der Bauteile

KKM (Kraft-Kegel-Methode)

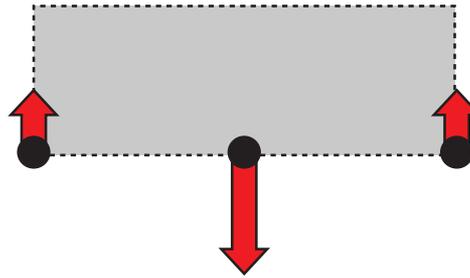


KKM

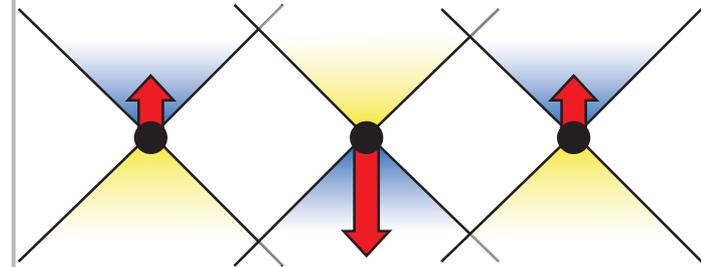
a)



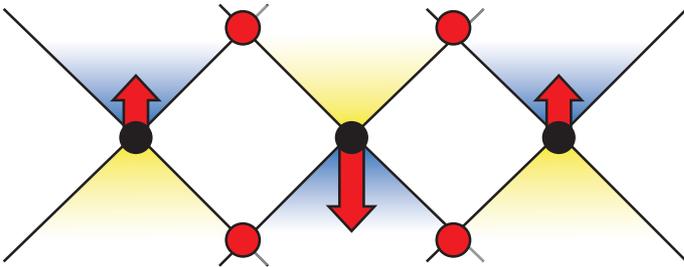
b)



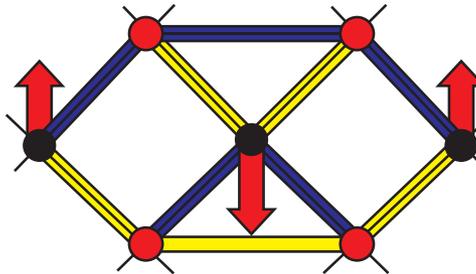
c)



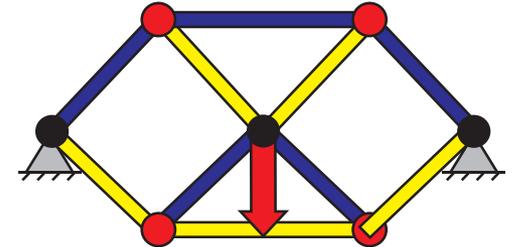
d)



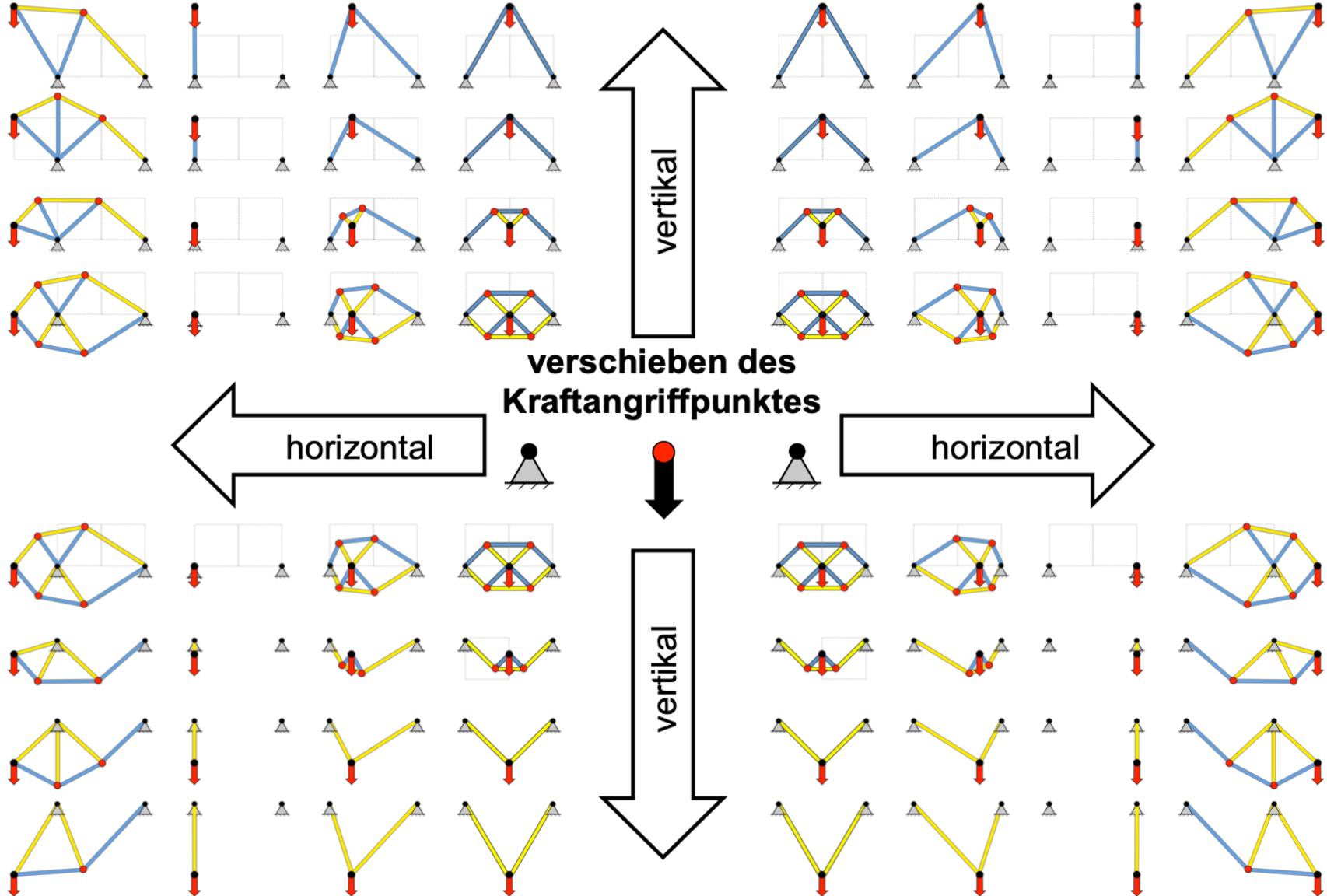
e)



