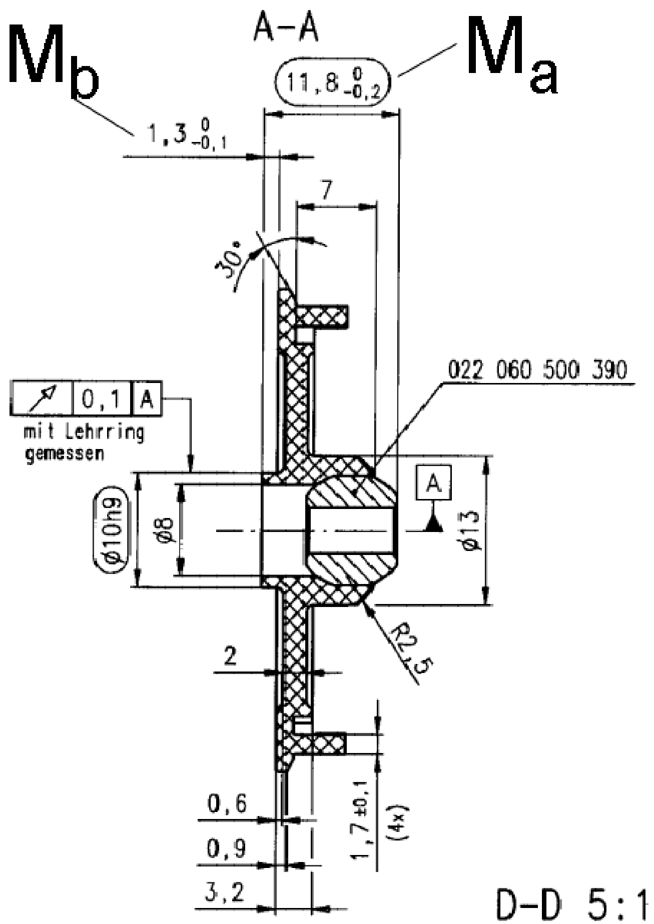
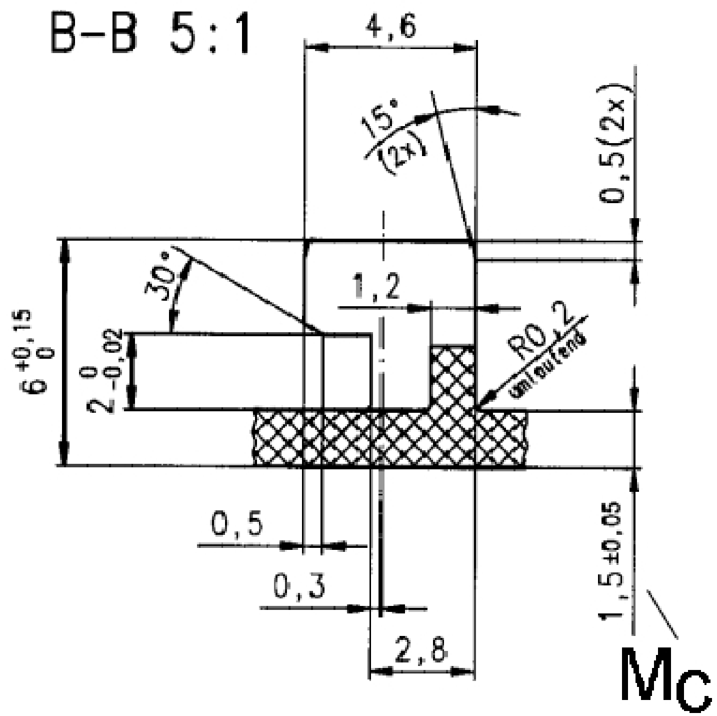
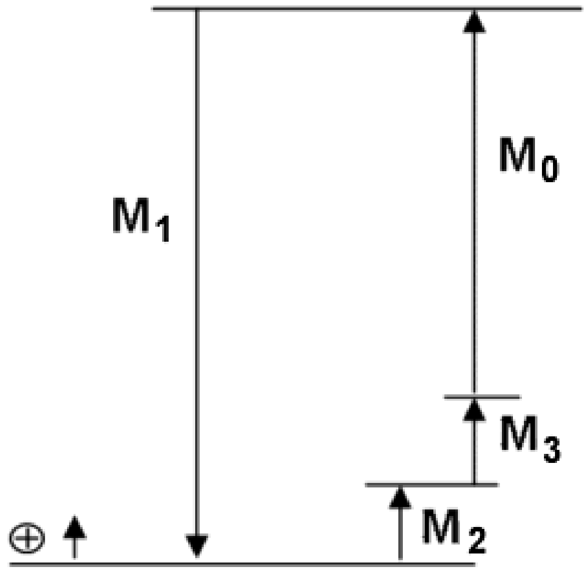
Toleranzanalyse und Kostenoptimierung





