

# Space-Mapping für die Optimierung in der Innenraumakustik

Gesche Fender<sup>1</sup>, Fabian Duddeck<sup>1</sup>, Steffen Marburg<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technische Universität München

<sup>2</sup> Universität der Bundeswehr München

E-Mail: gesche.fender@tum.de

## Einleitung

Steigende Rechenleistung ermöglicht, immer komplexere Modelle zu optimieren, z.B. Finite-Elemente- (FE) Modelle. Die Rechenzeit stellt hierbei weiterhin einen stark begrenzenden Faktor dar. Um trotzdem die Genauigkeit eines komplexen FE-Modells in einer aufwendigen Optimierung nutzen zu können, werden Verfahren der Multi-Fidelity-Optimization (hier speziell das Space-Mapping) genutzt. Dabei wird ein vereinfachtes Ersatzmodell (Grobmodell) hinzugezogen, um die Anzahl der Evaluierungen des komplexen Modells (Feinmodell) zu reduzieren.

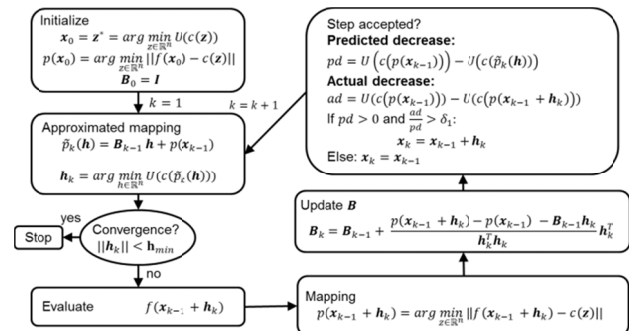
In dieser Arbeit wird die Space-Mapping-Methode dazu eingesetzt, den mittleren Schalldruck in einem Kontrollvolumen im Innenraum zu minimieren. Das Feinmodell bildet dabei die voll gekoppelte FE-Simulation des mit Luft gefüllten Innenraums und der umliegenden Wände. Als Grobmodell dient eine Antwortfläche, welche anhand einer Stichprobe des Feinmodells erstellt wird. Validiert wird der Ansatz mittels eines Beispiels der optimalen Positionierung einer Versteifungs-Platte auf einer der Wände.

## Input- und Output-Space-Mapping

Die Space-Mapping-Methode wurde von Bandler 1994 im Rahmen der elektromagnetischen Optimierung eingeführt, seither wurden verschiedene Varianten, z.B. das *aggressive Space-Mapping* und das *implizite Space-Mapping* entwickelt [1]. Im Folgenden werden die hier verwendeten Input- und Output-Space-Mapping-Methoden kurz erläutert, für detailliertere Erklärungen wird auf [1,2] verwiesen.

### Input-Space-Mapping

Im Input-Space-Mapping wird ein grobes Modell iterativ in der Nähe des Optimums an das feine Modell angepasst, in dem die Eingangsgrößen linear aufeinander abgebildet werden. Der Algorithmus ist in Abb. 1 dargestellt. Hierbei wird in jeder Iteration die Optimierungsaufgabe gelöst, das Mapping  $p(x)$  zu finden, welches den Unterschied zwischen der Antwort des Grobmodells  $c(p(x))$  und des Feinmodells  $f(x)$  an der Stelle  $x$  minimiert. Mit Hilfe dieses Mappings und des groben Modells wird dann das Optimum des Feinmodells prädictiert, und an der prädictierten Stelle eine einzelne Evaluation des Feinmodells durchgeführt. Genügt der gefundene Wert nicht dem Konvergenzkriterium, so wird das Mapping  $p(x)$  mittels der Information aus der Feinmodellevaluierung für den nächsten Schritt angepasst.



**Abbildung 1:** Ablauf des Input-Space-Mappings zwischen Grobmodell  $c(z)$  und Feinmodell  $f(x)$  mit dem Mapping  $p(x)$ . Hierbei ist  $h_k = x_k - x_{k-1}$ , und  $B_k$  der Gradient des approximierten Mappings.