f)



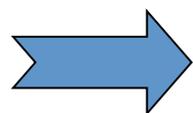
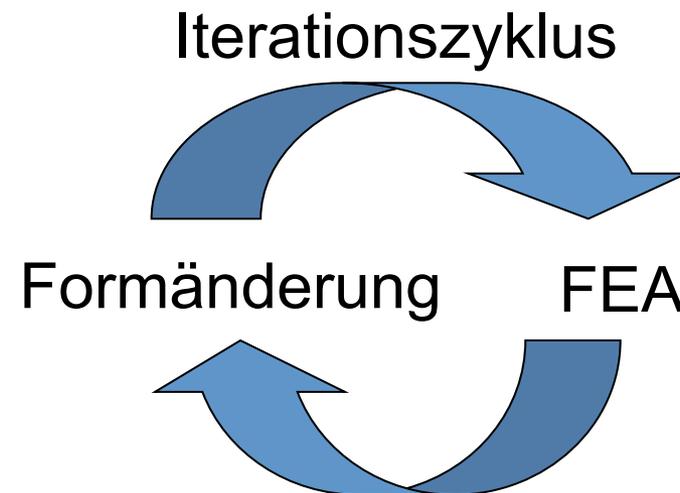
KKM



3 Strukturoptimierung

3.2 Formoptimierung

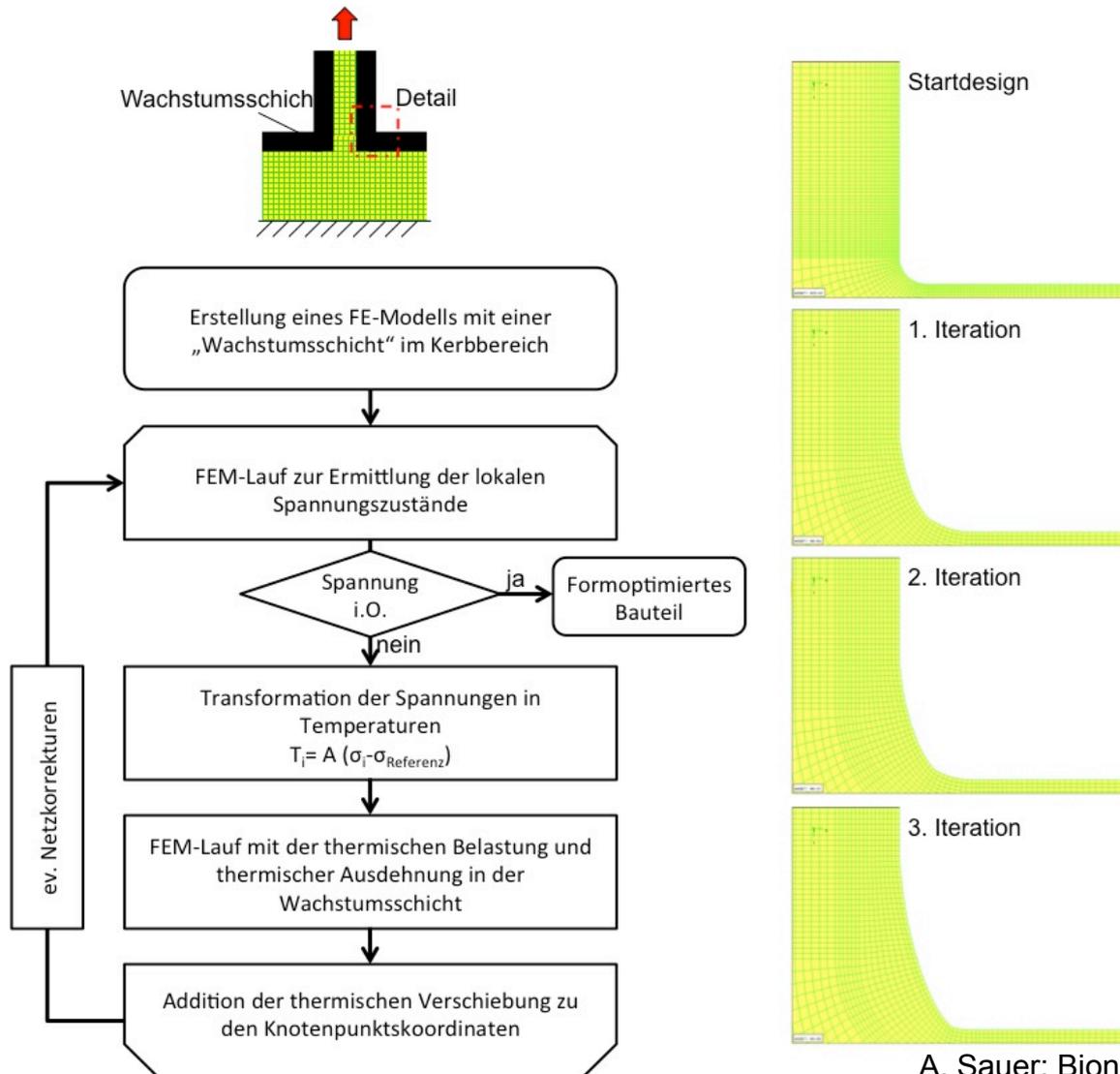