Kamusella / Neubert / Pham

Beispiel „Maßtoleranzen: Analyse und Optimierung“



gegeben und gesucht:

- $M_0=M_1-M_2-M_3$ ➔ Nennmaß N_0 mit T_0 und E_{C0} **?**
- $M_1=11{,}8 - 0{,}2$ ➔ $C_1=11{,}70$ mit $T_1=0{,}2$
- $M_2= 1{,}3 – 0{,}1$ ➔ $C_2= 1{,}25$ mit $T_2=0{,}1$
- $M_3= 1{,}5 \pm 0{,}05$ ➔ $C_3= 1{,}50$ mit $T_3=0{,}1$

(C_i= Toleranzmittenmaß / E_{ci}= Toleranzmittenabmaß / T_i=Toleranz)

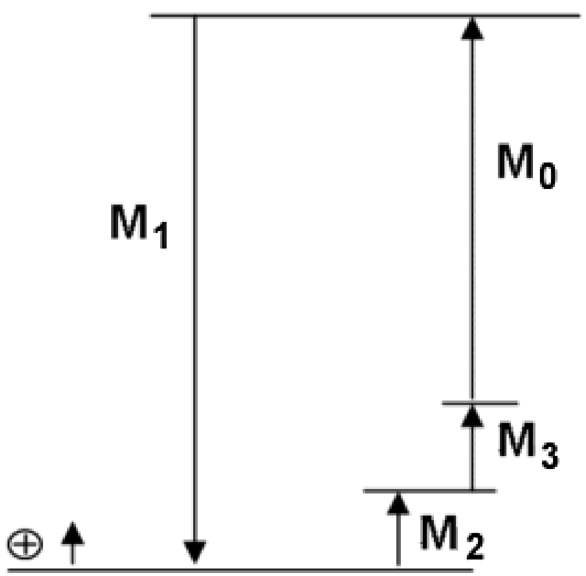
Analyse-Ziele:

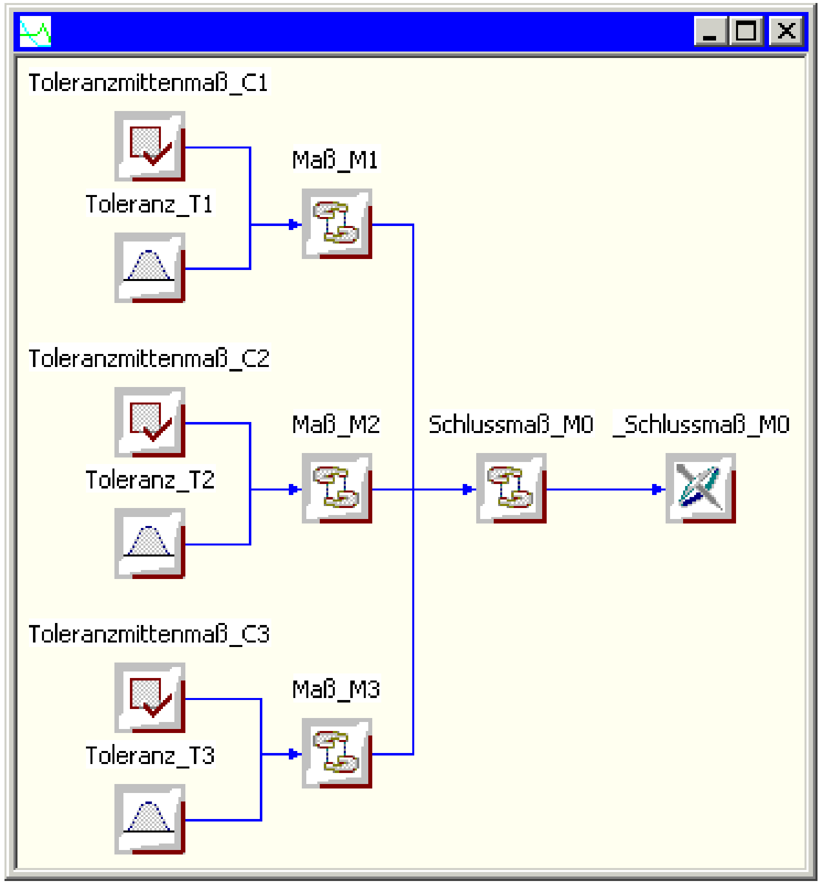
- Wird mit der Ausgangslösung die geforderte Schlussmaß-Toleranz eingehalten? (Maximum-Minimum-Methode)
- Aussagen zur Verteilungsfunktion des Schlussmaßes. (Wahrscheinlichkeitsbasierte Methode)

