

Vorträge

Optimierung einer Ölwanne - Anwendung der Prozesskette ProE - ANSYS Workbench - optiSLang

Andreas Veiz & Johannes Will

"Optimierung einer Ölwanne" Anwendung der Prozesskette ProE - ANSYS Workbench - optiSLang

Weimar Optimization- and Stochastic Days 5.0

Andreas Veiz^{1*}, Johannes Will¹

¹ DYNARDO – Dynamic Software and Engineering GmbH, Weimar, Germany

Abstract

This lecture deals with the possibility to optimize an oilpan with the new method of a parametric optimization. A bidirectional interface for direct modification of CAD Parameters by the optimization tool optiSLang was used.

The analysis was done in ANSYS Workbench. A modal analysis was performed. This was to determine the first eigenfrequencies. Especially the first eigenfrequency has been critical in some cases and therefore it has to be increased.

By doing a sensitivity analysis as a first step, the important parameters for the optimization and possible design space could be determined.

The pan could be optimized in a significant way by performing a parametric design optimization using the Adaptive Response Surface Method algorithm.

After the optimization, a robustness analysis was done to check the robustness of the optimized design for small variations of the input parameters. As a result, the frequencies have been robust against these small variations, so the design can be regarded as optimized and robust.

Finally this optimized design was tested in practical examinations. The design improvements were also significant in these examinations.

Keywords: Optimization, Stochastic

* Contact: Dipl.-Ing. (FH) Andreas Veiz, DYNARDO – Dynamic Software and Engineering GmbH, Luthergasse 1d, D-99423 Weimar, E-Mail: andreas.veiz@dynardo.de

1 Einführung

In der virtuellen Produktentwicklung werden zunehmend CAE-basierte Optimierungsmethoden zur Optimierung von Produkteigenschaften verwendet. Dabei werden in der Motorenentwicklung heute Methoden der Topologieoptimierung oder Sickenoptimierung häufig zur Gewichtsreduktion oder Steifigkeitserhöhung von Bauteilen genutzt. Da zur Beschreibung des Designraumes hierbei programminterne Parametrisierungen verwendet werden, und die Anwender die Parametrik des Designraumes nicht explizit definieren, werden diese Optimierungsmethoden auch als „parameterfreie“ Optimierung bezeichnet. Auf Grund dieser speziellen Parametrik müssen die Optimierungsergebnisse der Topologie- oder Sickenoptimierung nachträglich in eine fertigungsgerechte CAD-Geometrie überführt werden.

Am Beispiel einer Ölwanne sollte das Potential einer weiteren Verbesserung des Schwingungsverhaltens durch Anwendung **parametrischer Optimierung**, bei der die CAD-Parametrik zur Definition des Designraumes verwendet wird, untersucht werden. Durch die Verwendung von CAD-Parametern zur Optimierung, entfällt der Zwischenschritt der Überführung „optimierter“ Designvorschläge in CAD, und es können darüber hinaus Robustheitsbewertungen optimierter Designs gegenüber Fertigungstoleranzen oder Materialstreuungen durchgeführt werden.

Die hier betrachtete Ölwanne sollte, um Resonanzen aufgrund externer Anregungen zu vermeiden, in ihrem modalen Verhalten optimiert werden. Voruntersuchungen mittels herkömmlicher Sickenoptimierung zeigten ein Potential zur Verbesserung, aber Umsetzungen der Vorschläge in Hardware konnten die gewünschte Designverbesserung nicht bestätigen. Es stand die Vermutung im Raum, dass eine mögliche Sensitivität des Bauteilverhaltens gegenüber kleinen Abweichungen der Geometrie die erfolgreiche Umsetzung des Designvorschlags der Sickenoptimierung verhinderte.

Ausgangspunkt der parametrischen Optimierung war der vorhandene Konstruktionsstand in Pro/E. Nach Sichtung der vorhandenen CAD-Parametrik wurde schnell klar, dass Arbeitsaufwand notwendig sein wird, die CAD-Parametrik so fit zu machen, dass Designänderungen einer parametrischen Optimierung generiert werden können.

