

# Nervtöter ausschalten

## Robust Design für das Re-Design eines Antriebsstrangs

Körperschallschwingungen sind besonders im Automobilbau eine große Herausforderung, die sich mit herkömmlichen Methoden nur schwer in den Griff bekommen lässt. Um die Fehlerquelle aufzuspüren und auszumerzen, kam bei einem Automobilhersteller die Methode Robust Design in Verbindung mit einer KI-basierten Software zum Einsatz.

Peter Knoll und Nicole Thurner

Das Getriebe ist zu laut, das Geräusch klingt unangenehm – aber nur bei einigen Seriennummern eines neuen Fahrzeugmodells. Kaum scheint das Problem beseitigt, taucht es periodisch wieder auf. Fieberhaft suchen die Ingenieure nach der Ursache – vergeblich.

Für einen großen Automobilhersteller sollte das Unternehmen mts Consulting & Engineering aus Fürstentfeldbruck deshalb eine gleichbleibend hohe Qualität in der Akustik von Antriebssträngen sicherstellen. Um dies zu erreichen, bediente man sich der Methode Robust Design. Robust Design ist eine über 14 Jahre aus Lean Six Sigma und Design for Six Sigma von Dipl.-Ing. Frank Thurner weiterentwickelte Methode, um robuste Produkte und stabile Prozesse zu gewährleisten. Sie erarbeitet systematisch in acht Schritten die gesamten funktionalen Ketten des Produkts sowie die (Herstell-)Prozessketten.

### In acht Schritten zum Robust Design

Diese Methode setzte mts Consulting & Engineering unter anderem beim (Re-)Design von Antriebssträngen ein, wie sie beispielsweise im Automotive-Bereich, bei Windkraftanlagen oder im Werkzeugmaschinenbau verwendet werden. Flankiert wird die Methode Robust Design durch den Analyser, eine Machine-Learning-Software desselben Unternehmens zur Fehleranalyse und Fehlervermeidung.

#### 1. Problemstellung erarbeiten

Im ersten Schritt erfolgte eine exakte Definition der Projektziele und die Zusammenstellung des Projektteams. Zu den Zielen zählte bei diesem Projekt die Minimierung

der Schwingungsanregung durch Optimieren der Mikrogeometrie des Antriebs, wobei damit direkte Schwingungen und Schallabstrahlungen sowie die Körperschallübertragung verringert werden sollten. Dadurch sollte ein schwingungsarmer Antrieb erreicht werden mit verkürzten Prüfzeiten und deutlich weniger Kundenreklamationen. Die bestätigte Mikrogeometrie sollte dabei zu einem neuen Toleranzsetting für alle relevanten Mikrogeometrie-Merkmale führen, um Over-Engineering und dadurch unnötige Kosten zu vermeiden. Dieses neue Toleranzsetting wiederum sollte durchschnittlich mindestens 30 Prozent geringere Herstellkosten ermöglichen.

Um diese Ergebnisse nachhaltig zu sichern, galtes, Transferfunktionen für die relevanten Anforderungen (Schwingungen vermeiden, Transferpfade dämpfen etc.) herauszuarbeiten, die relevanten Herstellparameter zu quantifizieren und einen

Kontrollplan aufzustellen. Das Projektteam stellte die erforderliche Kapazität vor allem durch Mitarbeiter von mts Consulting & Engineering über die Projektlaufzeit sicher. Das Team bestand aus dem Projektleiter, einem Akustik-Fachmann und je einem Mitarbeiter für Versuch und Berechnung/Auslegung sowie einem Qualitätsingenieur aus der Produktion.

#### 2. Problemstellung in messbare Größen überführen

Das Projektteam hat die wichtigsten Anforderungen zunächst identifiziert und gewichtet. Dabei ergaben sich die Prioritäten und die Projektschwerpunkte: Schwingungen am Werkzeugträger, Schwingungen bei Verarbeitungssituation 1 und Schwingungsgrenzkurven an Position 1.

