Die adaptive biologische Wachstumsregel im Industrieeinsatz: Das SKO-Verfahren

16. Bayreuther 3D-Konstrukteurstag

17. September 2014

Kevin Deese, Michael Frisch, Stefan Hautsch

Die biologische Wachstumsregel

Beobachtungen aus der Natur:

- Bäume wachsen an Stellen hoher Spannung stärker als an anderen Stellen
- Knochen lagern an stark belasteten Stellen Material an und bauen Material an unterbelasteten Stellen ab (Knochengeweberemodellierung)
- Das Resultat sind homogene Oberflächenspannungen ohne Spannungsspitzen

Die biologische Wachstumsregel

Die Beobachtungen liefern die „biologische Wachstumsregel“ als mögliche Designregel für die Strukturoptimierung.

1. Lagere Material an stark belasteten Stellen an
2. Entferne Material an niedrig belasteten Stellen

Strukturoptimierung

Grundlagen

Die Strukturoptimierung besteht aus 3 Bereichen

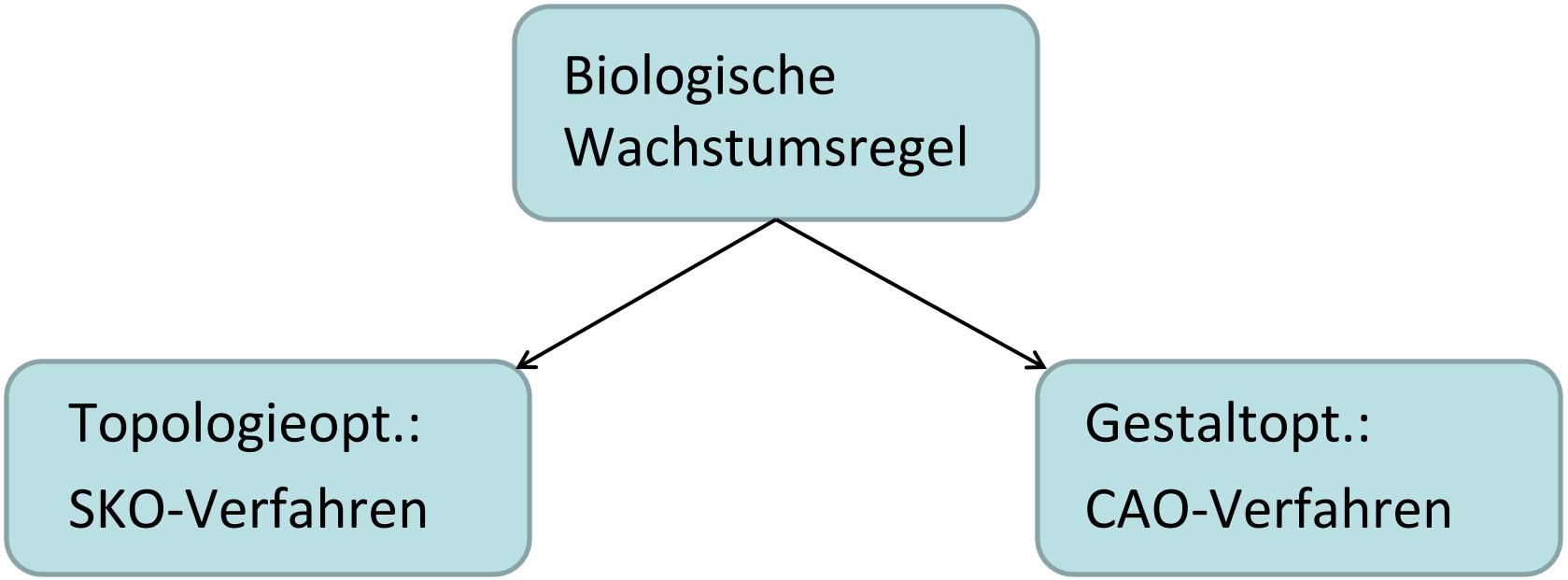
1. Topologieoptimierung
2. Gestaltoptimierung
3. Materialoptimierung

Topologieoptimierung:

- Topologie wird durch einbringen von Löchern an geeigneten Stellen verändert
- Dazu werden Materialeigenschaften von Finiten Elementen verändert (z. B. E-Modul)

Anwendung in der Strukturoptimierung

Verschiedene Verfahren



Das SKO-Verfahren

Um zu bestimmen, welches Element überbelastet ist, muss eine Referenzspannung vorgegeben werden.