Mittels eines Sickenkonstruktionstool in Pro/E wurde folglich ein parametrisierbarer Sickenentwurf erstellt. Das Optimierungswerkzeug sollte direkt auf die CAD-Parametrik durchgreifen. Für die automatische Prozesskette der Generierung eines neuen Geometrieentwurfes, der automatischen Vernetzung und der Berechnung einer Modalanalyse wurde das CAE Programm ANSYS Workbench verwendet. Die Prozesskette Pro/E-ANSYS wurde mittels der Schnittstelle optiPlug an das Optimierungswerkzeug optiSLang angeschlossen. optiSLang erstellte in der Folge neue Designs für Sensitivitätsstudien, Optimierungen und Robustheitsbewertungen, die mit der automatisierten Prozesskette optiSLang-ANSYS Workbench-ProE bewertet wurden.

2 Ausgangssituation

Ziel dieser Optimierung war eine Verbesserung des akustischen Verhaltens der Ölwanne unter Beibehaltung des Gewichtes.

Insbesondere sollte eine Anregung durch ein Nebenaggregat deutlich gedämpft werden. Diese Anregungen zeigten sich im Bereich der ersten Eigenfrequenz beim Durchlaufen eines bestimmten Drehzahlbereichs.

Die dafür notwendigen Versteifungen waren durch, in die Wanne eingearbeitete, Sicken zu realisieren. Diese waren in CAD parametrisch so aufzubauen, dass Sie für eine Design-Optimierung mit optiSLang verwendet werden können. Zum Abschluss war die Robustheit des Schlussentwurfes gegenüber Fertigungstoleranzen und Materialwertstreuungen nachzuweisen.

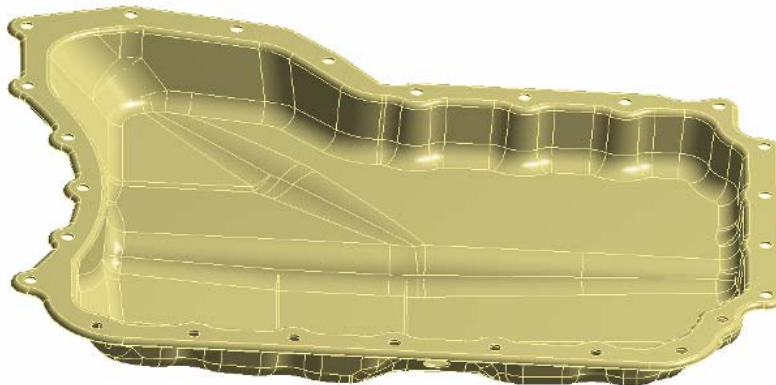


Figure 1: Ausgangssituation unversickte Ölwanne

3 Versteifung der Ölwanne durch parametrische Sicken

3.1 Einbringen von flachen Sicken mit dem Pro/E

Im ersten Versuch wurden recht flache Sicken mittels des Pro/E Sickentools eingebracht. Diese sind in einer späteren Serienfertigung am einfachsten zu realisieren. Form und Lage des Sickenmusters wurden der zuvor durchgeführten Topologie-Sickenoptimierung angelehnt (Abb. 2 und 3). Jedoch konnte mit den flachen Sicken noch keine signifikante Erhöhung der Eigenfrequenzen erreicht werden. Auch das großzügige Variieren der Geometrie dieser Sicken erbrachte nicht den gewünschten Erfolg. Somit zeigte das Einbringen von Sicken unter Verwendung des Pro/E Sickentools in die Ölwanne noch keine gewünschte Wirkung. Ein ausreichender Kraftfluss der Verformung in das Auflager konnte hier noch nicht realisiert werden.