#### 3. Einflussgrößen für die relevanten Anforderungen erarbeiten und priorisieren

Im nächsten Arbeitsschritt widmete »»

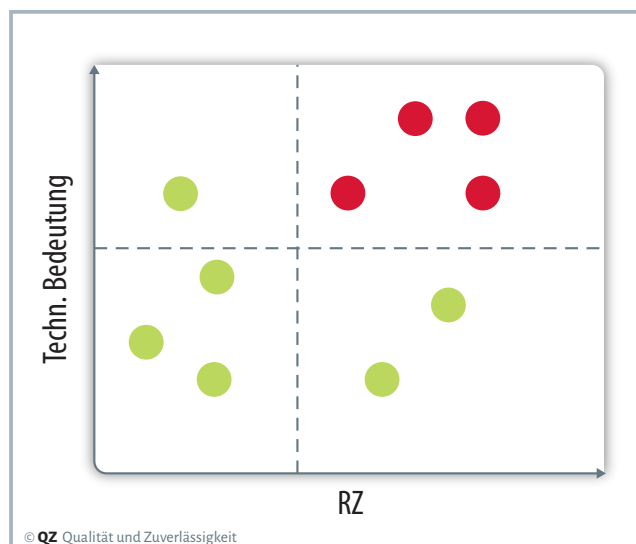


Bild 1. Die D-FMEA ermittelt die Risikozahl  $RZ = A \times B$  (aus Auftretenswahrscheinlichkeit A und der Bedeutung B) und priorisiert somit die Einflussgrößen  $X_i$ . Zusammen mit der technischen Bedeutung aus der QFD wird eine zweidimensionale Priorisierung möglich.

(Quelle: mts Consulting & Engineering)