3.2 Vorbild Baum Baumwachstum



Baum strebt im Mittel eine homogene Spannungsverteilung an

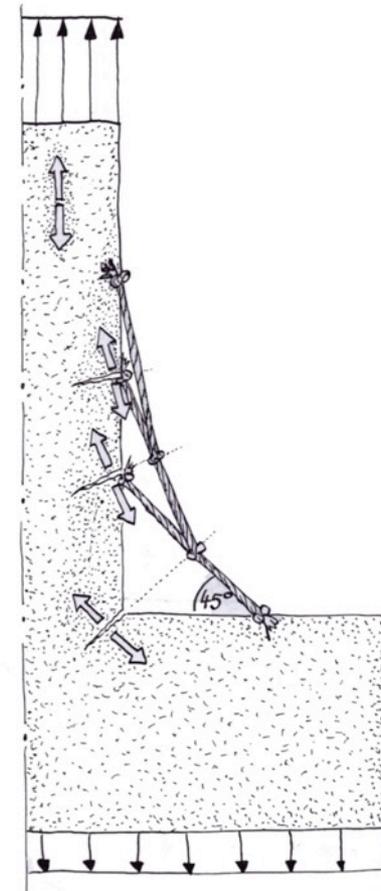
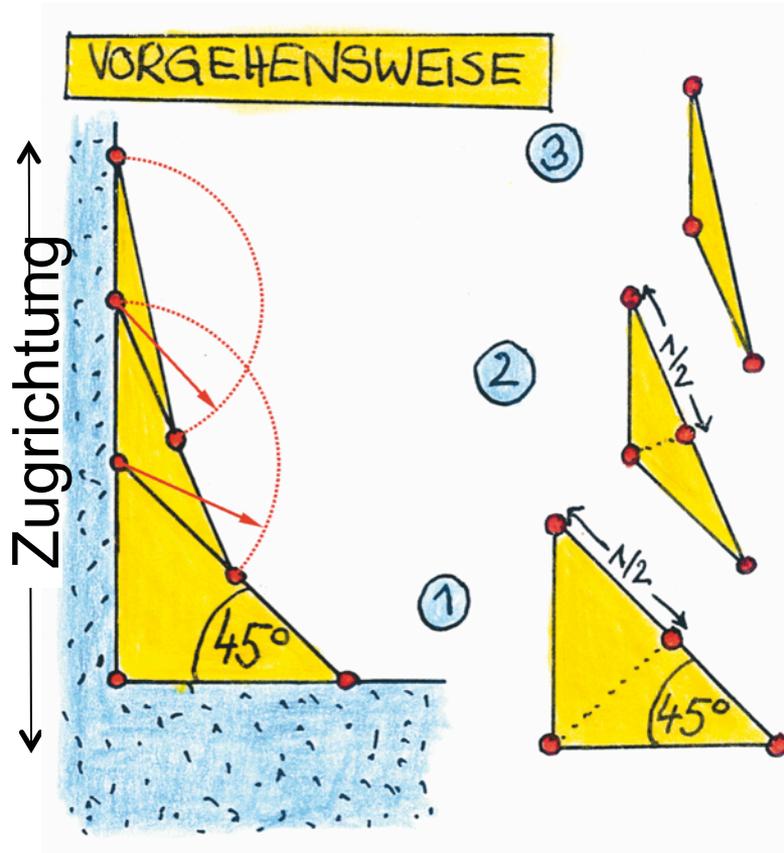


