

## Simulationsgestützter Entwicklungsprozess zur frühzeitigen Eliminierung von Störgeräuschen

Thomas Burkart, Marinus Luegmair, Christian Triebel

ARRK|P+Z Engineering, 80807 München, E-Mail: t.burkart@puz.de

### Einleitung

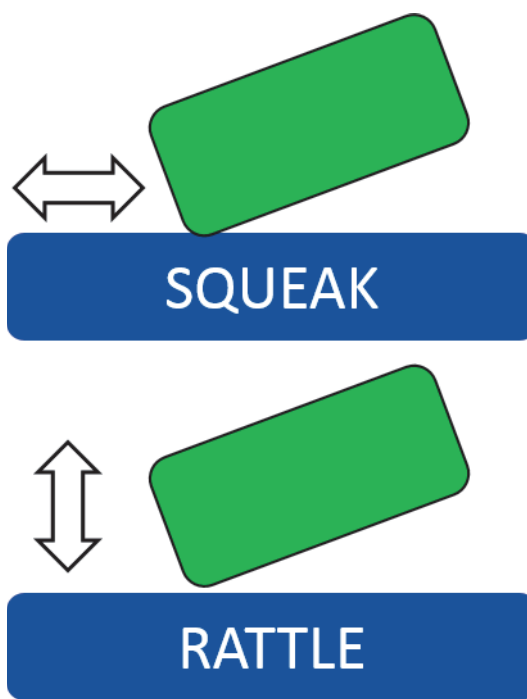
Durch die hervorragende Dämmung heutiger Automobile - vor allem im Premiumsegment - drängen sich im Innenraum generierte Störgeräusche immer stärker in den Vordergrund.

In Verbindung mit dem Ausbau der virtuellen Serienentwicklung schafft dies den Bedarf für eine zielgerichtete und zuverlässige Simulationsmethode zur Störgeräuschprävention. Im Rahmen des Papers wird der dafür nötige Entwicklungsprozess – inklusive der für eine valide Simulation nötigen Prämissen – aufgezeigt.

Der gezeigte mehrstufige Ansatz, zuerst die CAD-Daten auf Durchdringungen und mögliche Kontaktstellen zu sichten und anschließend diese zu einem FE-Modell für die simulative Störgeräuschbewertung aufzubauen, reduziert die in der Serie auftretenden Störgeräusche zuverlässig. Beim Aufbau des Simulationsmodells wird ein besonderes Augenmerk auf die Kinematik der Verbindungselemente und eine gute Abbildung der Dynamik gelegt. Im nächsten Schritt wird eine frequenzabhängige Anregung aufgegeben, um nicht nur die geometrischen Effekte sondern auch die Bauteilsteifigkeiten, Massen und Verbindungen mit berücksichtigen zu können. Das daraus resultierende Schwingungsverhalten wird mit Hilfe des selbst programmierten Tools *FARBE* auf die Störgeräuschneigung untersucht, so dass die Stellen mit dem höchsten Klapper-Risiko identifiziert und anschließend über eine rein virtuelle Optimierung minimiert werden können. Dieser Prozess hilft, Interieur-Baugruppen schon im virtuellen Fahrzeug möglichst störgeräuschfrei zu bekommen um die hohen Kosten für die Störgeräuschbeseitigung nach Serienstart zu minimieren.

### Störgeräusche – Definition und Prävention

Störgeräuschprävention im modernen Automobil wird immer wichtiger, da die Dämmung sowohl gegen Antriebs- als auch gegen Rollgeräusche immer besser wird und die Windgeräusche durch ausgeklügelte Maßnahmen unterdrückt werden. Als Störgeräusche werden in dieser Arbeit vor allem im Interieur durch Schwingungen und Vibrationen erzeugte Geräusche bezeichnet. Dabei unterscheidet man in Bezug auf die Bewegungsrichtung der benachbarten Bauteile zueinander zwischen Bewegung tangential – diese erzeugen Geräusche wie Knarzen und Quietschen (Squeak) über den Stick-Slip-Effekt – und normal zueinander. Normal-Bewegungen erzeugen durch ein Anschlagen Klapper- oder Schwirr- (Rattle-) Geräusche (siehe Abbildung 1). Die hier durchgeführten Simulationen werden daher als SAR- (Squeak and Rattle-) Analyse bezeichnet, im englischsprachigen Raum spricht man häufig auch von BSR (Buzz, Squeak and Rattle).