Durch die Spannungsdifferenz $\sigma - \sigma_{ref}$ und einen Skalierungsfaktor kann dann der E-Modul variiert werden:

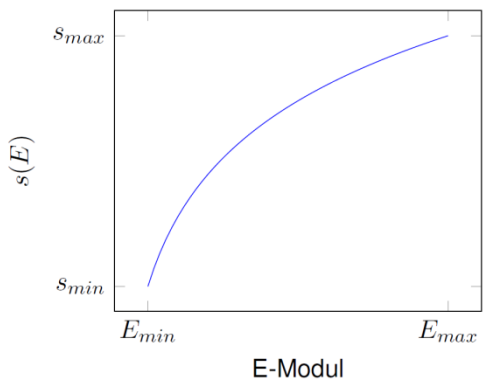
$$E_i^{(k)} = E_{i-1}^{(k)} + s \cdot (\sigma_i^{(k)} - \sigma_{ref})$$

i: Iteration

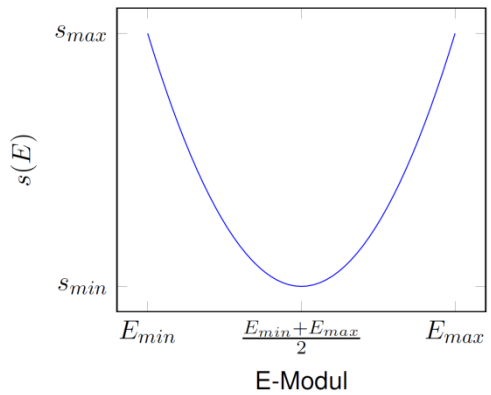
k: Element

Das SKO-Verfahren

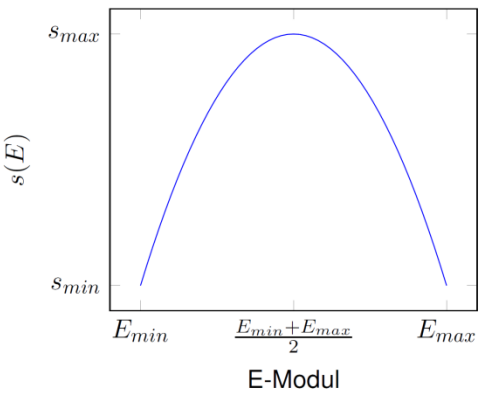
Wahl des Skalierungsfaktors



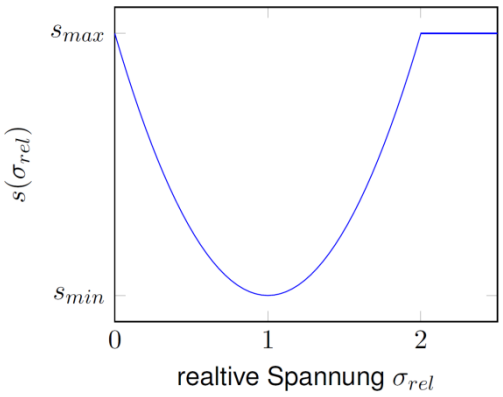
$$s(E) = s_{min} + (s_{max} - s_{min}) \lg\left(1 + 9 \cdot \frac{E - E_{min}}{E_{max} - E_{min}}\right)$$



$$s(E) = s_{min} + (s_{max} - s_{min}) \left(2 \cdot \frac{E - E_{min}}{E_{max} - E_{min}} - 1\right)^2$$



$$s(E) = s_{max} + (s_{min} - s_{max}) \left(2 \cdot \frac{E - E_{min}}{E_{max} - E_{min}} - 1\right)^2$$