3.2.1 Computertools: Bsp CAO



A. Sauer: Bionik in der Strukturoptimierung

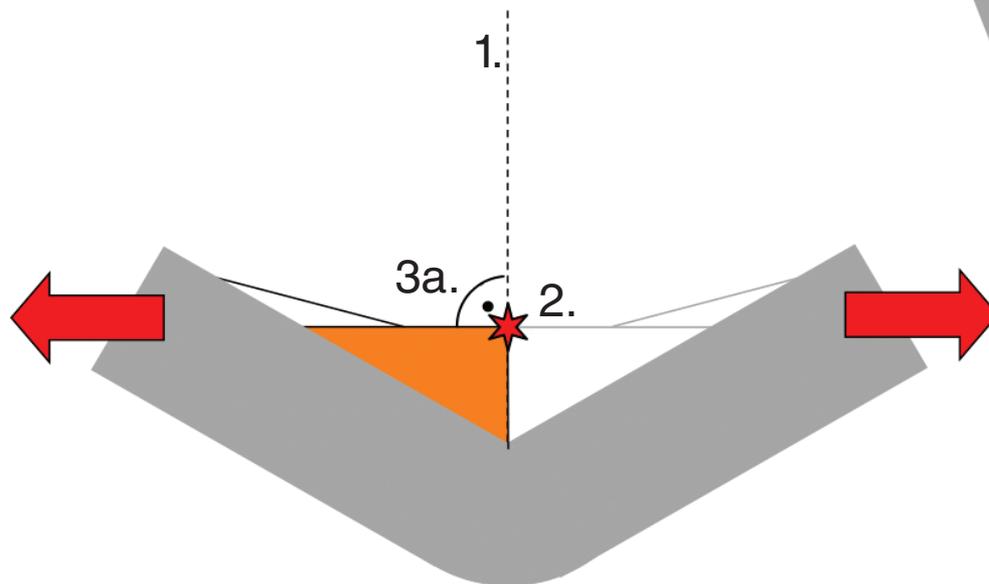
3.2.2 ZDE Zug-Dreieck-Methode



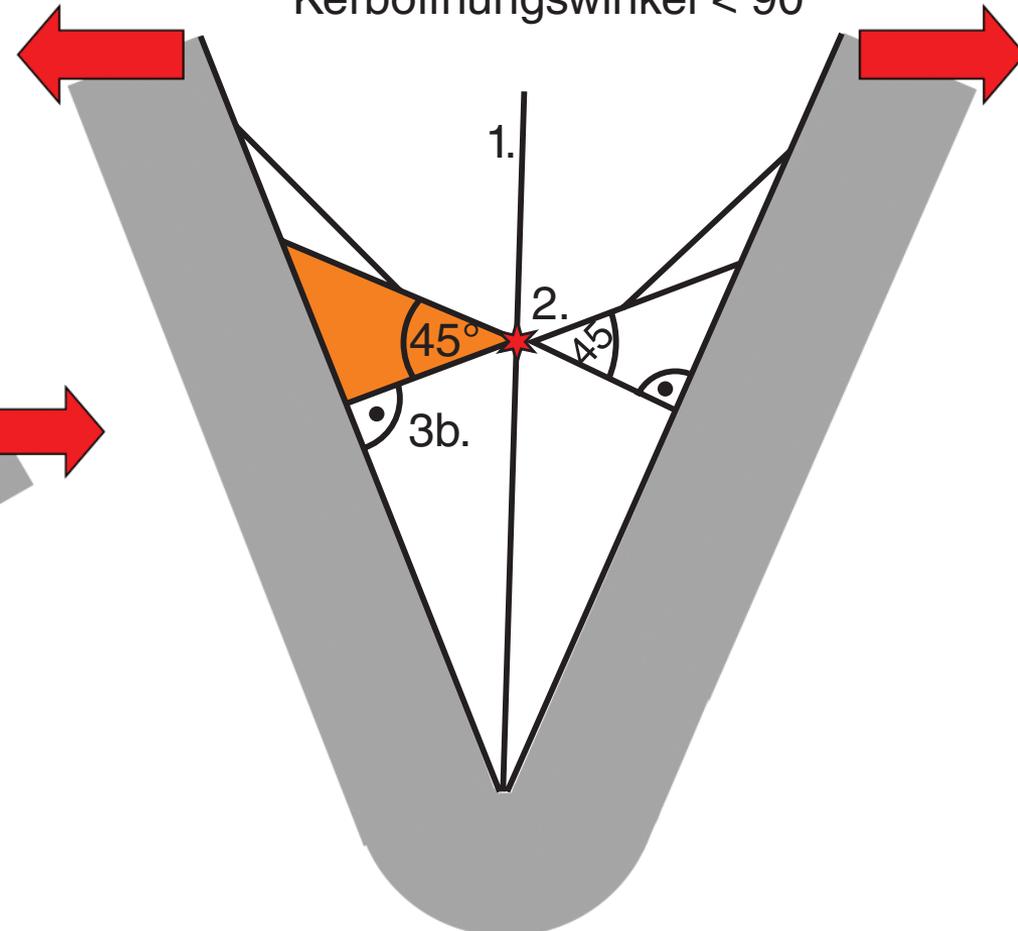
C. Mattheck: Die Körpersprache der Bauteile

ZDE (zweiachsig)