**Abbildung 1:** Bewegungen unterschiedlicher Bauteile tangential zueinander produzieren Squeak-Geräusche (Knarzen, Quietschen, ...), Normal-Bewegungen erzeugen Rattle-Geräusche (Klappern, Schwirren, ...).

Störgeräusche wie Klappern oder Knarzen treten im Automobil abhängig von Innen- oder Außentemperatur, von der Geschwindigkeit des Autos oder der Motordrehzahl auf. Sie sind auch für nicht fachkundige Kunden leicht erkennbar und werden meist direkt mit schlechter Qualität in Zusammenhang gebracht und können somit das Image eines betroffenen Automobilherstellers senken.

Eine Beseitigung nach Produktionsbeginn des betroffenen Fahrzeugs ist sehr teuer. Dies kann an einem einfachen Beispiel (Filze zwischen Tür-Rohbau und -Verkleidung) illustriert werden:

Bei einer Produktionsmenge von 150.000 Türen pro Jahr und einer Fahrzeuglaufzeit von 7 Jahren kommen – ohne Materialkosten – mit einer geschätzten Montagezeit von ca. eineinhalb Minuten Zusatzkosten von mehr als eineinhalb Millionen Euro zustande. Eine Werkzeugänderung nach Produktionsstart, um das Schwingungsverhalten der Bauteile zu verändern, bringt sogar noch höhere Kosten mit sich.

Das ist der Grund, warum ARRK|P+Z Engineering einen Ansatz entwickelt hat, diese Störgeräusche schon früh in der Entwicklung durch den Einsatz verschiedener Simulationsmethoden zu eliminieren.

## Simulationsgestützter Entwicklungsprozess

Als erstes geht es darum, die Störgeräuschquellen auf Basis eines virtuellen Modells zu finden und zu identifizieren. Dies kann entweder über eine Analyse von CAD-Daten der betreffenden Baugruppe geschehen oder über ein Finite-Elemente-Modell. Beide Ansätze haben ihre Vor- und Nachteile die in Tabelle 1 kurz aufgezeigt werden.

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der CAD- und FEM-Analyse

Geometrie (CAD)	Simulation (FEM)
+ geometrisch exakt + Bauteilabstände exakt + aktueller, stimmiger Datenstand - keine Aussage über Relativbewegungen	+ dynamisches Verhalten - meist wenig aktueller Entwicklungsstand - Modellierung häufig auf Mittelfläche → Randbereiche u.U. ungenau

Ein stimmiger aktueller Stand von CAD-Daten kann für die meisten Baugruppen aus allen verwendeten Tools jederzeit ausgeleitet werden. Darin sind die Abstände der einzelnen Bauteile sauber abgebildet, so dass Spalte oder Durchdringungen einfach erkannt werden können. Demgegenüber steht der Nachteil, dass Relativbewegungen der Bauteile zueinander nicht berücksichtigt werden können, da ein dynamisches Verhalten nicht abgebildet werden kann.

Wenn CAD-Daten zu einem FE-Modell aufbereitet werden, dann werden diese in der Mittelebene der Flächen als Schalenmodell vernetzt. Dadurch kann es passieren, dass Randbereiche nicht ganz exakt abgebildet sind – ein entscheidendes Problem für das Finden der Kontaktstellen. Außerdem werden FE-Modelle meist nur einmal im Entwicklungsprozess von Grund auf aufgebaut – da dieser Prozess bei so komplexen Baugruppen wie z.B. Instrumententafeln durchaus mehrere Wochen in Anspruch nehmen kann – und anschließend immer wieder an den aktuellen Entwicklungsstand angepasst. Daher muss man hier sehr gründlich darauf achten, dass alle Bauteile demselben Entwicklungsstand entsprechen und somit sauber und durchdringungsfrei zusammenpassen. Dafür hat ein FE-Modell den unschätzbaren Vorteil, dass auf einfache Art und Weise das dynamische Verhalten simuliert werden kann. Somit kann mit einbezogen werden, ob einzelne Bauteile sich an kritischen Stellen überhaupt relativ zueinander bewegen können.

In dem diesem Artikel zugrundeliegenden Prozess werden die Vorteile beider Möglichkeiten kombiniert.

Dazu wurde ein eigenes Tools aufbauend auf dem Postprozessor meta programmiert:

„*FARBE – FrequenzAnalyse von RelativBEwegungen*“.

Im Folgenden wird der komplette in Bild 2 sichtbare Simulationsprozess im Detail beschrieben.