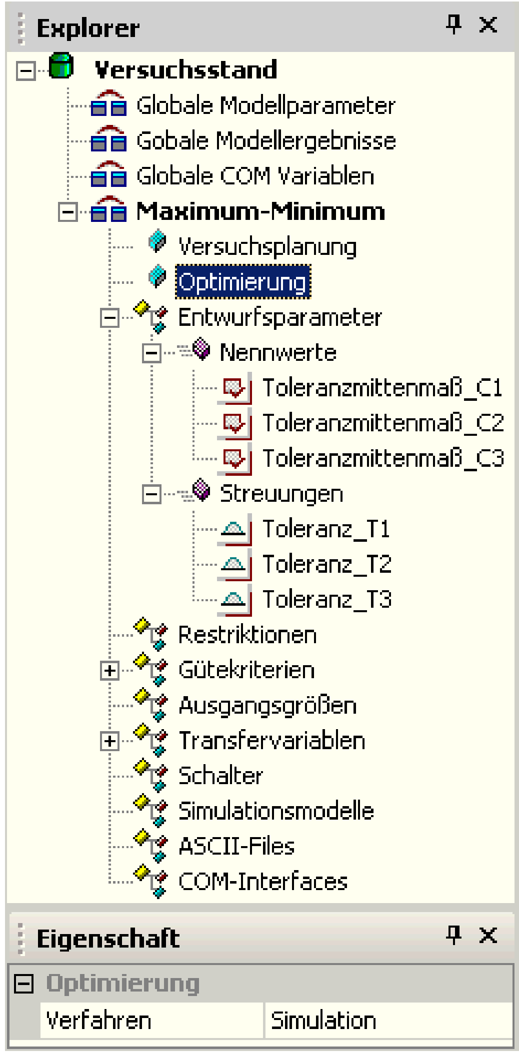
Optimierungsziele:

- Festlegen der Einzeltoleranzen bei Vorgabe von Schlussmaß-Toleranz und Ausschussquote.
- Zusätzliche Minimierung der Toleranzkosten.