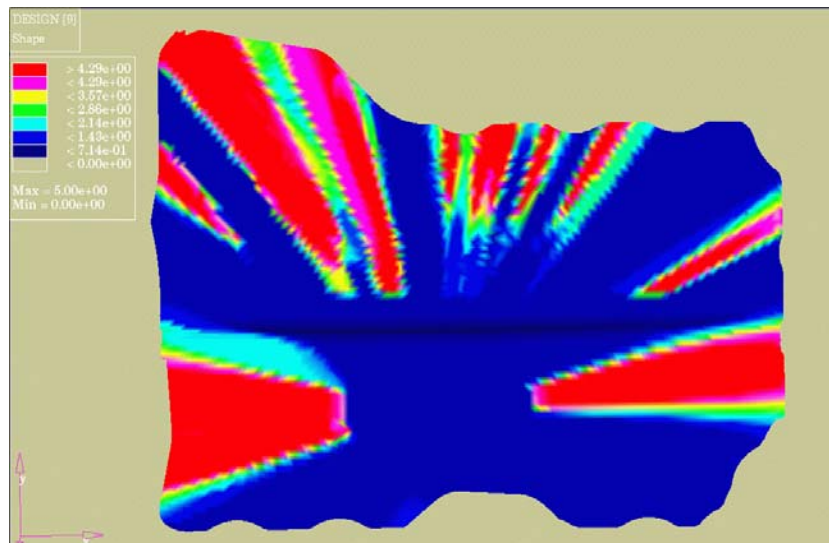


Figure 2: Durch Topologieoptimierung ermittelte Sickengeometrie

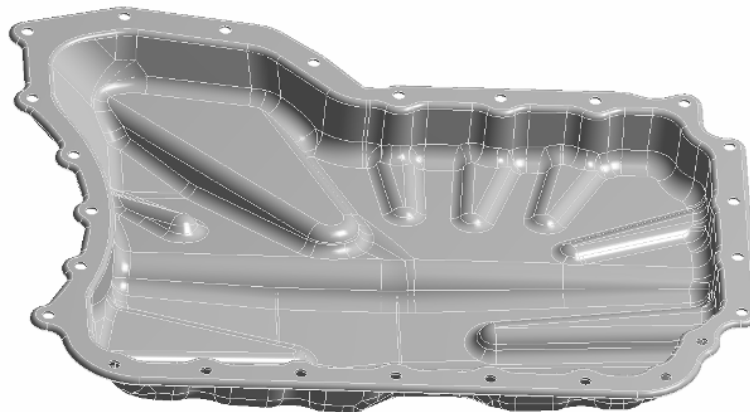


Figure 3: Parametrische Sicken-topologie der flachen Sicken

3.2 Realisieren von tief eingebrachten Sicken in die Ölwanne

Durch Prinzipstudien, in welchen die Sicken als Rippenstruktur ausgeführt wurden, gelang es ein Grundmuster an tief in an das Auflager reichenden Sicken im CAD System zu realisieren, das bezüglich der Verbesserung der Ölwanne ein deutlich größeres Potential zeigte.

Die tieferen Sicken ermöglichten einen guten Kraftfluss in das Auflager. Die Steifigkeit der Ölwanne konnte nun stark erhöht werden. Dies spiegelte sich auch in den Eigenfrequenzen wieder, die um etwa 50% anstiegen.

