

# Automatisierter Designprozess für Membrangeometrien

## Diplomand



Ivo Lenherr

**Einleitung:** Kantengeschweisste Metall-Membranbälge sind Hochleistungsbauteile, welche in Vakuumsystemen als flexible Dichtungselemente oder schwingungsausgleichende Verbindungen eingesetzt werden. Die zunehmende Komplexität der Prozesse in der Halbleiter- und Vakuumindustrie haben in den letzten Jahren die Anforderungen an Metall-Membranbälge hinsichtlich chemischer Beständigkeit sowie mechanischer Festigkeit stetig erhöht. Da Metall-Membranbälge im Betrieb zyklischen Beanspruchungen ausgesetzt sind, müssen sie zudem strenge Vorgaben hinsichtlich der Lebensdauer erfüllen. Bislang erfolgt die Auslegung und Optimierung der Geometrie von kantengeschweissten Metallmembranbälgen auf Basis von FE-Simulationen weitestgehend manuell. Die stetig steigenden Anforderungen führen zu einem Optimierungsproblem mit mehreren, sich teilweise widersprechenden Zielen. Aufgrund der komplexen, unbekanntem Zusammenhänge zwischen den Geometrieparametern und den Optimierungszielen stößt die manuelle Auslegung zunehmend an ihre Grenzen. Insbesondere kann aufgrund der komplexen Zusammenhänge mittels manueller Auslegung das optimale Design der Membrangeometrie oft nicht gefunden werden.

Ziel dieser Masterarbeit war es, ein Optimierungsprozess auf Basis von Ersatzmodellen (Surrogatmodellen) aufzubauen, mit welchem die optimale Membrangeometrie unter Berücksichtigung aller Einfluss bzw. Zielgrößen automatisch ermittelt werden kann.

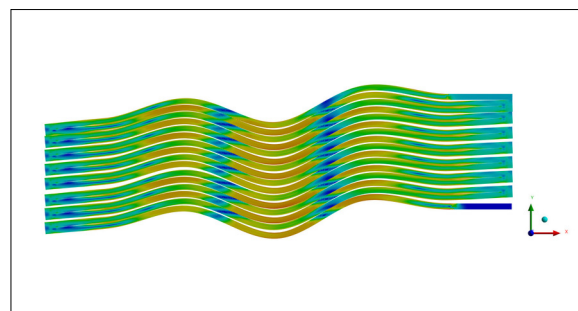
**Vorgehen:** Der von den Geometrieparametern aufgespannte Designraum wurde mittels eines Latin-Hypercube-Stichprobenplans raumfüllend abgetastet. Die ausgewählten Designs wurden anschliessend mittels FE-Simulation analysiert und der Erfüllungsgrad der unterschiedliche Ziele über eine Zielfunktion bewertet. Auf Basis der Stichprobendaten wurde mit dem Kriging-Verfahren ein Ersatzmodell aufgebaut, welches den Zusammenhang zwischen den Geometrieparametern und dem Erfüllungsgrad der Ziele modelliert. Basierend auf diesem Ersatzmodell wurden zwei Ansätze für die Geometrieoptimierung untersucht. Beim ersten Ansatz wurde ein statisches Ersatzmodell erstellt und basierend darauf jener Parametersatz ermittelt, für welchen der Erfüllungsgrad der Zielfunktion maximal wird. Beim zweiten Ansatz wurde ein adaptives Ersatzmodell (Bayes'sche Optimierung) verwendet, um den optimalen Parameter zu finden. Hierbei wurde zunächst ein auf wenigen Stichproben basierendes Ersatzmodell erstellt. Im Anschluss wurde dieses Ersatzmodell schrittweise durch weitere Stichproben in Bereichen mit hohem Verbesserungspotential (Expected Improvement) ergänzt. Das Modell wurde so lange verfeinert, bis das Potenzial für Verbesserungen ausgeschöpft war.

**Ergebnis:** Die beiden Optimierungsansätze wurden zunächst an einem Biegebalken erprobt. Nach erfolgreicher Validierung wurden sie für die Optimierung der Balggeometrie eingesetzt. Die Ergebnisse belegen die Leistungsfähigkeit der Optimierung mit adaptivem Ersatzmodell. So konnte mit diesem Ansatz ein Balgdesign gefunden werden, welches die an den Metall-Membranbalg gestellten Anforderungen um ein vielfaches besser erfüllt als das mit manueller Optimierung gefundene Design. Darüber hinaus funktioniert die Optimierung mit adaptivem Ersatzmodell vollautomatisch und benötigt nur eine überschaubare Anzahl von FE-Simulationen, um die optimalen Geometrieparameter zu finden.

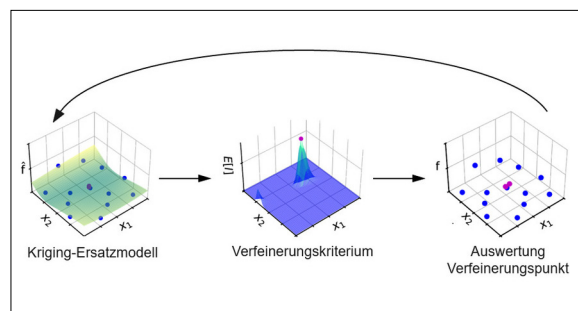
## Kantengeschweisste Metall-Membranbälge VAT Vakuumventile AG



## FE-Modell zur Beurteilung der Balgdesigns Eigene Darstellung



## Ablauf Optimierung mit adaptivem Ersatzmodell Eigene Darstellung



**Referent**  
Prof. Dr. Hans Fritz

**Korreferent**  
Dr. Marco Lüchinger

**Themengebiet**  
Mechanical  
Engineering

**Projektpartner**  
VAT Vakuumventile  
AG, Haag, SG