

Finite Elemente Design als Konstruktionsmethode für lärmarme Produkte

Daniel Thoden¹, Armin Lohrengel¹, Konrad Stahr¹

¹Fritz-Süchting-Institut für Maschinenwesen, 38678 Clausthal-Zellerfeld, E-Mail: lohrengel@imw.tu-clausthal.de

Einleitung

Ein guter Weg in der Produktentwicklung ist die konstruktionsmethodische Vorgehensweise, wie sie in VDI 2221 [1] beschrieben wird. In ihr wird die Aufgabe zunächst analysiert, Lösungskonzepte werden entwickelt und ausgewählt, zielführende Konzepte in Entwürfen konkretisiert und der beste Entwurf schließlich zu einem herstellbaren Bauteil oder System ausgearbeitet.

Grundlage für die Aufgabenanalyse ist eine Sammlung von Anforderungen, die durch den Kunden, Anbieter oder anhand von Normen und anderen Vorschriften definiert werden können. Hierzu gelten auch akustisch relevante Vorgaben wie beispielsweise das Einhalten eines bestimmten Schalleistungspegels. In den Augen der meisten Entwickler steht das Einhalten von akustischen Anforderungen nicht an oberster Stelle, so dass diese Ziele erst im Entwurfs-, Ausarbeitungsstadium oder gar später erneut in den Fokus rücken. Die Werkstoffauswahl findet bis dato klassischerweise erst in der Entwurfsphase Berücksichtigung, so dass sie anhand eines feststehenden technischen Lösungsvorschlags getroffen wird und daher die gegenseitige Beeinflussung von Technologie, Werkstoff und Gestaltung nicht umfassend genug Beachtung finden kann. Die Einflussmöglichkeiten auf die Produktkosten sinken jedoch mit steigendem Konkretisierungsgrad wohingegen die Änderungskosten ansteigen. Die Umsetzung eines Multi-Material-Designs, im Zuge dessen eine Auswahl von Werkstoffen und Werkstoffpaarungen aufgrund örtlicher Anforderungen erfolgt, kann hingegen innerhalb einer Konstruktion große Kosten-Gewichtseinsparungs-Effekte bewirken. Eine Einbindung der Werkstoffauswahl in die Konzeptfindungsphase bietet zudem die Möglichkeit, das Potenzial der Werkstoff- und Fertigungsmöglichkeiten weiträumig auszuschöpfen und so Produktinnovationen zu realisieren. Es „lohnt“ sich demnach, schon frühzeitig im Konstruktionsprozess auf eine lärmarme Konstruktion hinzuwirken. Hierfür sind jedoch systematische Ansätze erforderlich, die eine ganzheitliche Betrachtung von Konstruktion, Werkstoffeigenschaften und Herstellung bereits in der Konzeptphase des konstruktionsmethodischen Vorgehens gewährleisten. Hierin begründet sich wesentlich der Bedarf einer frühzeitigen, orts aufgelösten Berücksichtigung von Werkstoffeigenschaften und Fertigungsmöglichkeiten im konstruktiven Gestaltungsprozess.

Konstruktion lärmarmen Produkte

Möglichkeiten zur Beeinflussung des Schallverhaltens sind z. B. in DIN EN 11688 [2] aufgeführt. Wird der Körperschall betrachtet, so soll bei Schallquellen im Allgemeinen auf eine hohe Stoßdauer bei niedriger Stoßgeschwindigkeit geachtet werden. Zusätzlich sollen die

bewegten Massen klein gehalten werden. Bei der Körperschallübertragung stehen die Mechanismen der Dämmung und der Dämpfung im Vordergrund. Schall wird gut durch eine geschickte Kombination von nachgiebigen Zwischenelementen zwischen steifen Strukturen gedämmt. Hier spielen also die Werkstoffeigenschaften Steifigkeit und Dämpfung eine entscheidende Rolle. Zusätzlich kann der Einsatz von Sperrmassen zur Schwingungsdämmung in Erwägung gezogen werden, wofür sich Werkstoffe hoher Dichte besonders eignen. Zur Energiedissipation wird die Schwingung durch Reibung in Wärme umgewandelt, was hauptsächlich durch den Dämpfungsgrad des eingesetzten Werkstoffs beeinflusst wird. Zuletzt werden durch Körperschall hervorgerufene Oberflächenschwingungen auf die umgebende Luft übertragen und sind damit als Luftschallemission messbar. Der werkstoffabhängige Abstrahlgrad bestimmt das Verhältnis, in dem Luftschallemissionen aus Körperschallschwingungen entstehen. Nachweisbar kann demnach durch eine geschickte Werkstoffauswahl gezielt Einfluss auf die Emissionseigenschaften einer Konstruktion genommen werden. Es zeigt sich jedoch, dass günstige akustische Eigenschaften anderen wünschenswerten Bauteileigenschaften oftmals konkurrierend oder gar konträr gegenüber stehen. So stehen beispielsweise die genannten Sperrmassen zur Schwingungsdämmung einer gewichtsreduzierten Produktgestaltung gegenüber, dämpfende Materialien sind zumeist wenig steif und verschleißfest, harte Oberflächen bewirken ebenso harte Stöße.