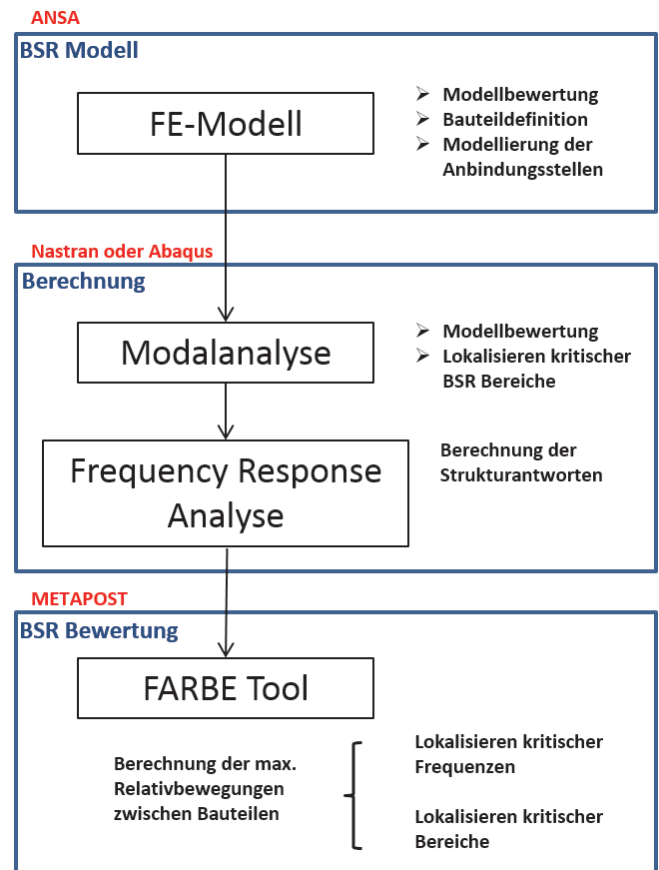
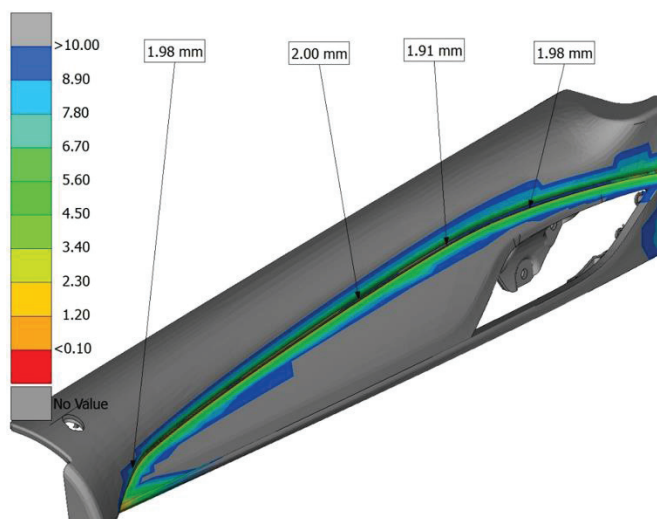


Abbildung 2: Ablauf des gesamten Simulationsprozesses

Im ersten Schritt werden die CAD-Daten des kompletten Systems ganz einfach mit einem FE-Netz überzogen, das keinerlei weitere Kriterien erfüllen muss, außer dass die Konturen sauber abgebildet sind und das somit sehr schnell erstellt werden kann. Dies hat den Zweck, das gesamte Modell in das FE-Tool meta – ein Standardtool im Simulationsprozess bei ARRK|P+Z Engineering – zu bringen. Nun können durch das eigene Tool FARBE die Bauteile automatisch an Stellen eingefärbt werden, an denen die Entfernung zu anderen Teilen laut CAD-Daten kleiner ist als ein angegebener Grenzwert. Im unten stehenden Bild 3 ist eine Türverkleidung zu sehen, in der ein Spalt, der 2mm Weite haben soll, eingefärbt und kartiert ist.