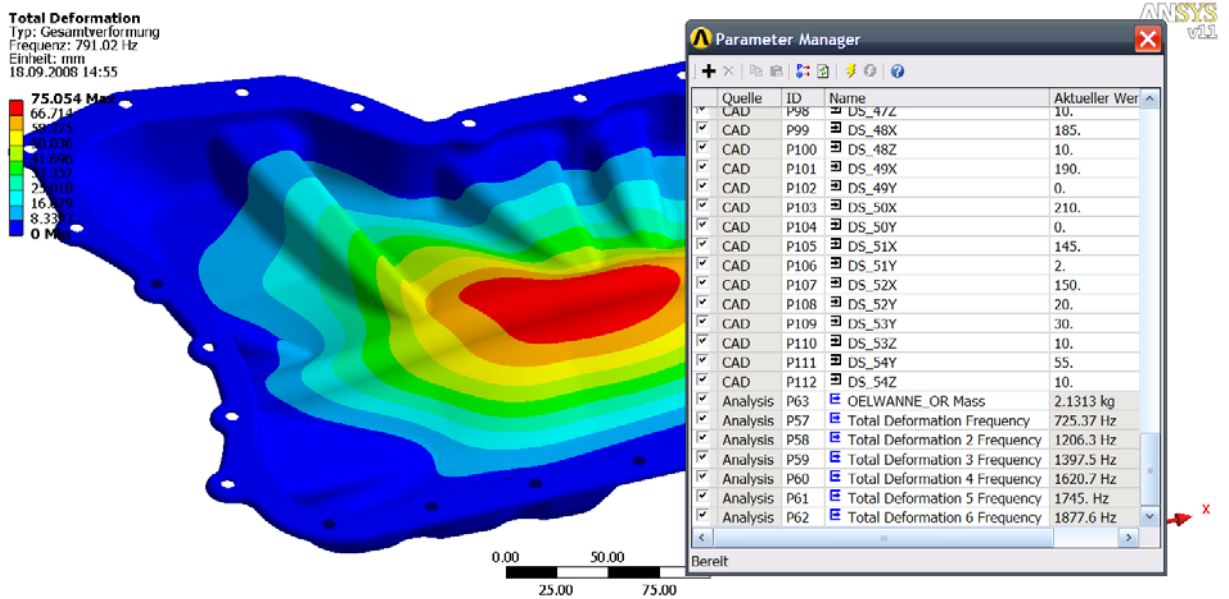


Figure 4: Parametrik in ANSYS Workbench

Nachdem die Sicken im CAD parametrisch aufgebaut worden waren, war es mit der Variation der Parameter durch optiSLang möglich, die Optimierung und Robustheitsbewertung durchzuführen.

Mittels einer Sensitivitätsstudie wurde das Optimierungspotential untersucht. Der Designraum wurde durch ein Latin Hypercube Sampling abgescannt. Neben der Variation der Zielgrößen (dem Optimierungspotential) wurden mittels Korrelationsanalyse die wichtigen Designparameter bestimmt. Die Wichtigkeit der Variablen wurde dabei unter Verwendung von Bestimmtheitsmaßen (Coefficient of Determination) quantifiziert (Fig. 5).

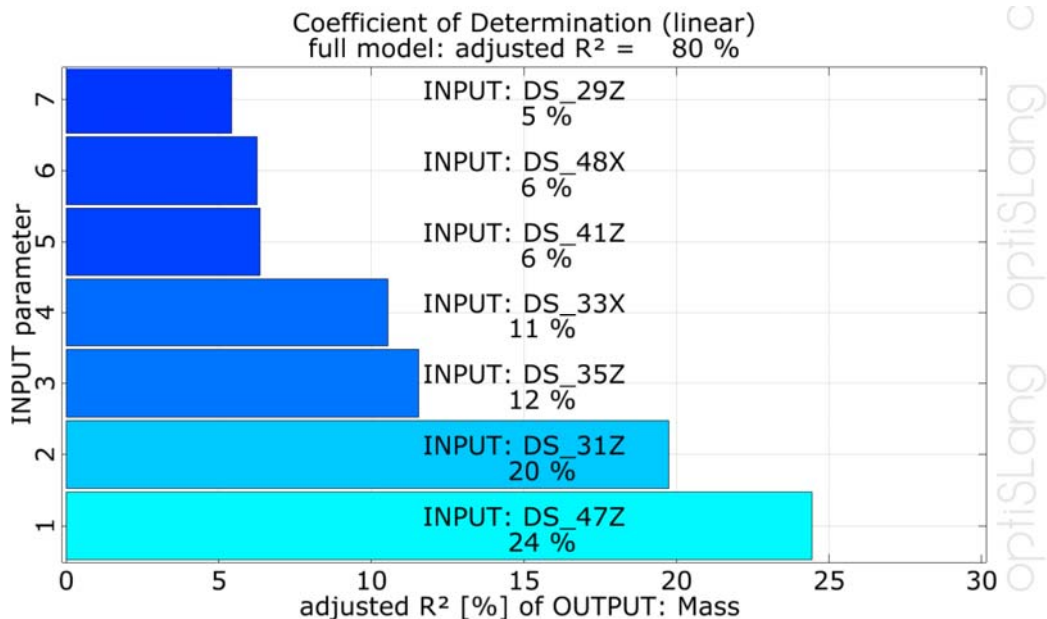


Figure 5: Coefficient of Determination der ersten Eigenfrequenz

Damit ließen sich unwichtige Parameter herausfiltern, die in der anschließenden Optimierung nicht mehr betrachtet werden mussten. Der Design-Raum dieser Ölwanne wurde von anfangs **35** auf **13** reduziert. Dadurch ließ sich ein effektives Optimierungsverfahren mittels adaptiven Antwortflächen anwenden, welches in diesem reduzierten Designraum mit relativ wenig erforderlichen Designs sicher eine optimale Konfiguration (Fig. 4 und 5) ermittelte.