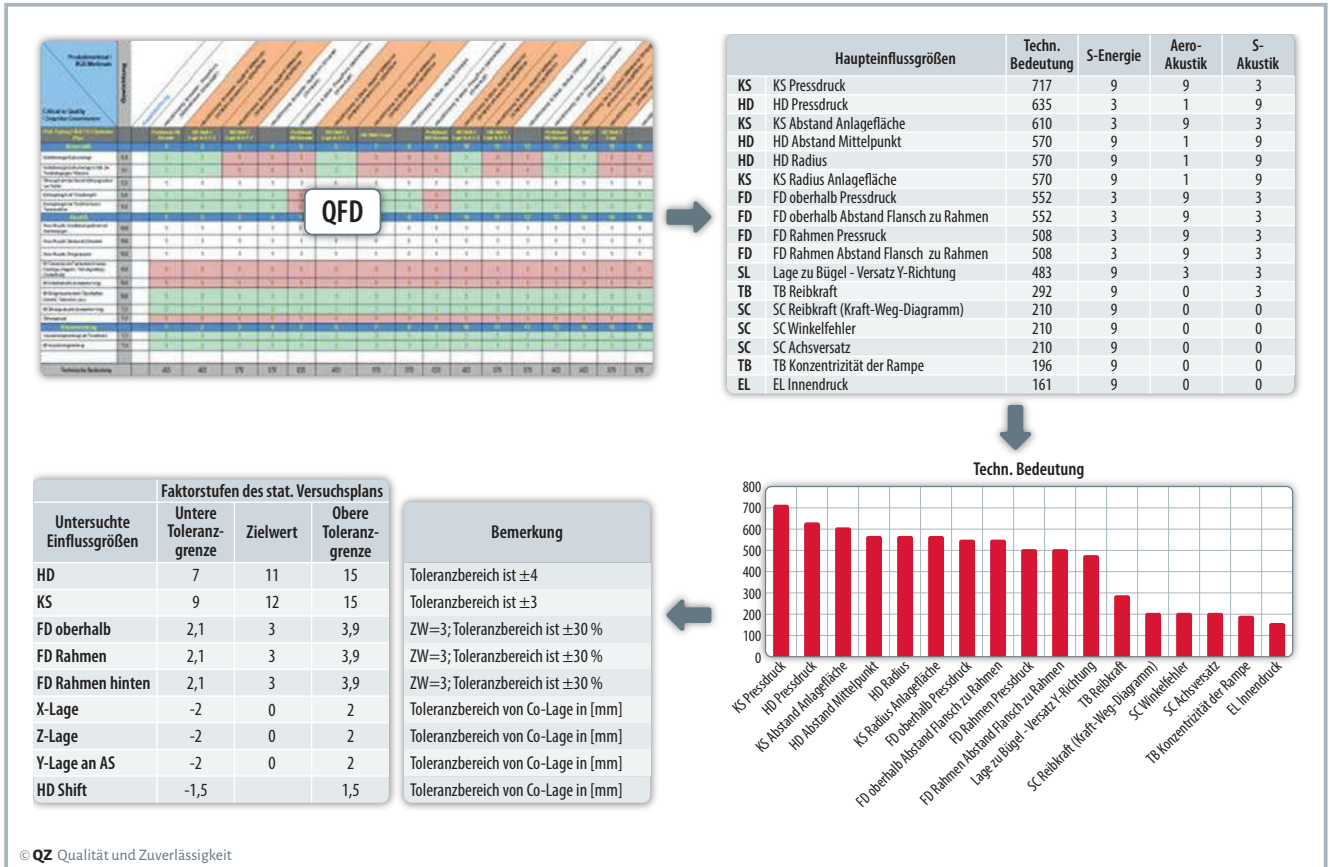


Bild 2. Die Konzentration auf die möglichen Einflussgrößen Xi und deren Priorisierung entsprechend der technischen Bedeutung sorgt für den richtigen Fokus für die Analyse von historischen Daten, Daten aus der laufenden Serie oder gezielte Versuchsreihen. (Quelle: mts Consulting & Engineering)

sich das Projektteam den möglichen Einflussgrößen Xi. Die kausalen Ketten für Produkte und Herstellprozesse galt es zu bestimmen und die technische Bedeutung der Einflussgrößen Xi zu den messbaren Anforderungen Yn zu quantifizieren. Die Einflussgrößen Xi fasste das Projektteam in einer QFD-Matrix (QFD = Quality Function Deployment) zusammen (Bild 2, oben links).

**4. Fehlermöglichkeits- und -einfluss-Analyse durchführen**

Die Priorisierung rein nach der technischen Bedeutung hat in dem vorliegenden Projekt noch keinen klaren Fokus ergeben. Daher nahm sich das Projektteam im nächsten Schritt die Design-FMEAs (D-FMEA = Design Failure Mode and Effects Analysis) für Baugruppen und Komponenten des gesamten Antriebs vor, um über eine zweidimensionale Priorisierung den Fokus nachzujustieren (Bild 2, oben rechts).

**5. Versuche und Feldtests durchführen**

Diese Resultate ergeben sich aus der Analyse von historischen Daten, Daten aus der laufenden Serie und/oder gezielten DoE-Versuchsreihen (DoE = Design of Experiments). Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Daten repräsentativ sind, fehlerhafte Messungen auszuschließen sind und keine Fehlinformationen enthalten sein dürfen. Nur unter diesen Voraussetzungen können die durchzuführenden Versuche und Feldtests zu den gewünschten Ergebnissen führen. Im beschriebenen Projekt kamen un-

**INFORMATION & SERVICE**

**AUTOREN**

Peter Knoll ist langjähriger IT-Fachjournalist. Der Diplom-Politikwissenschaftler ist Inhaber des Redaktions- und Medienbüros 4edition.

Nicole Thurner ist Marketing Managerin bei der Contech Software & Engineering GmbH. Sie hat Soziologie und Statistik an der Ludwig-Maximilians-Universität München studiert.