Workflow-Modell der Maßkette

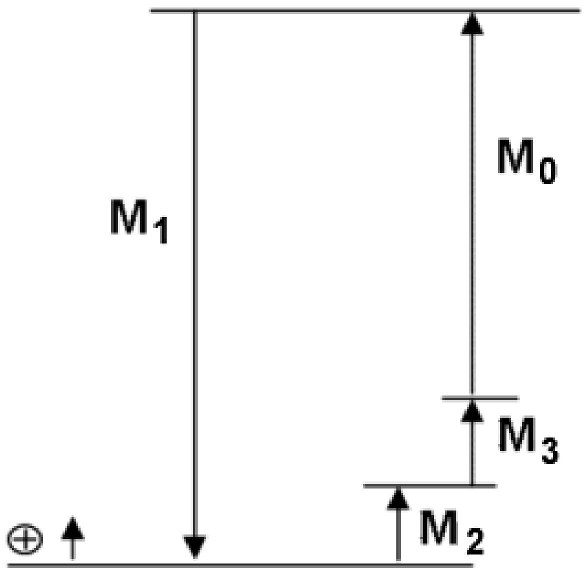




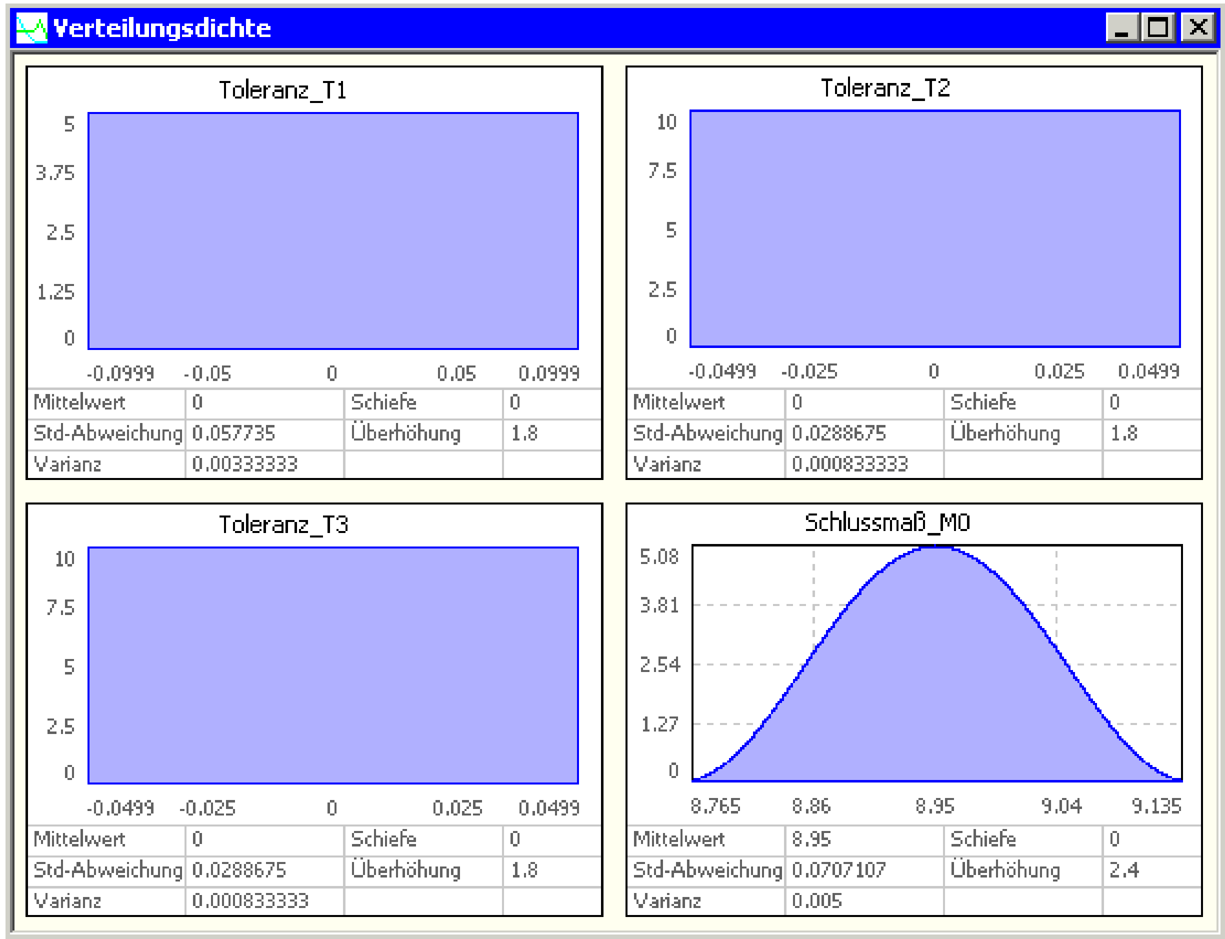


- *Workflow* = grafische Repräsentation eines Experiments.
- Datenfluss zwischen vorgegebenen Parametern und berechneten Ergebnis-Größen.
- Symbole eingefügter Simulationsmodelle kennzeichnen die Einbeziehung externer Software in den Berechnungsprozess.