### Output-Space-Mapping

Im Output-Space-Mapping wird im Gegensatz zum Input-Space-Mapping das Mapping auf die Antwort des Grobmodells angewandt, es wird also ein  $O(c(z))$  gesucht, welches der Feinmodellantwort  $f(x)$  möglichst gut entspricht [3]. Es sind verschiedene Formulierungen für  $O(c(z))$  möglich, hier wurde die Form

$$O(c(z)) = c(z)(az + b) \quad (1)$$

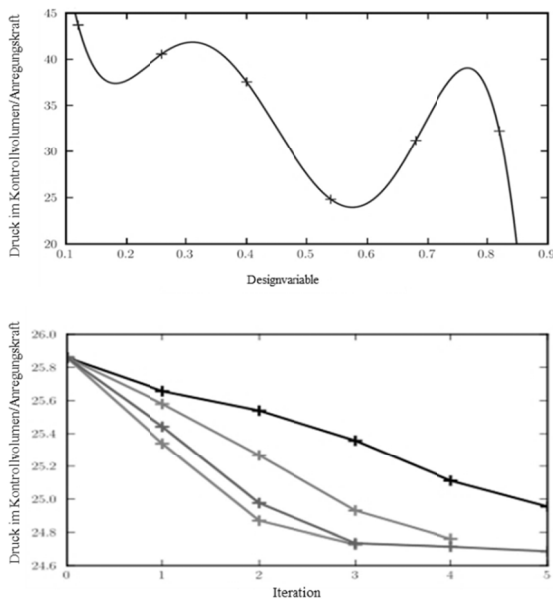
gewählt, wobei die lineare Funktion  $(az + b)$  mit Hilfe einer Stichprobe des Feinmodells angenähert wird.

## Fein- und Grobmodell für die Innenraumakustik

Für die Validierung der Optimierungsmethodik wird ein mit Luft gefüllter, rechteckiger Raum betrachtet, der an der Frontseite harmonisch angeregt wird. Optimierte wird die Position einer zusätzlichen Platte entlang einer Linie, so dass sich ein eindimensionaler Designraum ergibt.

### Feinmodell mit Fluid-Strukturmodell

Als Gütemaß für die Innenraumakustik wird der mittlere Schalldruck in einem Kontrollvolumen gewählt, welcher minimiert werden soll. Er wird in einer FE-Analyse ermittelt, die sowohl die Struktur als auch das Fluid und die Kopplung zwischen beiden betrachtet. Durchgeführt wurden die Simulationen mit der kommerziellen FE-Software Ansys. Da diese Simulation aufwendig ist, wird sie als Feinmodell betrachtet, das durch ein grobes Modell für die Optimierung angenähert werden soll.



**Abbildung 2:** Optimierung bei einer Anregung von 100 Hz, Response Surface als Grobmodell (oben) und Feinmodellantworten der anschließende Space-Mapping-Optimierung (unten).

### Grobmodelle

Hier werden zwei verschiedene Grobmodelle vorgestellt. Zum einen wird eine Antwortfläche (Response Surface, RS) des Feinmodells als Grobmodell verwendet. Dies bedeutet, dass eine Stichprobe des Gütemaßes ermittelt wird, mittels der die Antwort im gesamten Designraum über Polynomansätze und Kriging-Modelle approximiert wird. Zum anderen wird die Äquivalente Abgestrahlte Schalleistung (Equivalent Radiated Power (ERP), [4]) als Grobmodell eingesetzt:

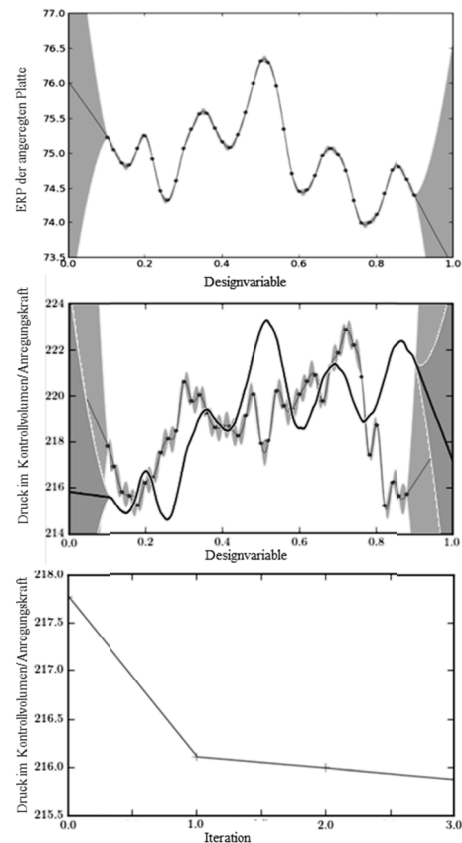
$$ERP(\omega) = Z_0 \omega^2 \int_s |u_n(\omega)|^2 ds \quad (2)$$

$Z_0$  ist die akustische Grundimpedanz,  $\omega$  die Kreisfrequenz,  $s$  die Fläche der abstrahlenden Platte und  $u_n$  die Verschiebung der Platte in Normalenrichtung. Der ERP misst die gesamte abgestrahlte Schalleistung der Struktur unter Annahme eines Abstrahlgrads von eins, Auslöschung, Verstärkung und Absorption werden vernachlässigt.

### Ergebnisse

Abb. 2 zeigt exemplarisch ein Optimierungsergebnis bei einer Anregung von 100 Hz. Als Grobmodell wurde eine Response Surface mit Polynomansatz gewählt (oberer Teil der Abb. 2). Im unteren Teil ist der Verlauf der Feinmodellantworten in der folgenden Input-Space-Mapping-Optimierung zu sehen. Die verschiedenen Verläufe ergeben sich durch die Wahl der Parameter einer Trustregion, die wie üblich in das Space-Mapping integriert wurde.

Abb. 3 zeigt ein Optimierungsergebnis basierend auf dem ERP-Modell. Zunächst wird mittels einer Stichprobe von vier Feinmodellantworten ein lineares Outputmapping durchgeführt. Anschließend kann für mehrere lokale Minima des Grobmodells parallel das Input-Space-Mapping verwendet werden, aus Platzgründen ist nur das Ergebnis für das Minimum bei 0,253 m gezeigt.



**Abbildung 3:** Optimierung bei einer Anregung von 250 Hz, ERP als Grobmodell (oben), output-gemapptes ERP (mitte) und anschließende Input-Space-Mapping-Optimierung (unten).

In beiden Fällen hat das Input-Space-Mapping nur leichte Verbesserungen erzeugt. Im ersten Fall waren die Response Surfaces im eindimensionalen Designraum bereits sehr gut, d.h. das Mapping aufs Feinmodell hat geringeren Einfluss. Bei höherdimensionalen Problemen sind größere Vorteile durch das Input-Space-Mapping zu erwarten. Im zweiten Fall sind die Unterschiede zwischen dem groben ERP-Modell und Feinmodell auch nach dem Output-Mapping noch zu groß, so dass das folgende Input-Mapping keine guten Ergebnisse liefert. Hier können andere Ansätze für das Output-Mapping die Methode verbessern.

### Literatur

- [1] Bandler JW, Cheng QS, Dakroury SA, Mohamed AS, Bakr MH, Madsen K, and Søndergaard J (2004): Space Mapping: The State of the Art. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 52(1):337–361.
- [2] Søndergaard J, Madsen K, and Nielsen HB (2003): Optimization using surrogate models by the Space Mapping technique. Phd thesis, Technical University of Denmark.
- [3] Bandler JW, Cheng QS, Gebre-Mariam DH, Madsen K, Pedersen F, and Søndergaard J (2003): EM-based surrogate modeling and design exploiting implicit, frequency and output space mappings. IEEE MTT-S IMS Digest, Philadelphia, USA, pp. 1003-1006.
- [4] Zeller P (2009), Handbuch Fahrzeugakustik, Vieweg + Teubner, Wiesbaden.