**KONTAKT**

Stefanie Marzocca  
T 08141 888403-0  
stefanie.marzocca@mts-contech.com

Versuchsplanung zur Ermittlung der Produkttransferfunktion(en)							
Produktmerkmal	Datenart	Komp. Merkmal	Datenart	Hypothese	beabsichtigte Einstellung	n	Tool
L [dB (A)]	stetig	ra - HR	stetig	je rauher HR, desto lauter	6 µ, 8 µ, 10 µ ...	15	Regression

Bild 3. Versuchsplanung für Daten aus der laufenden Produktion bzw. der Vorserie oder Nullserie (Quelle: mts Consulting & Engineering)

terschiedliche DoE-Methoden sowie statistische Schwarz-Weiß-Vergleiche zum Einsatz (Bild 2, rechts unten).

**6. Komplexe Wirkzusammenhänge ermitteln**

Die Wirkzusammenhänge ermittelte das Projektteam mittels statistischer Analyse  $Y_n = f(X_i)$  mit dem Analyser. Der Analyser ist ein KI-System, das nach der Methode Robust Design arbeitet. Der Analyser kann sowohl Einzelwerte als auch – ein wichtiges Alleinstellungsmerkmal – Kurvenverläufe wie Verzahnungsschriebe zu komplexen Wirkmechanismen verarbeiten. Als Ergebnis berechnete die Software die kompletten Wirkzusammenhänge zwischen NVH und der verursachenden Bauteilgeometrie (Bild 2, unten links).

**7. Einflussgrößen prüfen und gewichten**

Um Over-Engineering zu vermeiden, erfolgte eine statistisch abgesicherte Parametrierung und statistische Tolerierung der relevanten und signifikanten Produktmerkmale und Prozessparameter. Dazu verifizierte das Projektteam mit einem Bestätigungslos die signifikanten Einflussgrößen  $X_i$  und führte eine Zielgrößenoptimierung für die projektrelevanten Anforderungen durch. Zur Auslegung der Produktmerkmale und Prozessparameter diente eine Monte-Carlo-Simulation.

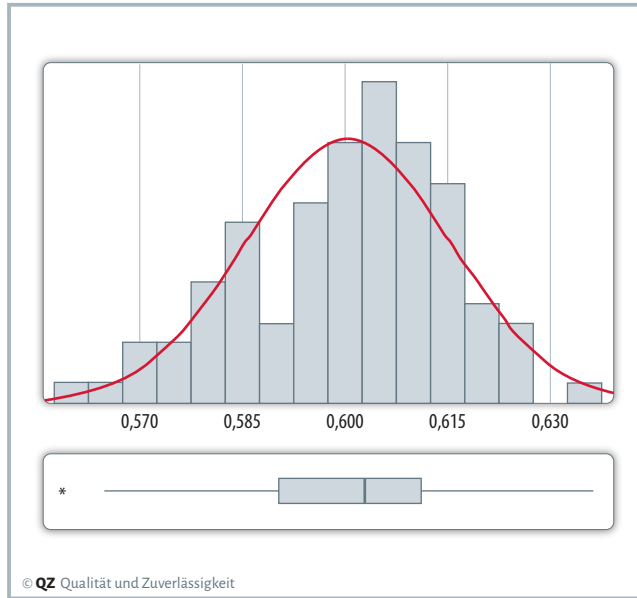


Bild 5. Zusammenfassung für normierte Körperschallwerte: Vermeiden von Over-Engineering und Herstellkosten-Optimierung durch statistisch abgesicherte Parametrierung und statistische Tolerierung von Produktmerkmalen und Prozessparametern (© mts Consulting & Engineering)

**8. Statistische Erfolgskontrolle**

Abschließend erfolgte eine Statistische Prozesskontrolle (SPC) für die relevanten Produktmerkmale und Prozessparameter. Der Automobilhersteller konnte anhand der Analyseergebnisse und der daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen seine Antriebsstränge so auslegen, dass seit den Design-Änderungen keine einschlägigen Kundenreklamationen oder EoL-Themen aufgrund von Akustik- und Geräuschthemen auftraten. Darüber hinaus reduzierte der Kunde die EoL-Akustikfehler von rund 12 auf unter