Maximum-Minimum-Methode



Berücksichtigt bei der Berechnung der Schlussmaß-Toleranz den Worst-Case-Fall und gewährleistet damit eine 100%-ige Einhaltung des Schlussmaßes:



Nennmaß $\mathbf{N_0}$ aus Nennmaßen $\mathbf{N_i}$:

$\mathbf{N_0}$ = -1 · (1,5 + 1,3 - 11,8) = 9,0

Toleranzmittenabmaß $\mathbf{E_{c0}}$ aus $\mathbf{E_{ci}}$:

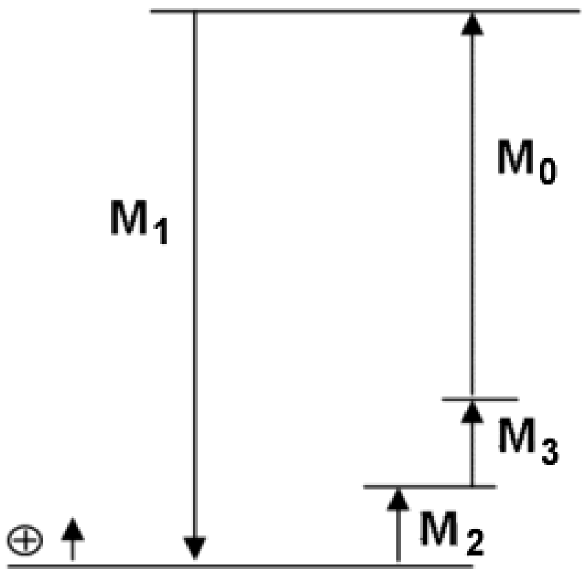
$\mathbf{E_{c0}}$ = -1 · (0 - 0,05 + 0,1) = -0,05

Toleranz $\mathbf{T_0}$ aus Summe $\mathbf{T_i}$:

$\mathbf{T_0}$=0,2+0,1+0.1=0,4

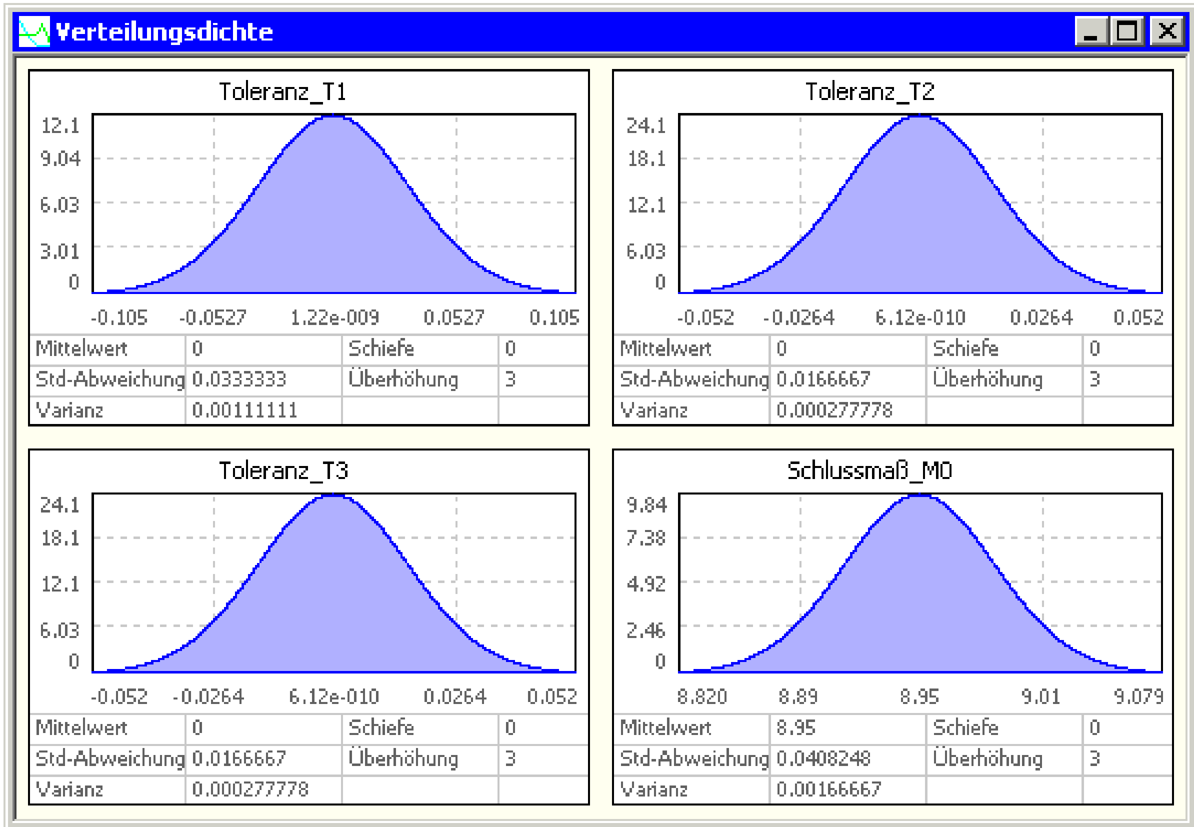
Schlussmaß $\mathbf{M_0}$=8,95±0,2

Wahrscheinlichkeitsbasierte Methode



Berücksichtigt bei der Berechnung der Schlussmaß-Toleranz die Verteilungsfunktionen der unabhängigen Maße und eine Ausschussquote für das Schlussmaß (z.B. Normalverteilt und 0,3%):

$$T_0 = 2{,}968 \cdot \sqrt{(0{,}333 \cdot 0{,}1)^2 + (0{,}333 \cdot 0{,}1)^2 + (0{,}333 \cdot 0{,}2)^2} = 0{,}2421$$



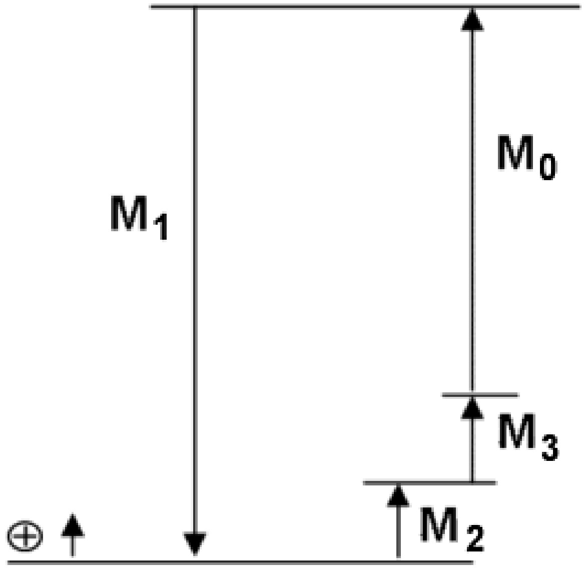
Das bedeutet im Beispiel:

Bei gleichen Fertigungsgenauigkeiten kann man von einer reduzierten Schlussmaß-Toleranz ausgehen.

Es wird mit 99,7% Wahrscheinlichkeit ein Schlussmaß innerhalb der Grenzen 8,95 ± 0,12602 eingehalten.

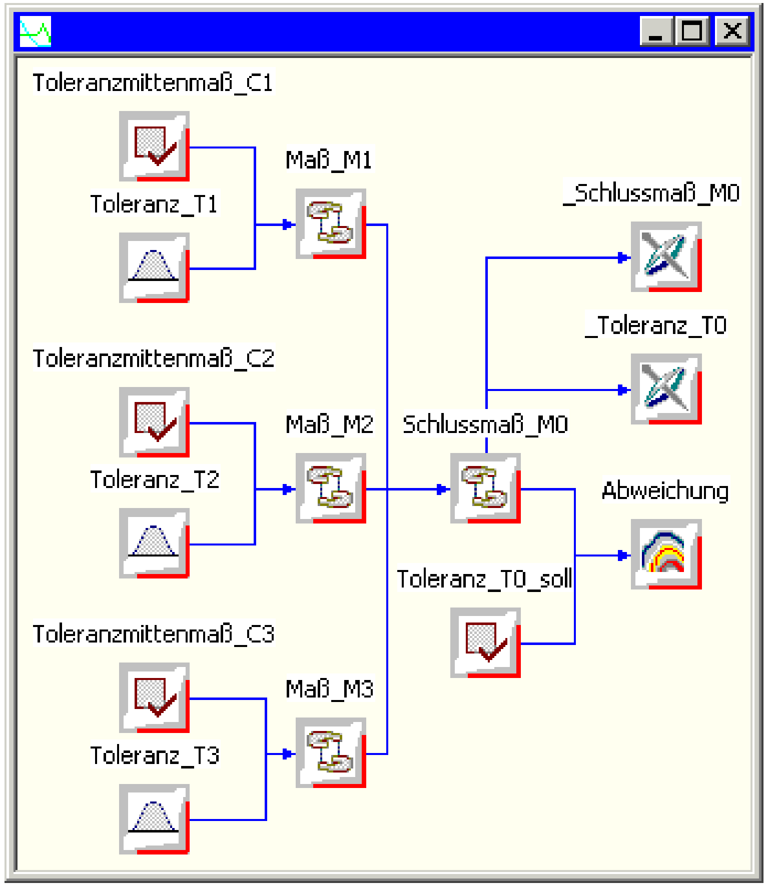
Probabilistische Simulation: $T_0 = 6 \bullet \sigma = 0{,}245$