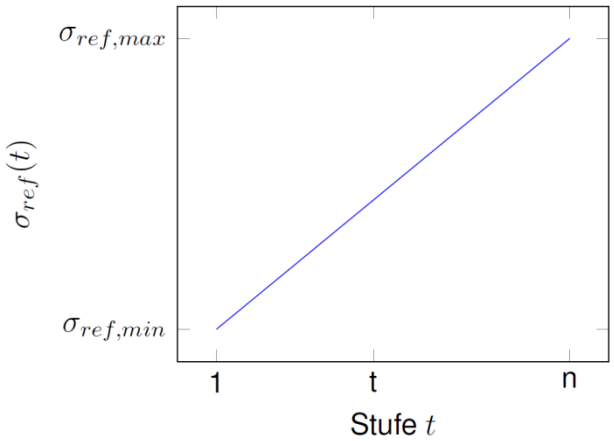
$$s(\sigma_{rel}) = \begin{cases} s_{min} + (s_{max} - s_{min})(\sigma_{rel} - 1)^2 & \text{für } \sigma_{rel} \leq 2 \\ s_{max} & \text{für } \sigma_{rel} > 2 \end{cases}$$

mit $\sigma_{rel} = \dfrac{\sigma}{\sigma_{ref}}$

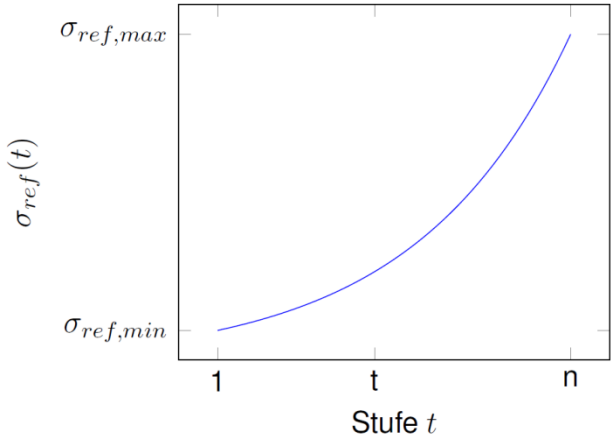
Liefert die besten Ergebnisse

Das SKO-Verfahren

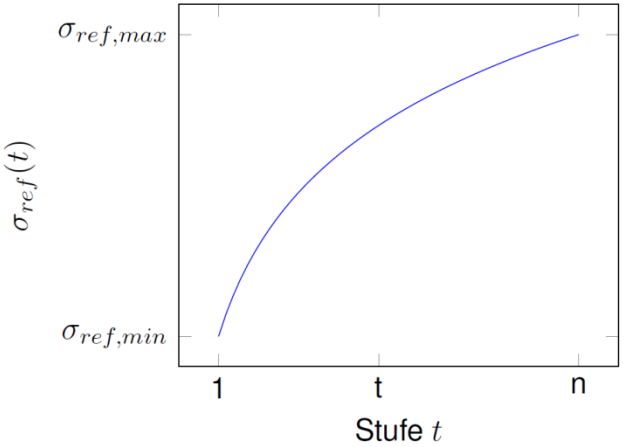
Wahl der Referenzspannung



$$\sigma_{ref}(t) = \sigma_{ref,min} + (\sigma_{ref,max} - \sigma_{ref,min}) \cdot \frac{t-1}{n-1}$$



$$\sigma_{ref}(t) = \sigma_{ref,min} + \frac{(\sigma_{ref,max} - \sigma_{ref,min})}{9} \left(10^{\frac{t-1}{n-1}} - 1\right)$$



$$\sigma_{ref}(t) = \sigma_{ref,min} + (\sigma_{ref,max} - \sigma_{ref,min}) \lg\left(1 + 9 \cdot \frac{t-1}{n-1}\right)$$