Finite Elemente Design

Die optimale Berücksichtigung vielfältiger konstruktiver Anforderungen in einem Lösungskonzept gestaltet sich für den Konstrukteur von Natur aus diffizil. Die Bauteilauslegung in monolithischer Gestaltung wird bei komplexer, inhomogener Beanspruchung beispielsweise den Ansprüchen nach Leichtbau nicht gerecht und erschwert zudem die Werkstoffauswahl, weil die sich widersprechenden Forderungen, wie z.B. hohe Festigkeit und Härte gepaart mit hoher Duktilität, von den üblichen Konstruktionswerkstoffen selten erfüllt werden [3]. Die Erzeugung maßgeschneiderter Werkstoffeigenschaften für diese Anforderungen ist demnach wünschenswert. So führen Mischbauweise und Multi-Material-Design zur Nutzung lokal unterschiedlicher Werkstoffe bzw. Werkstoffkombinationen, die zur Ausnutzung ihres spezifischen Potenzials eine enge Kopplung von Konstruktion, Werkstoffauswahl und Fertigung bedürfen. Aus diesem Grund wurde eine neue Konstruktionssystematik entwickelt, die auf der Aufteilung eines Systems in mehrere Teilbereiche basiert und mit Hilfe orts aufgelöster Anforderungsmatrizen im Zusammenhang mit orts aufgelösten Werkstoffeigenschaften einen gezielten,

lokalen Werkstoffeinsatz ermöglicht. Die Begriffe „Finite Elemente Design“ stehen in diesem Zuge für eine Konstruktionssystematik, in der ein modularer Aufbau der Konstruktion realisiert wird. „Finite Elemente“ sind hierbei Funktionsbereiche denen spezifische Anforderungen zugeordnet werden können. „Design“ steht für die Konstruktionsstrategie, die den Konstrukteur bei dem Ablauf der Konstruktionssystematik unterstützt. Das entwickelte Werkzeug bietet somit eine methodische Hilfestellung für den Konstrukteur unter Berücksichtigung einer lokalen Werkstoffauswahl, die werkstoff- und fertigungstechnische Randbedingungen berücksichtigt. Das FED wurde ursprünglich im Rahmen des Sonderforschungsbereich 675 „Erzeugung hochfester metallischer Strukturen und Verbindungen durch gezieltes Einstellen lokaler Eigenschaften“ der DFG speziell für Werkstofflösungen mit lokaler Eigenschaftseinstellung entwickelt, ist aber ebenso auf Bauteile und Systeme in Mischbauweise anwendbar. Als Eingangsgröße für die FED-Konstruktionssystematik dient das Ausgangsprodukt der Konzeptphase, die prinzipielle Lösung.

Durch eine sinnvolle Reduktion dieser Bauteilstruktur auf relevante Funktionsinhalte (Funktionselemente), der Definition sowie Klassifikation von Bauteilanforderungen und der Beschreibung von notwendigen Schnittstellen ist ein Werkzeug zum Rückschluss auf lokal erforderliche Werkstoffeigenschaften entwickelt und bereits softwaretechnisch umgesetzt (vgl. Abb. 1).