Optimierung: Toleranz-Maximierung und Kosten-Minimierung



Eigenschaft

Streuung Daten	
Name	Toleranz_T1
Einheit	mm
Kommentar	+/- 0.5*Toleranz um C1
Werte	
Toleranz	0.2
Verteilung	Normalverteilung
Typ	Variable
Startschrittweite	0.0002
Untergrenze	0.05
Obergrenze	0.4
Genauigkeit	0
Kostenfaktor	1
Istwert	0

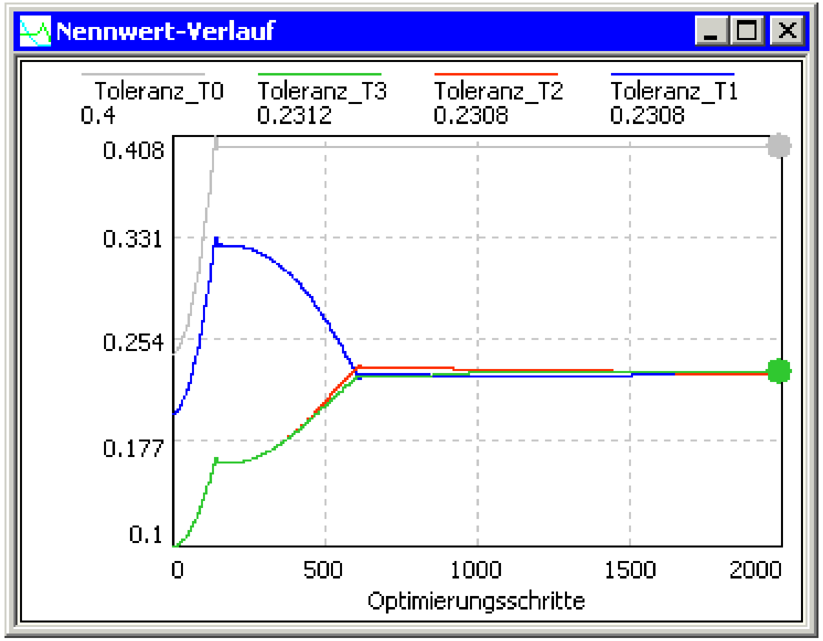


gegeben und gesucht:

- $M_0=M_1-M_2-M_3$
- $C_0=8,75$ mit $T_0=0,4$ **!**
- $C_1=11,70$ mit $T_1=0,05 \ldots T_0$ **?**
- $C_2= 1,25$ mit $T_2=0,05 \ldots T_0$ **?**
- $C_3= 1,50$ mit $T_3=0,05 \ldots T_0$ **?**

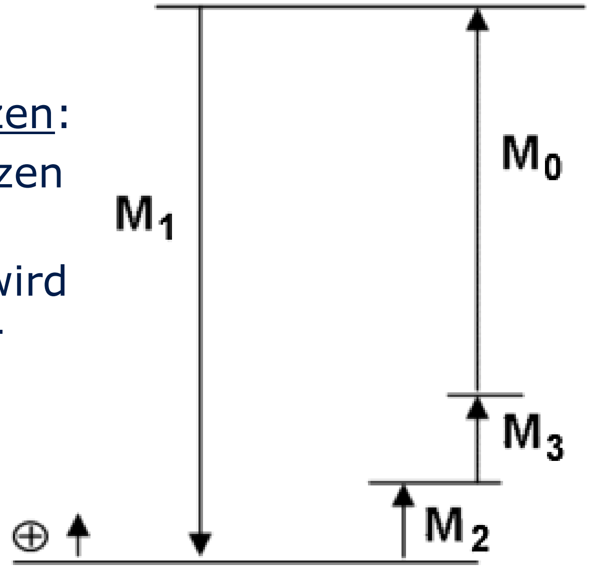
(C_i= Toleranzmittenmaß / E_{ci}= Toleranzmittenabmaß / T_i=Toleranz)