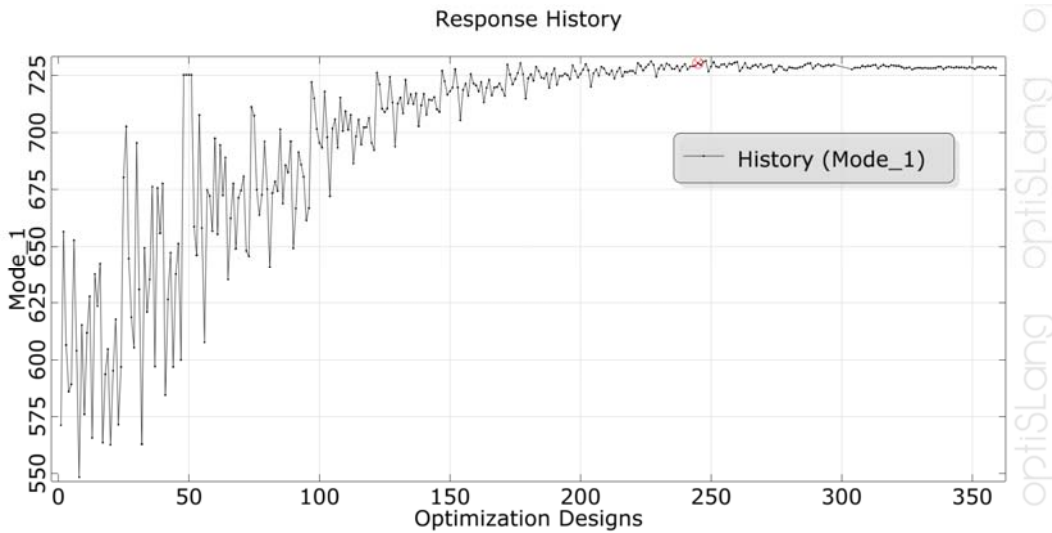


Figure 6: Verlauf der Optimierung für die erste Eigenfrequenz

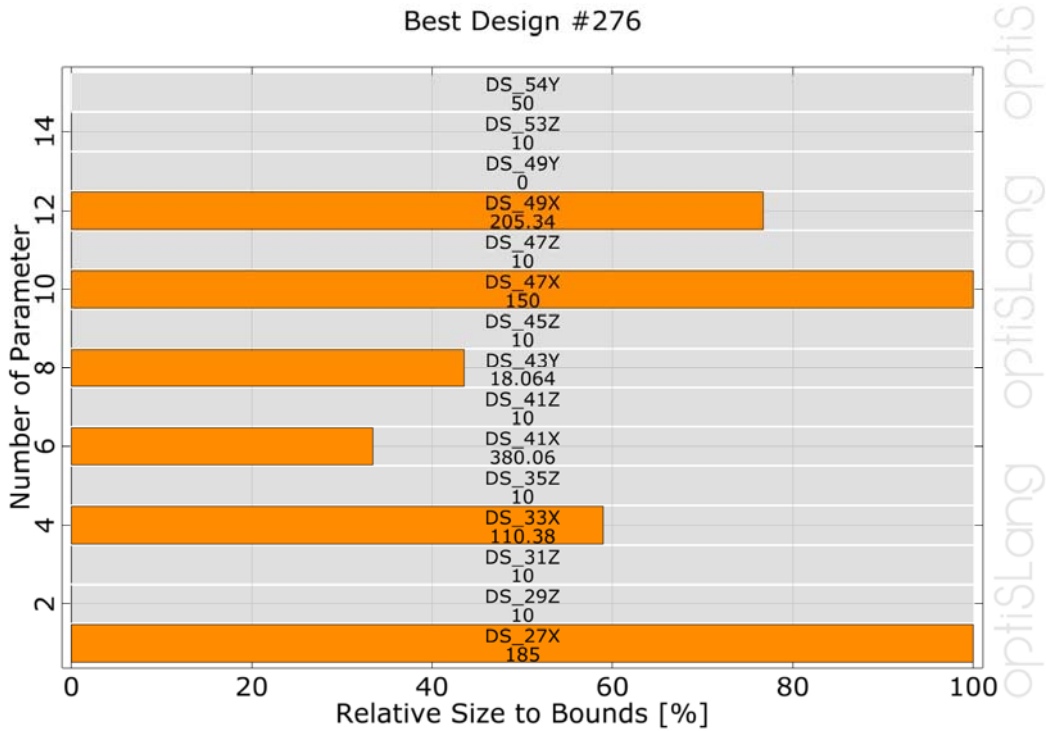


Figure 7: Geometrieparameter Best Design

3.3 Zwischenfazit

Durch Einbringen von tief in den Rand hineingezogenen Sicken ließ sich die Ölwanne schon im Grundentwurf sehr gut versteifen. Der Kraftfluss in das Auflager wurde damit optimal realisiert. Die Eigenfrequenzen wurden signifikant angehoben. Durch eine parametrische Designoptimierung mit optiSLang konnte ein Sickenmuster ermittelt werden, welches das Schwingverhalten deutlich verbessern konnte.

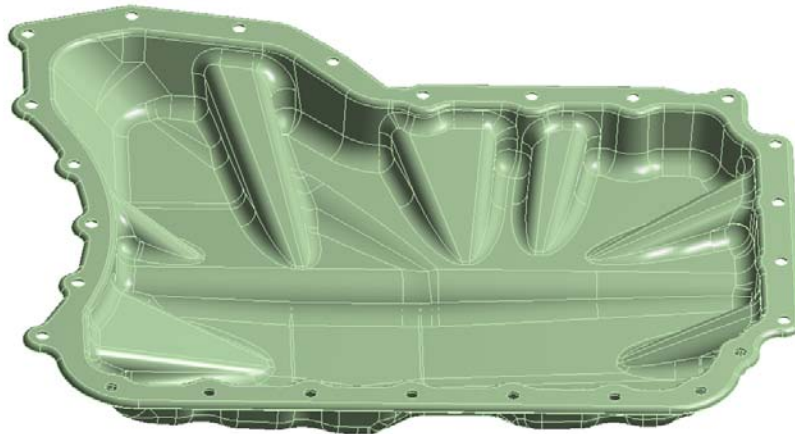


Figure 8: Durch ARSM optimiertes Sickenmuster

4 Robustheitsanalyse

In einem folgenden Schritt wurde die Robustheit des optimierten Sickenmuster gegenüber Fertigungstoleranzen und Materialstreuungen untersucht. Es sollte nachgewiesen werden, dass die Verbesserung des Designentwurfes, unter stochastischer Variation der in Natura zu erwartenden Streuungen, stabil ist. Die stochastischen Streuungen wurden ebenfalls mit dem Latin-Hypercube-Sampling Verfahren generiert. Somit ließ sich die erforderliche Rechenzeit auf ein akzeptables Maß reduzieren.

Gestreut wurden Materialkennwerte und Geometrieparameter gleichermaßen. Der Variationsbereich der Geometrieparameter war in diesem Falle $\pm 1\text{mm}$. Die Materialkennwerte E-Modul, Querdehnzahl und Dichte streuten gemäß Erfahrungswerten aus Prüfungen des Materialeingangs. Es wurden normalverteilte Streuungen der Parameter angesetzt.