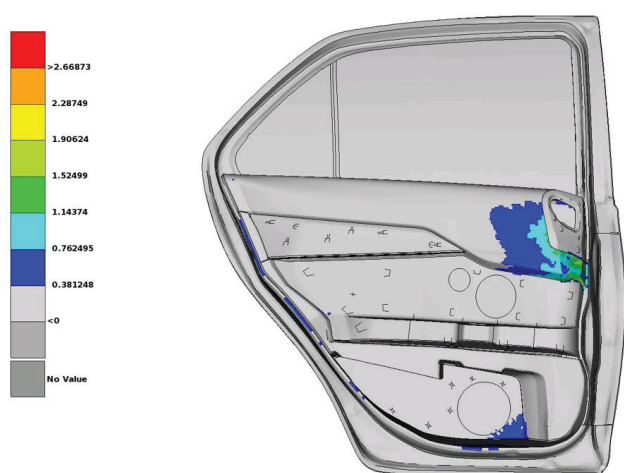
Damit können Spalte, Kontakt- oder Engstellen und Durchdringungen unterschiedlicher Bauteile für jeden neuen CAD-Datenstand schnell und unkompliziert graphisch dargestellt und ausgewertet werden.



**Abbildung 3:** Kartierung eines Spaltes zwischen zwei Bauteilen einer Türverkleidung, erstellt mit dem ARRK|P+Z-eigenen Tool *FARBE*

Im nächsten Schritt geht es um die dynamische Analyse. Dazu muss ein sauberes FE-Modell aufgebaut werden, in dem die einzelnen Bauteile mit der korrekten Steifigkeit und Masse dargestellt sind. Vor allem aber muss auf die richtige Abbildung der Freigängigkeit der einzelnen Verbindungselemente wie Clipse, Hinterhakungen, Einschuhungen oder sonstiger Klammern geachtet werden, da dies für die Bewegung der einzelnen Bauteile äußerst wichtig ist. Wenn dieser Schritt nicht mit der nötigen Sorgfalt durchgeführt wird, haben die Ergebnisse wenig Relevanz.

Anschließend wird eine Modalanalyse und eine Frequency Response-Simulation durchgeführt. Letztere kann auf verschiedenen Anregungsprofilen basieren: Anregung durch die Straße in verschiedenen Fahrsituationen, Anregung aus dem Antriebsstrang oder Motor oder sogar aus den Lautsprechern bei Musikwiedergabe – häufig wird eine Maximalkurve über verschiedene Signale verwendet, um einen „Worst Case“ abzubilden.



**Abbildung 4:** Relativbewegungen der einzelnen Bauteile zueinander dargestellt mit dem ARRK|P+Z-eigenen Tool *FARBE*

Die aus dieser Simulation resultierenden Bewegungen der Einzelbauteile werden nun auf Relativbewegungen zueinander geprüft. Dabei können mit einer automatisierten Auswertung alle Bauteilpaarungen eingefärbt werden, die an den Kanten hohe Relativbewegungen zueinander aufweisen (siehe Beispiel in Bild 4).

Die Bereiche mit den maximalen Relativbewegungen können nun mit den aus dem vorherigen Schritt bekannten Eng- oder Kontaktstellen abgeglichen und so eine Liste von potentiellen Problemstellen generiert werden.

Jetzt kommt die große Stärke der Simulation ins Spiel: es ist nun möglich, schnell und einfach zusätzliche Rippen oder Aussteifungen einzubringen, Anbindungskonzepte virtuell zu überarbeiten oder zusätzliche Bauteilverbindungen einzubauen und die Auswirkungen dieser auf das Schwingungsverhalten der Struktur und damit die Neigung zu Störgeräuschen zu beurteilen.

Auf diese Art und Weise kann man Probleme frühzeitig im virtuellen Stadium beheben oder auch nach der ersten Testfahrt des Prototyps, bei der es irgendwo im Auto klappert, die Lösung für dieses Problem schon in der Schublade haben und somit zügig Abhilfe schaffen. Diese simulativ ermittelten Maßnahmen früh im Entwicklungsprozess kosten nur einen Bruchteil dessen, was eine Lösung des Problems nach Produktionsstart oder im späten Entwicklungsstadium an Zusatzkosten verursacht.

## Zusammenfassung und Ausblick

Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten und von ARRK|P+Z Engineering in verschiedenen Projekten angewandten simulationsgestützten Entwicklungsprozess zur Störgeräuschprävention können Problemstellen, die zu Klappern oder Knarzen neigen schon früh im Entwicklungsprozess detektiert und behoben werden. Auf diese Art und Weise lassen sich in der Automobilentwicklung hohe Folgekosten durch Reparaturlösungen oder Imageverluste durch klappernde Autos einfach und zielgerichtet vermeiden.

## Danksagung:

Ich danke Christian Triebel, dass er mir seine Bilder zur Verfügung gestellt hat und Dr. Marinus Luegmair dafür, dass er mir die Akustik nahegebracht und mich zu einem Vortrag auf der DAGA motiviert hat.