Kerböffnungswinkel $> 90^\circ$

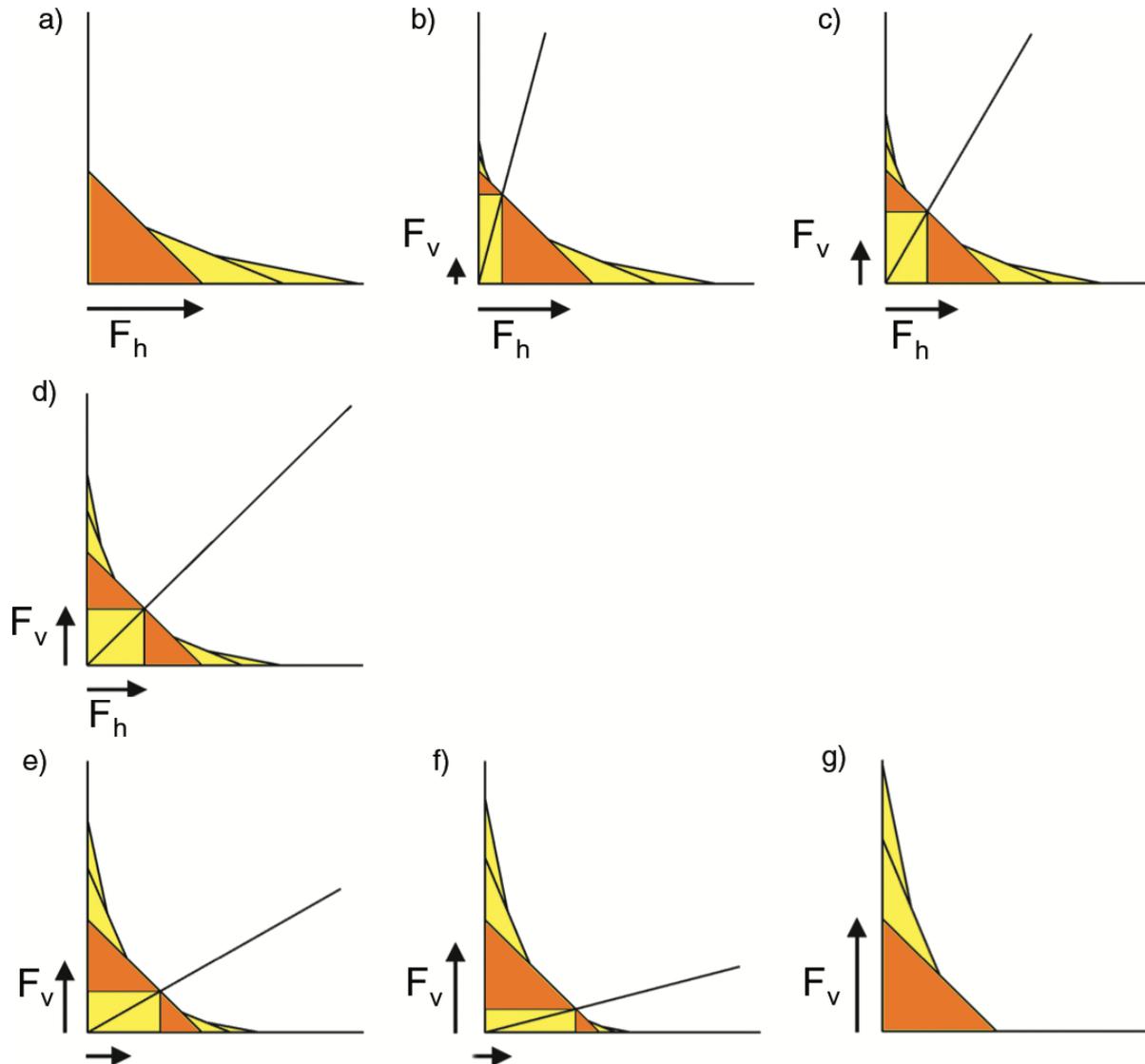


Kerböffnungswinkel $< 90^\circ$



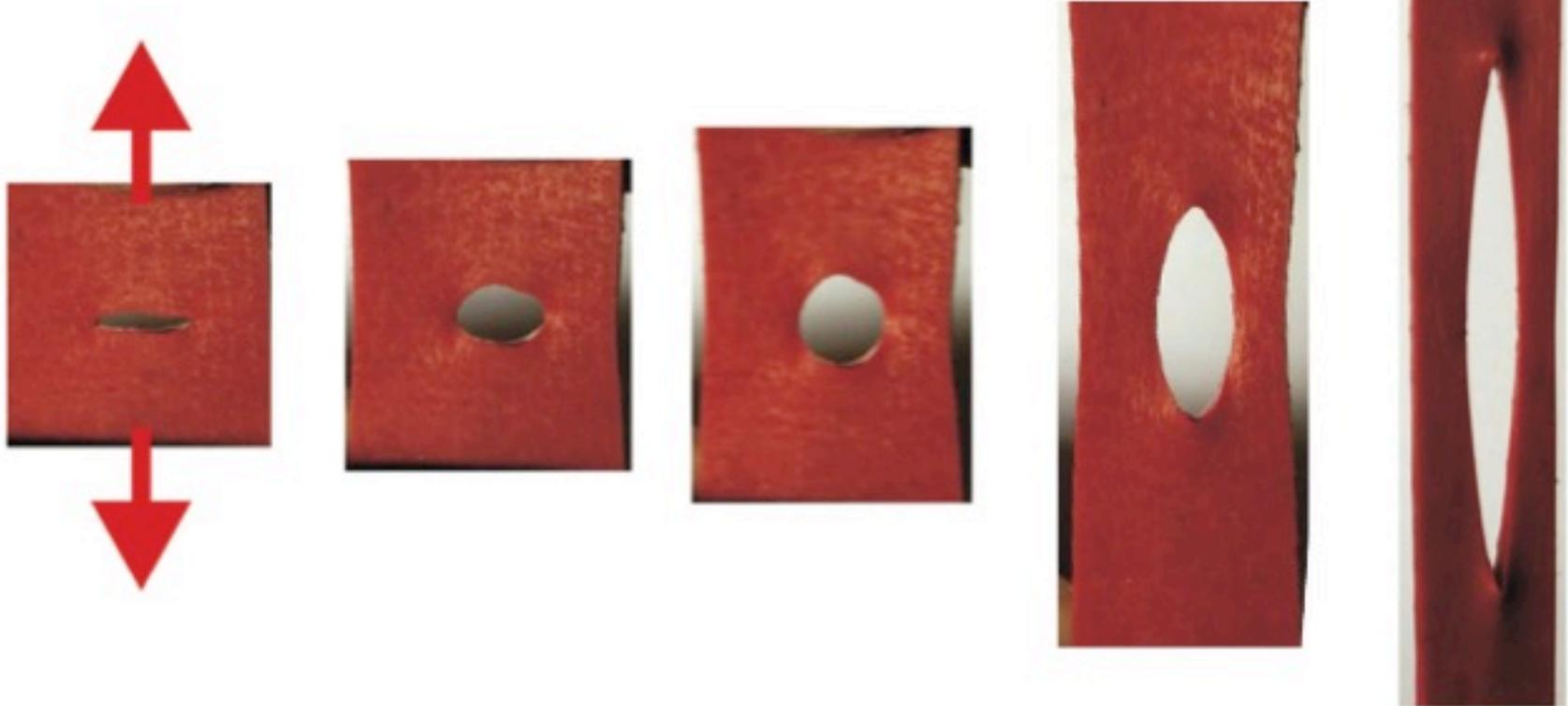
A. Sauer: Bionik in der Strukturoptimierung

ZDE (unsymmetrisch)



3.2.3 Selbstoptimierung

- Kerben optimieren sich bei Belastung



C. Mattheck: Die Körpersprache der Bauteile

3 Strukturoptimierung

3.4 im PEP

Strukturoptimierung im PEP



1. Klären und präzisieren der
Aufgabenstellung

2. Ermitteln von Funktionen
und deren Strukturen

3. Suchen nach
Lösungsprinzipien

4. Gliedern in realisierbare
Teilmodule

5. Gestalten der maßgeblichen
Module

6. Gestalten des gesamten
Produktes

7. Ausarbeiten der Ausführungs-