0,5 Prozent. Damit gingen die Nacharbeitskosten auf einen zu vernachlässigenden Betrag zurück. Auch aufgrund der Vermeidung von Over-Engineering war es zudem möglich, die Herstellkosten um 30 Prozent zu senken. Das Projektteam hat validierte KPIs aus den Prozess- und Vorserien an die Serienprozessverantwortlichen dokumentiert übergeben. Mit dem Projektabschluss erfolgte die Übergabe der Herstellprozesse und ihrer Parametrierung für SPC (Scorecard 3 + 4) usw. an die Serienverantwortlichen. ■

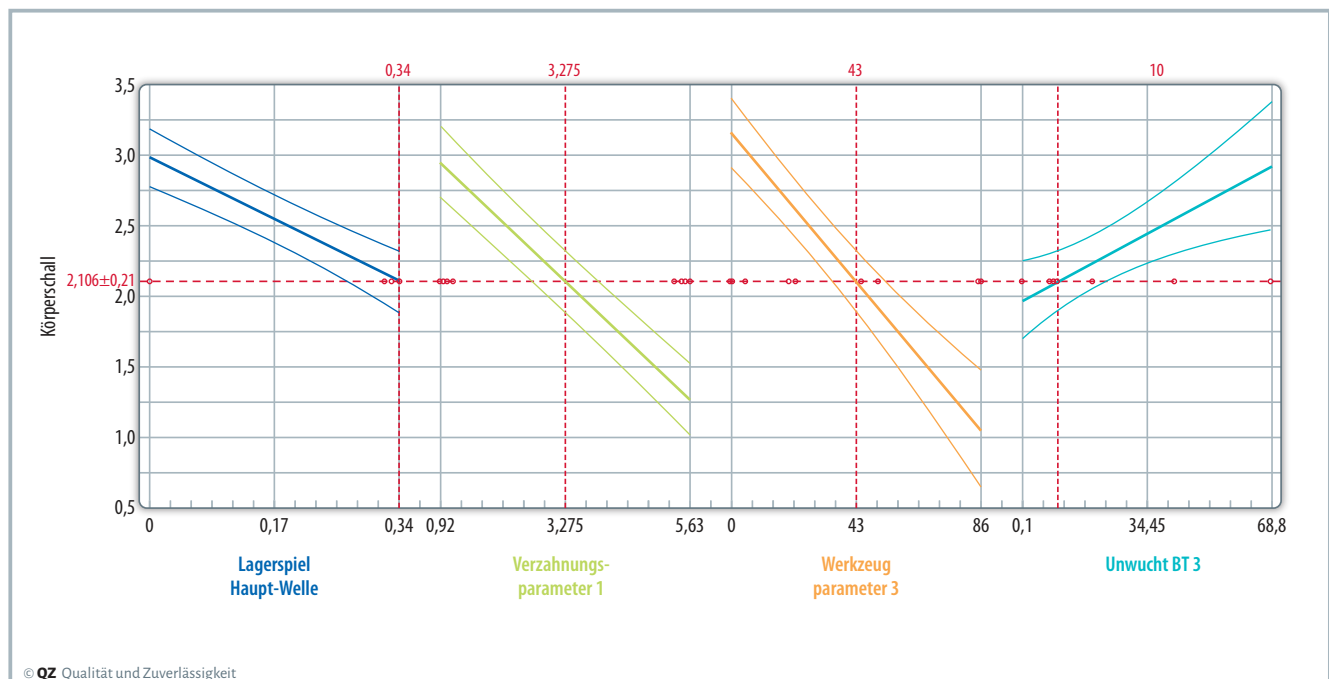


Bild 4. Wirkzusammenhänge zwischen Lagerspiel der Hauptwelle, Verzahnungsgeometrie (Mikro und Makro), Werkzeug und Unwucht (Quelle: mts Consulting & Engineering)