Liefert die besten Ergebnisse

Das SKO-Verfahren

Erweiterte Methode

- Skalierungsfaktor abhängig von der Referenzspannung
- Referenzspannung abhängig von der Stufe

$$E_i^{(k)} = E_{i-1}^{(k)} + s\left(\sigma_{i,rel}^{(k)}\right) \cdot \left(\sigma_i^{(k)} - \sigma_{ref}(t)\right)$$

$$E_i^{(k)} = \begin{cases} E_{max} & wenn\ E_i^{(k)} > E_{max} \\ 0 & wenn\ E_i^{(k)} < 0 \\ E_i^{(k)} & sonst \end{cases}$$

i: Iteration

k: Element

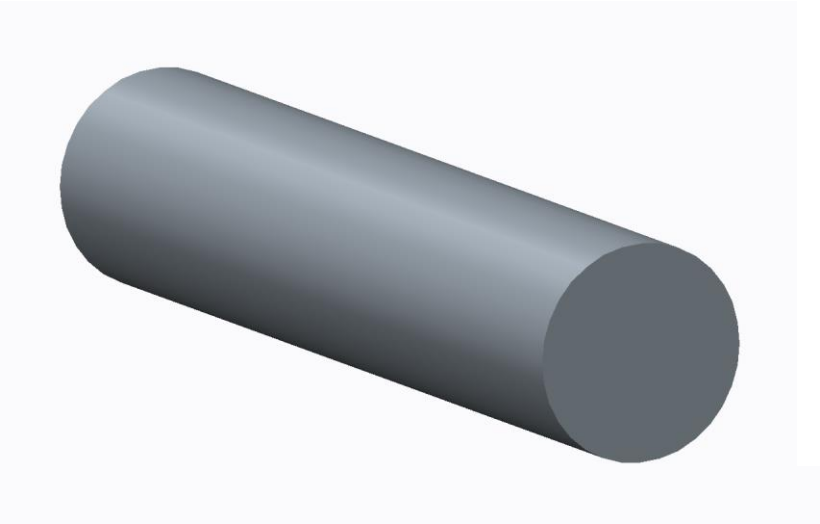
t: Stufe

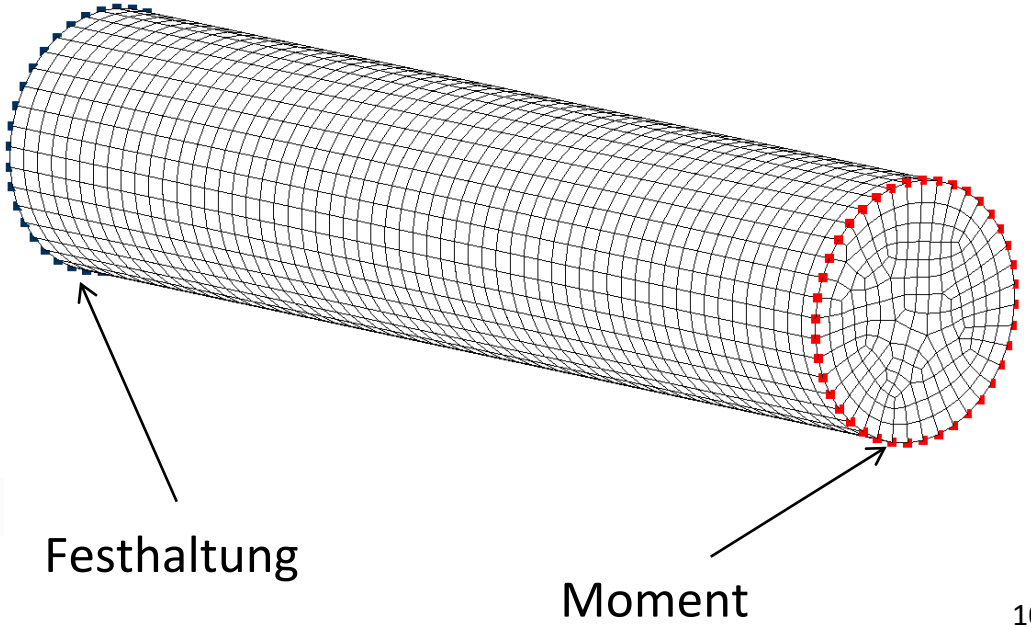
Optimierungsbeispiel

Modell

Welle aus Vollmaterial, auf einer Seite festgeschweißt, auf der anderen ein Moment von $100\ Nm$ aufgebracht