und Nutzungsangaben

Bauweise

Materialoptimierung

Topologieoptimierung

Formoptimierung

Dimensionierung

Vorgehen I:

Topologie- und anschließende Formoptimierung



**Westfälische
Hochschule**

Gelsenkirchen Bocholt Recklinghausen

- A) Topologieoptimierung als globale Verfahren liefert „treppenförmige“-Strukturen
- B) lokale Bereiche, besonders Kerben, werden mit der Formoptimierung bestimmt.

Vorgehen II:

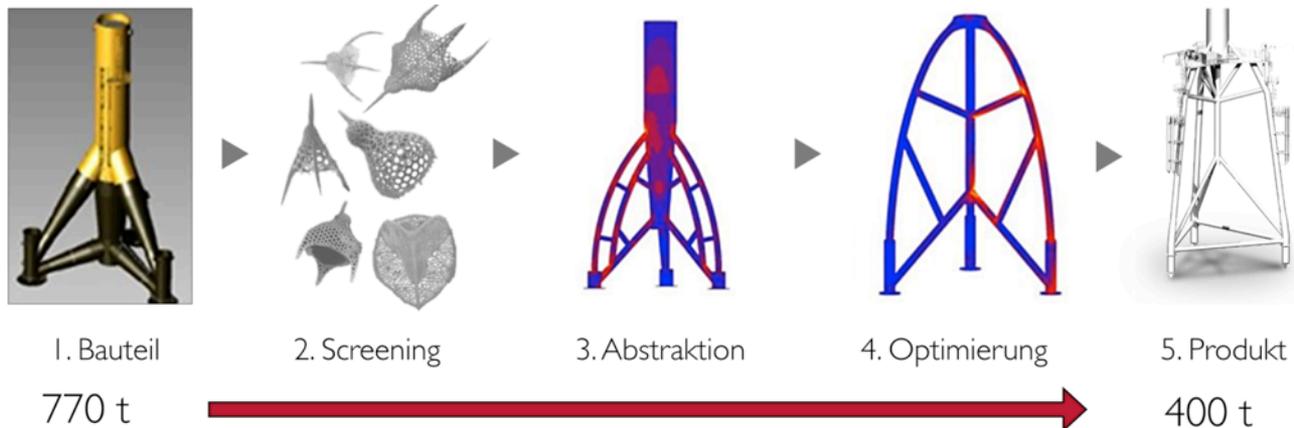
ELiSE

Radikale
Neukonzepte

Intensive
Optimierung



Parallele
Ansätze



1. Bauteil
770 t

2. Screening

3. Abstraktion

4. Optimierung

5. Produkt
400 t

C. Hamm: Bionik in der Strukturoptimierung

Vorgehen III:

Topologieoptimierung PLUS Bioscreening

Biologie als Interpretationshilfe der Designvorschläge der Topologie-Optimierung

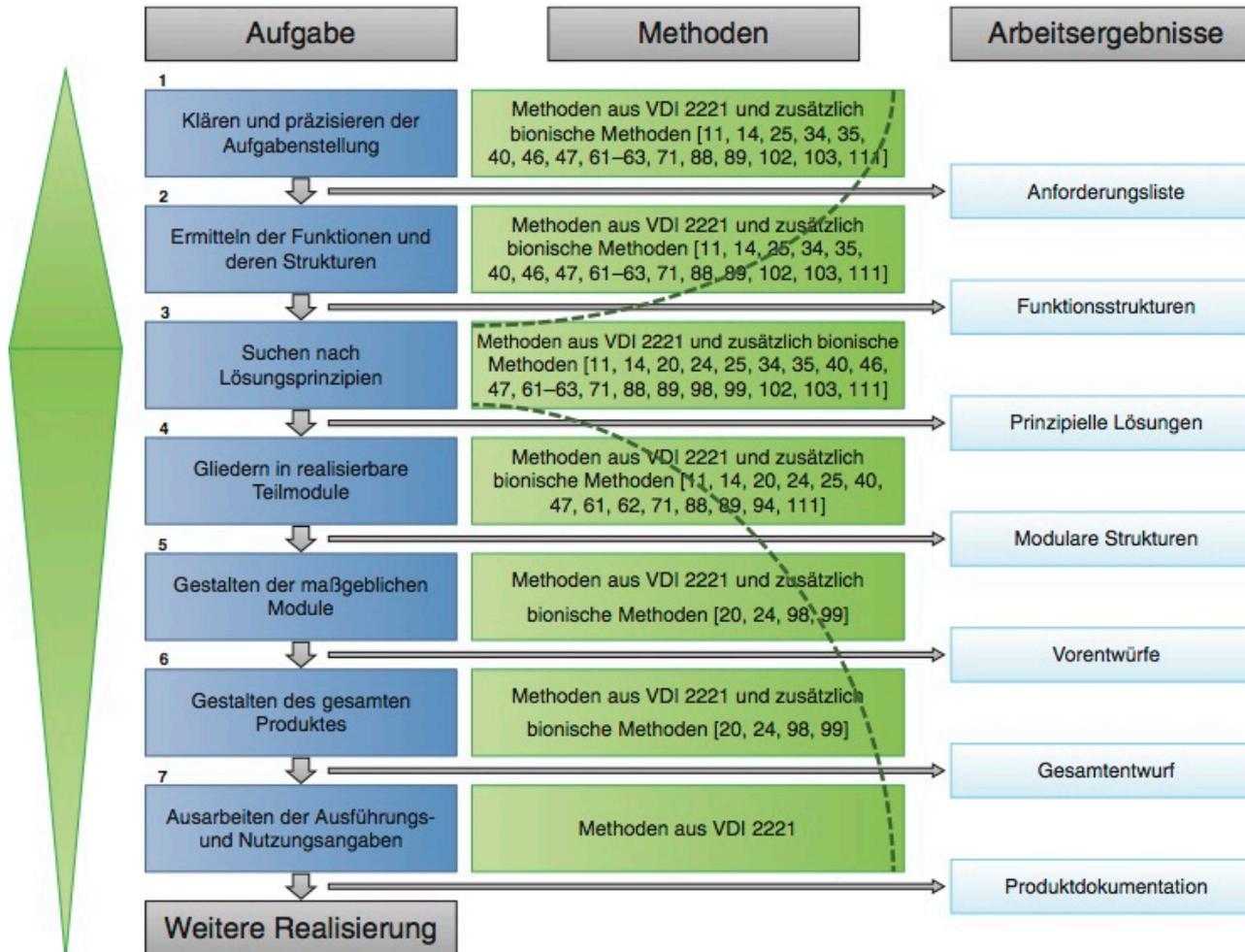
z.B. Designvorschlag -> Bioscreening

Druckstütze -> Bambus, Schachtelhalm, ...

Netzartige Strukturen -> Diatomeen, Adern

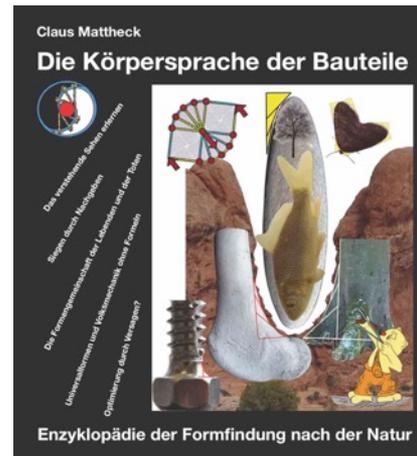
Verzweigungen -> Blattnervatur, Stamm-Ast-Zweige