Optimierung: Wichtung der Toleranz-Kosten



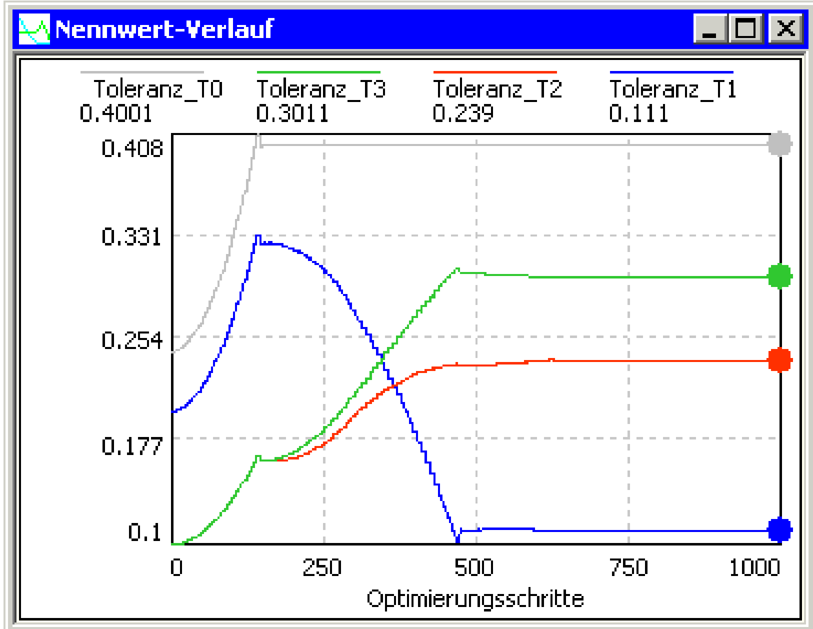
1.) Gleichwertige Toleranzen:

- alle gesuchten Toleranzen mit Kostenfaktor=1
- Schlussmaß-Toleranz wird gleichmäßig auf Einzel-Toleranzen verteilt



2.) Gewichtete Toleranzen:

- Je nach Realisierungsaufwand unterschiedliche Kostenfaktoren K_i (Beispiel K_1=1, K_2=10, K_3=20)
- Schlussmaß-Toleranz wird so auf Einzel-Toleranzen verteilt, dass die Summe der Toleranzkosten ein Minimum erreicht.

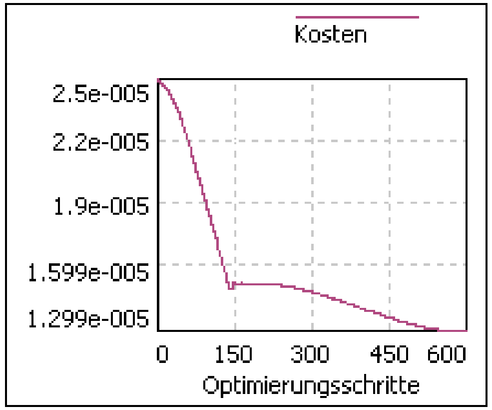


Zusammenfassung (Maß-Toleranzen)

Die Festlegung optimaler Maß-Toleranzen erfolgt nach mehreren, sich teilweise widersprechenden Kriterien:

1. Erfüllung der Funktion laut Anforderungsliste im Rahmen aller zulässigen Streuungen.
2. Montierbarkeit der Teile und Baugruppen innerhalb der spezifizierten Fertigungsstreuungen.
3. Minimale Fertigungskosten durch grobe Tolerierung und/oder günstige Fertigungsverfahren.

Im Beispiel wurde gezeigt, dass man bereits durch die Analyse und Optimierung von Maßketten die Fertigungskosten durch eine gröbere Tolerierung senken kann.



Die probabilistische Simulation bietet dabei Möglichkeiten, welche weit über die klassischen Methoden der analytischen Berechnung von Maßketten hinausgehen. So können damit auch problemlos nichtlineare und verschränkte Maßketten behandelt werden.