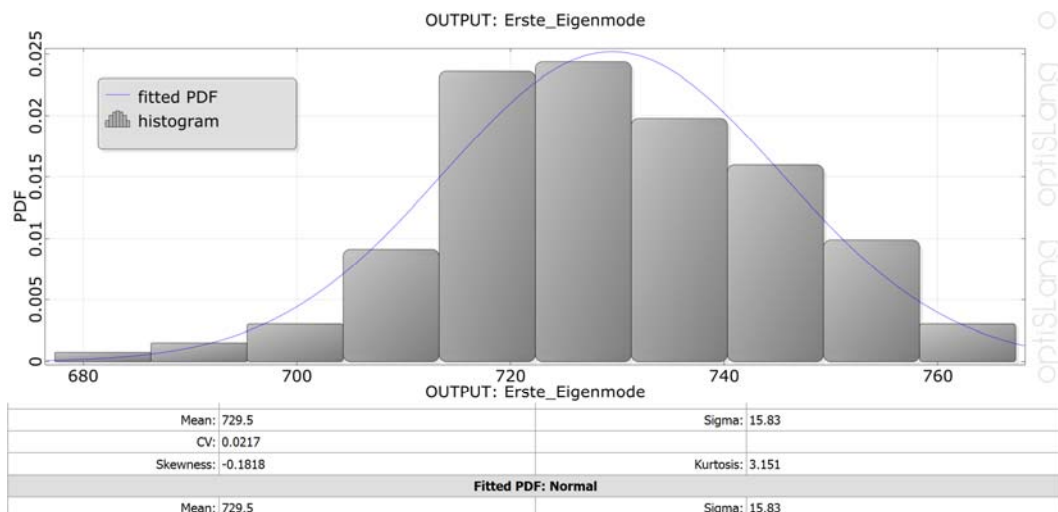


Figure 9: Verteilungsfunktion der ersten Eigenmode in der Robustheitsanalyse

Die erste Eigenmode variiert um 2,2% um den Mittelwert innerhalb der 5% Quantilen. Die 5% Quantilen markieren hier etwa den 2σ -Bereich. Damit lag die Schwankung unterhalb der Herstellervorgabe von 3%. Das Design war somit als robust hinsichtlich der Eingangsstreuungen anzusehen.

5 Zusammenfassung

Durch eine parametrische Designoptimierung konnte eine wesentliche Verbesserung des Eigenschwingverhaltens der Ölwanne erreicht werden.

Das optimierte Design wurde zusätzlich auf Robustheit hinsichtlich kleiner Eingangsstreuungen überprüft. Die Studie ergab eine Robustheit innerhalb der geforderten Grenzwerte. **Die erzielten Verbesserungen waren so signifikant, dass die Ölwanne im realen Fahrzeug umgesetzt wurde.**

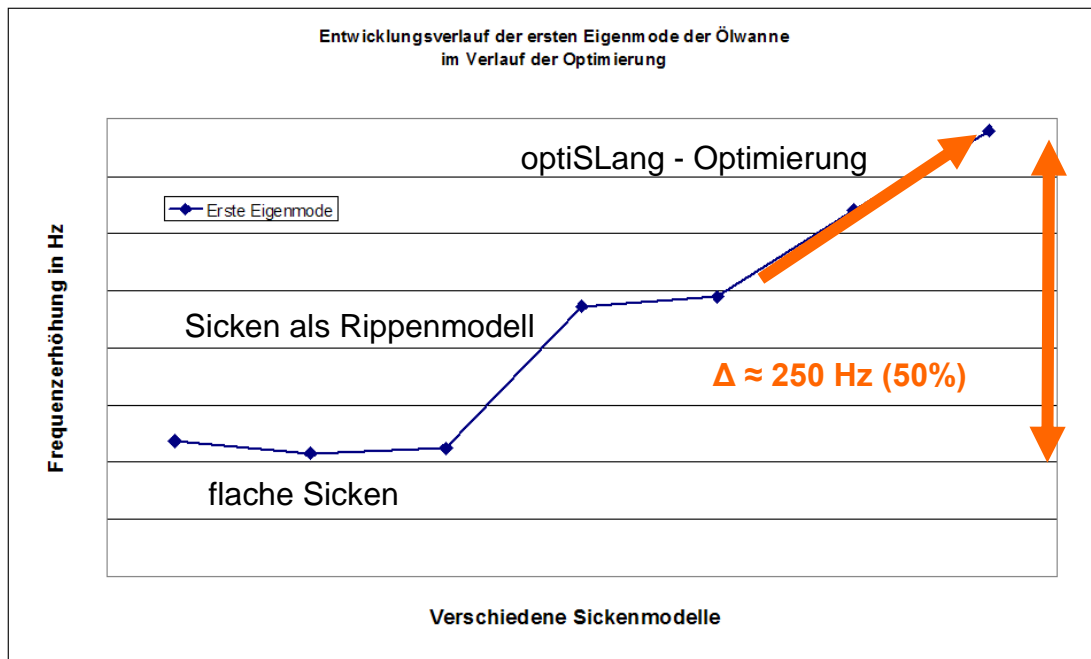


Figure 10: Verlauf der Optimierung für die erste Eigenfrequenz

6 Praktische Umsetzung und Versuch

Aufgrund von fertigungstechnischen Einschränkungen war es nicht unmittelbar möglich, das Sickenbild in seiner angedachten Form umzusetzen. Die Blechstärken des Tiefziehteiles würden dadurch zu dünn werden, bei diesen tief eingepprägten Sicken.