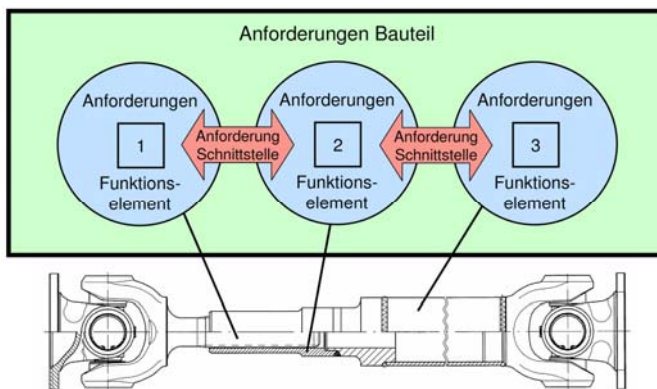


Abbildung 1: Untergliederung der prinzipiellen Lösung in Gesamtbauteil, Funktionselemente, Schnittstellen im Rahmen des Finite Elemente Design (FED)

Hierbei durch lokale Funktionen jeweils zugrunde gelegte orts aufgelöste Anforderungsmatrizen werden durch Merkmale und Merkmalskennwerte beschrieben und anschließend mit orts aufgelösten Werkstoffeigenschaften korreliert. Dadurch erschließt sich die Möglichkeit zur Integration örtlich eigenschaftsveränderter Werkstoffe. Durch den innovativen Ansatz zur systematischen Anwendung lokal eigenschaftseingestellter Werkstofflösungen und deren Fertigungsverfahren sowie die Berücksichtigung von Werkstoff und Fertigungsverfahren bereits in der Konzeptphase der Konstruktionssystematik wird eine Intensivierung sowie frühzeitige Anwendung eines Multi-Material-Designs im konstruktionsmethodischen Vorgehen wesentlich begünstigt.

Beispiel

Am Beispiel einer Gelenkwelle lässt sich die Anwendung des Finite Elemente Designs auch unter akustischen Gesichtspunkten gut erklären. Eine Gelenkwelle besteht aus zwei Kreuzgelenken, die über einen mittleren Schaft miteinander verbunden sind. In diesen Schaft ist zumeist ein Längenausgleich basierend auf einer Steckverzahnung integriert. Grundanforderungen sind neben der geometrischen Genauigkeit die Reibungsarmut in den Lagerungen der Kreuzgelenke sowie die Verschleißfestigkeit der Steckverzahnung. Die übrigen Teile werden im Allgemeinen lediglich ausreichend für die Übertragung der zu erwartenden Torsionsbelastung ausgelegt.

Bedingt durch die Kinematik der Kreuzgelenke wird der Mittelteil zu Torsionsschwingungen angeregt. Diese Schwingungen können zu akustischen Emissionen führen und werden durch ein einfaches Rohr sowohl gut geleitet als auch abgestrahlt. Durch den Einsatz des FED ist es nun ein Einfaches, dieses ansonsten einfache Strukturelement als Funktionselement mit guten Dämpfungseigenschaften und geringem Abstrahlgrad zu implementieren. Dieses ist bei konventioneller Konstruktionsweise zwar auch möglich, das FED wertet aber durch die diskrete Betrachtung unterschiedlicher Problematiken die einzelnen Themengebiete auf, so dass sie früher im Konstruktionsprozess berücksichtigt und gelöst werden können.

Zusammenfassung

Der vorliegende Artikel zeigt, dass durch das „Finite Elemente Design“ die Werkstoffauswahl bei Multi-Material-Bauweisen beherrschbar wird. Durch softwaretechnische Unterstützung während der Konzeptphase können vielfältige Funktionen schon früh in das Produkt implementiert werden. Dadurch können akustische Anforderungen besser erfüllt und leisere Produkte kostengünstiger entwickelt werden.

Weitere Entwicklungsmöglichkeiten ergeben sich durch die Untersuchung der Rolle der Schnittstelle als maschinenakustisch wirksames Element. Zusätzlich gilt es, genaue akustische Werkstoffparameter zu ermitteln, um damit die FED-Datenbank weiter befüllen zu können.

Literatur

- [1] VDI 2221:1993-05: Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte; Beuth Verlag, Berlin, 1993
- [2] DIN EN 11688-2:2001-03: Akustik – Richtlinien für die Konstruktion lärmarmen Maschinen und Geräte - Teil 2: Einführung in die Physik der Lärminderung durch konstruktive Maßnahmen; Beuth Verlag, 2001
- [3] Lohrengel, A.; Bessling, S.; Stahr, K.; Wesling, V.; Echtermeyer, P.: Systematic Design Approach to the Development of High-Strength, Locally Adapted Structures with the Aid of the Finite Element Design (FED) Method, Creation of High-Strength Structures and Joints; Advanced Materials Research, Volume 137, Trans Tech Publications Inc., Zürich, Schweiz, (2010)