Bionik in Entwicklungsprozesse integrieren



http://bionik-institut.de/wp-content/uploads/Bionik_Sonderdruck_DINA4_medium.pdf

4. Literatur

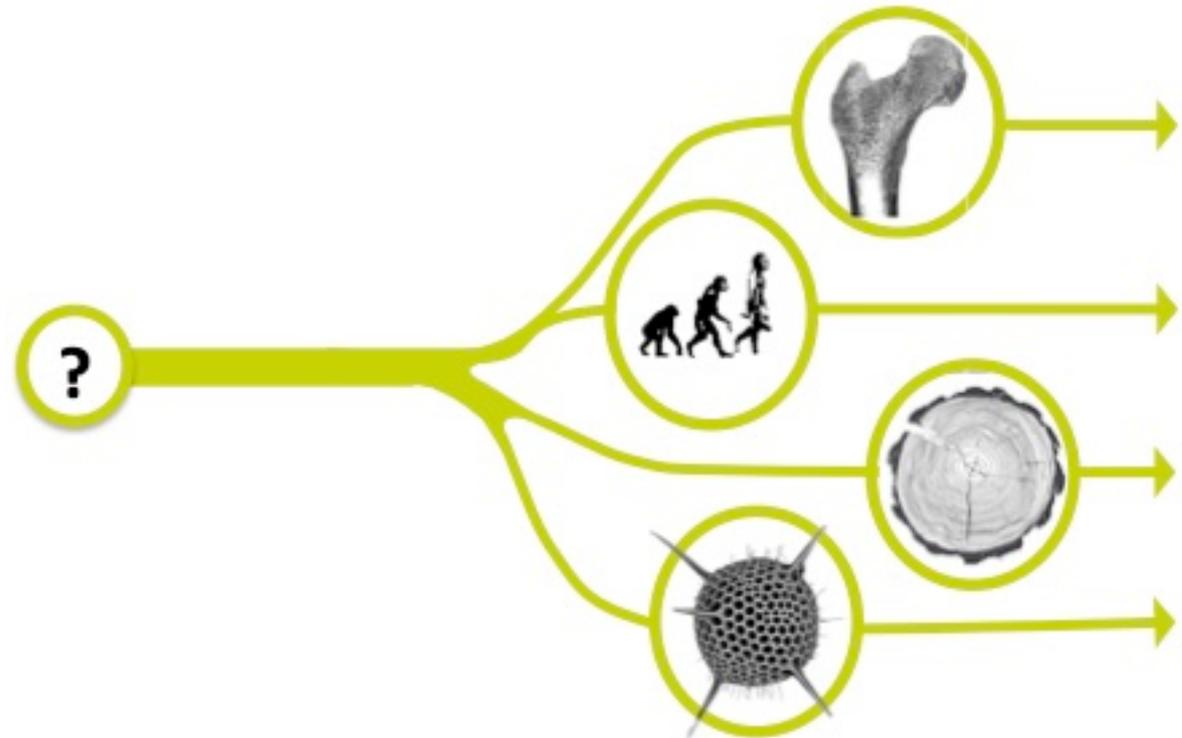


ICS 07.080	VDI-RICHTLINIEN	Dezember 2012 December 2012
VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE	Bionik Konzeption und Strategie Abgrenzung zwischen bionischen und konventionellen Verfahren/Produkten Biomimetics Conception and strategy Differences between biomimetic and conventional methods/products	VDI 6220 Blatt 1 / Part 1
		Ausg. deutsch/englisch Issue German/English

- A. Sauer: Bionik in der Strukturoptimierung – Praxishandbuch für ressourceneffizienten Leichtbau, Vogel-Fachbuchverlag, 2018
- C. Mattheck: Die Körpersprache der Bauteile, KIT, 2017
- DIN ISO 18 458 Bionik – Terminologie, Konzepte und Methodik
- VDI 6220 Blatt 1 Bionik – Konzeption und Strategie
- VDI 6221 Blatt 1 Bionik – Funktionale bionische Oberflächen
- VDI 6222 Blatt 1 Bionik – Bionische Roboter
- VDI 6223 Blatt 1 Bionik – Bionische Materialien, Strukturen und Bauteile
- VDI 6224 Blatt 3 Bionik – Bionische Strukturoptimierung im Rahmen eines ganzheitlichen Produktentstehungsprozesses
- DIN ISO 18 459 Bionik – Bionische Strukturoptimierung (CAO, SKO, CAIO, Zugdreiecke)
- VDI 6224 Blatt 1 Bionische Optimierung – Evolutionäre Algorithmen in der Anwendung
- VDI 6225 Blatt 1 Bionik – Bionische Informationsverarbeitung
- VDI 6226 Blatt 1 Bionik – Architektur, Bauingenieurwesen, Industriedesign.

5. Fazit

- Vorteile der Natur mit Hilfe der Bionik nutzen
- Senken der Materialkosten durch Strukturoptimierung
- Oft „good enough“ Lösung sind meist ausreichend, aber
nünstiger



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.

Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. Alexander Sauer
Lehrgebiet: Bionik und Leichtbau

Münsterstrasse 265
46397 Bocholt
Tel.: 02871 / 2155 948
Fax: 02871 / 2155 900
alexander.sauer@w-hs.de

Raum C1.0.14