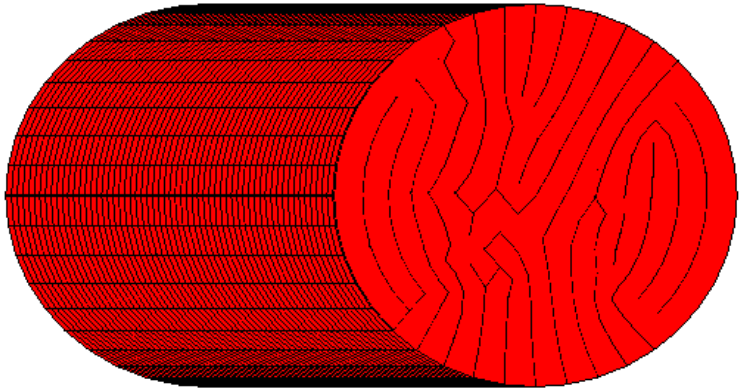
Referenzspannung: $200\ \frac{N}{mm^2}$



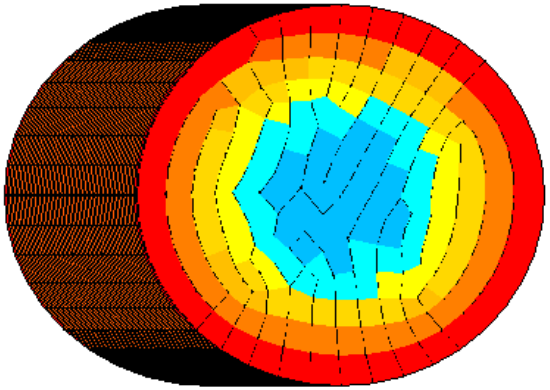


Optimierungsbeispiel

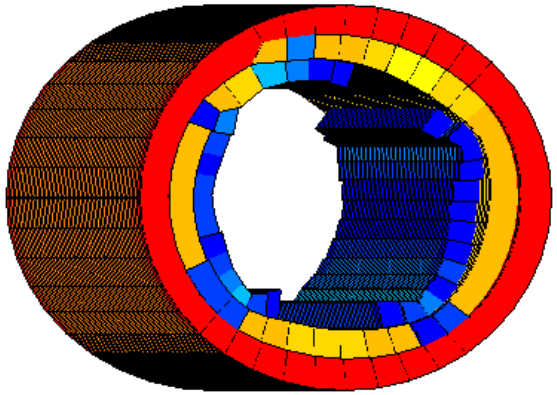
Ergebnisse



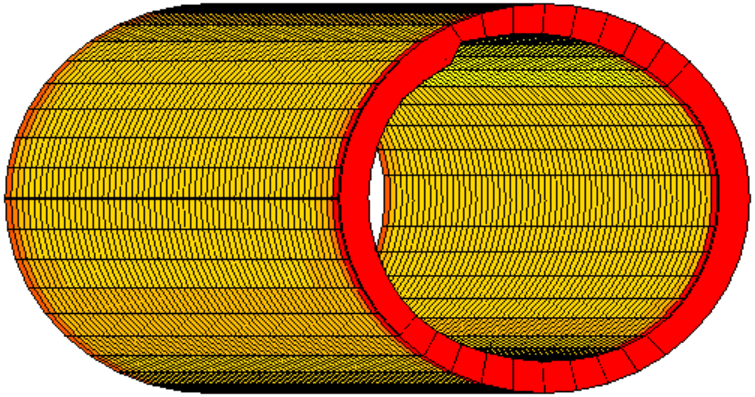
Iteration 0



Iteration 3



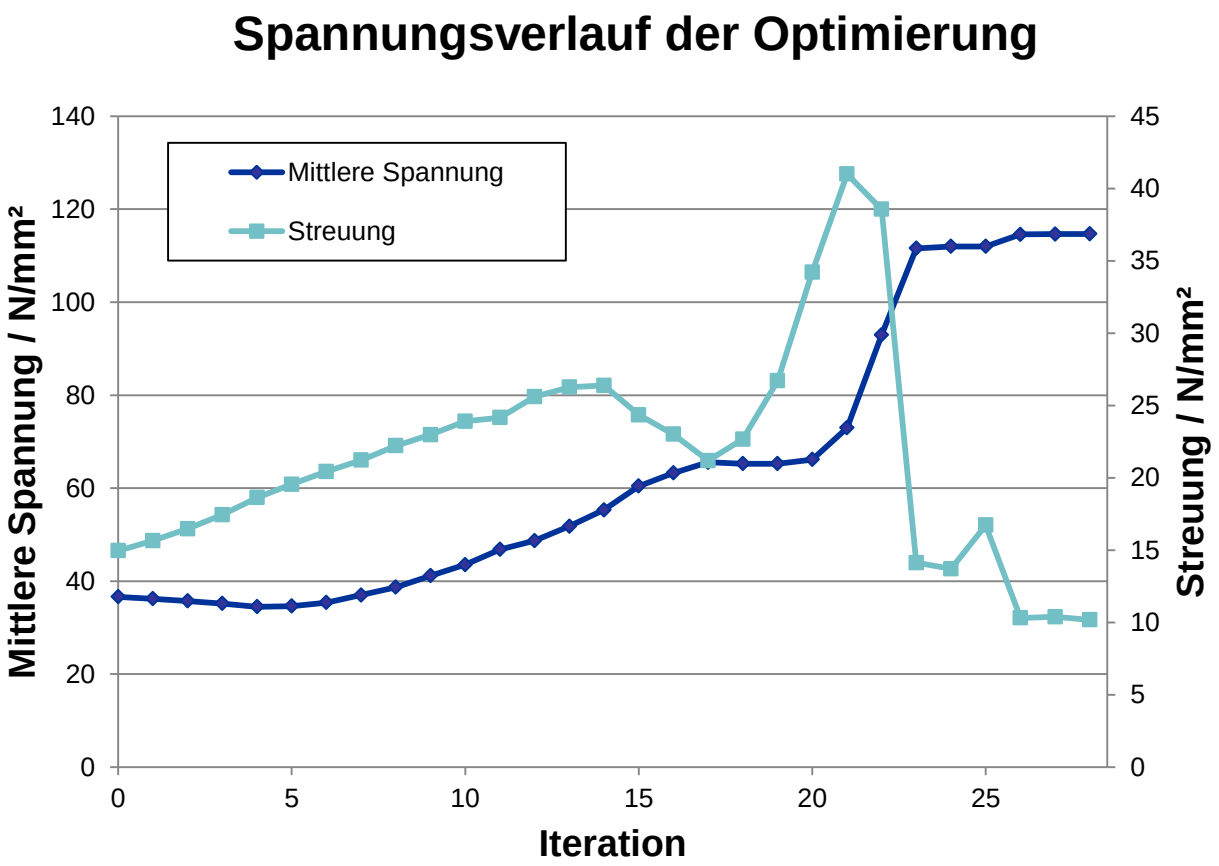
Iteration 13



Iteration 28

Optimierungsbeispiel

Spannungsergebnisse



Literatur

C. Mattheck (1997): Design in der Natur – Der Baum als Lehrmeister. 3. Auflage. Rombach Verlag, Freiburg im Breisgau

L. Harzheim (2008): Strukturoptimierung – Grundlagen und Anwendungen. Verlag Harri Deutsch, Frankfurt a. M.

M. P. Bendsøe; O. Sigmund (2003): Topology Optimization – Theory, Methods and Applications. Springer Verlag, Berlin