Stattdessen wurden die Sicken durch ein Rippenmuster gleicher Grundform und Lage ersetzt.

Der positive Effekt auf die Eigenfrequenzen konnte im Versuch bestätigt werden:

„Aus den bisherigen Messungen lässt sich ein positiver Einfluss einer verrippten Ölwanne auf die Motorakustik erkennen. ... Dieser positive Einfluss zeigt sich noch deutlicher in der subjektiven Bewertung.“

„Der abgestrahlte Luftschallpegel lag nunmehr unter denen der Messung einer Serienwanne.“

„Sie neigt im relevanten Drehzahlbereich ... weniger zur Schwingung ... als die Serienwanne.“

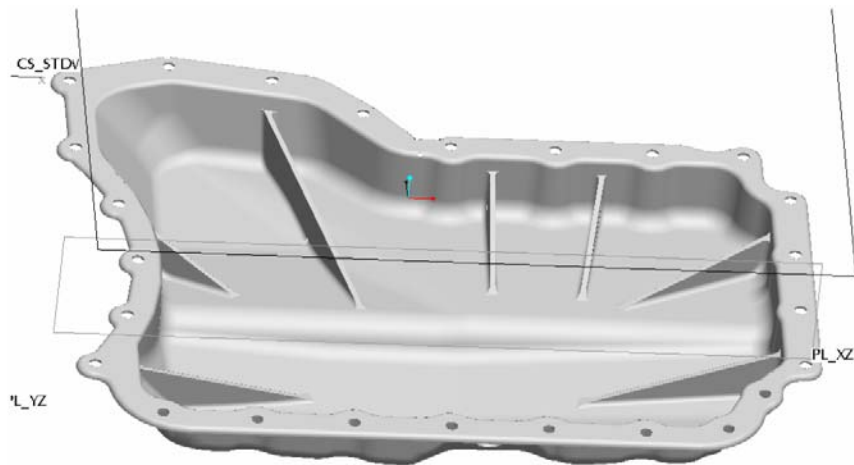


Figure 11: Ölwannendesign im praktischen Versuch

7. Fazit

Durch parametrische Optimierung wurde das Geräuschverhalten signifikant verbessert.

Am Anwendungsbeispiel konnte das Potential der Verwendung parametrischer CAD/CAE Modelle für die Optimierung und Robustheitsbewertungen aufgezeigt werden. Es konnten CAD-Konstruktionsparameter unmittelbar optimiert und die Robustheit des optimierten Designentwurfes überprüft werden.

Die Voruntersuchung mittels Sickenoptimierung war hilfreich, um die Topologie eines optimalen Sickenentwurfes festzulegen. Der notwendige Zwischenschritt zeigt deutlich den großen Einfluss der initial gewählten Parametrik. Der erste Parameterraum war nicht in der Lage, die gewünschte Verbesserung zu generieren. Dies konnte jedoch schnell durch eine Sensitivitätsstudie ermittelt werden. Mittels Prinzipstudien wurde die Notwendigkeit tiefer eingepprägter Sicken erarbeitet, und der Parameterraum daraufhin erweitert. Im neuen Parameterraum waren Optimierung und Robustheitsbewertung mit der automatischen Prozesskette ohne Probleme durchzuführen.

Hieraus lässt sich für die weitere Verwendung der Methoden ableiten, mittels klassischer Sickenoptimierung zuerst die Topologie festzulegen und dann, bei einem noch genauer zu definierenden Reifegrad der CAD-Modelle, das Design mit Hilfe parametrischer Designoptimierung und Robustheitsbewertung weiterzuentwickeln.