Klassifikation von Schnellefeldern flächiger Strukturen zur Verbesserung der ERP-Prognosequalität

Johannes Tschesche¹, Joachim Bös¹ und Tobias Melz^{1,2}

¹ TU Darmstadt, Fachgebiet Systemzuverlässigkeit und Maschinenakustik SzM, 64289 Darmstadt ² Fraunhofer-Institut für Betriebsfestigkeit und Systemzuverlässigkeit LBF, 64289 Darmstadt E-Mail: tschesche@szm.tu-darmstadt.de

Einleitung

Die Berücksichtigung der Anforderung Schallleistung ist in der Produktentwicklung eine komplexe Aufgabe. In frühen Entwicklungsstadien ist eine Berücksichtigung unmöglich. In späteren Entwicklungsstadien ist Prognose oft nur bedingt möglich und mit erheblichem Aufwand verbunden. Auch die Ableitung von Gestaltungsempfehlungen zur Minderung der abgestrahlten Schallleistung stellt in diesem Kontext eine Herausforderung dar. In der industriellen Praxis hat sich anstelle der abgestrahlten Schallleistung die Equivalent Radiated Power (ERP) P_{ERP} als Ersatzgröße etabliert [1]. Dabei handelt es sich vereinfacht um die Schallleistung im Sinne der maschinenakustischen Grundgleichung

$$P = F^2 S h_T^2 Z'_{\text{Medium}} \sigma, \tag{1}$$

wobei der Abstrahlgrad $\sigma=1$ gesetzt wird [1]. Sie kann numerisch direkt aus der normalen Oberflächenschnelle v_n der Struktur berechnet werden

$$P_{\text{ERP}} = \frac{1}{2} Z'_{\text{Medium}} \int_{S} (v_n v_n) \, dS.$$
 (2)

Weiterhin bezeichnen in (1) P die Schallleistung, F die Anregungskraft, S die Fläche und h_T^2 die Übertragungsadmittanz der Struktur. $Z'_{\rm Medium}$ steht für die Schallkennimpedanz.

Der nachfolgend vorgestellte Ansatz zielt darauf ab, den Abstrahlgrad eines Schnellefeldes qualitativ zu schätzen, um damit die $P_{\rm ERP}$ damit zu gewichten und so die Prognosequalität zu verbessern. Die Abstrahlgrade werden dabei in die drei Kategorien "hoch", "niedrig" und "nicht näher spezifiziert" gegliedert. Zur Gewinnung der Abstrahlgradinformationen dient ein Data-Mining-Prozess.

CRISP-DM als Werkzeug

Unter Data-Mining werden sämtliche Verfahren verstanden, die der Erkennung von Mustern und Regeln aus großen Datenmengen dienen [2]. Ein etabliertes Prozessmodel ist der CRISP-DM (cross industry standard for data mining) [3]. Darin wird das Vorgehen von der Definition der Aufgabenstellung bis hin zur Anwendung von Regeln aus identifiziertem Wissen beschrieben. Die Phasen des Prozesses sind in Abbildung 1 dargestellt. Er beginnt mit der Problemspezifikation und der Beschreibung der Ziele im Block Business understanding. Im vorliegenden Fall ist das Ziel die Identifikation unterschiedlicher Abstrahlgrade. In der zweiten Phase Data understanding werden geeignete Datenquellen identifiziert und die Daten in eine geeignete Programmier- oder Data-Miningumgebung integriert. Für

das vorgestellte Problem dient dazu ein Testproblem in Form einer modifizierten Rechteckplatte. Die dritte Phase Data preparation dient der Voruntersuchung der verfügbaren Daten, insbesondere der Prüfung auf Korrelationen sowie der Korrektur fehlerhafter Daten. Das eigentliche Data-Mining erfolgt in der vierten Phase, der sich die Bewertung der Ergebnisse sowie die Ableitung Handlungsanweisungen in den Phasen fünf und sechs anschließen. Die Erkennung (das eigentliche Data-Mining) von Datensätzen des Testproblems hinsichtlich ihrer Abstrahlgrade erfolgt im vorliegenden Fall mit einem künstlichen neuronalen Netz (KNN) in Form einer selbstorganisierenden Karte (SOM).

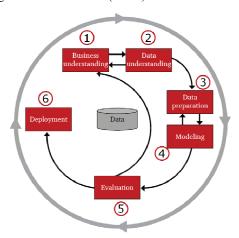


Abbildung 1: CRISP-DM-Prozess nach [3]

Als Ergebnis erhält man Klassen von Schnellefeldern, die ähnliche Eigenschaften haben. Diese lassen sich nach dem Abstrahlgrad auswerten, was im Ergebnis zu drei unterschiedlichen Klassenarten führt: Klassen mit niedrigen Abstrahlgraden (schwache Strahler), Klassen hoher Abstrahlgrade (starke Strahler) und Klassen, deren enthaltene Schnellefelder nicht näher spezifiziert werden können. Diese Klassen lassen sich anschließend nutzen, um Peaks der $P_{\rm ERP}$ hinsichtlich ihres Abstrahlgrads zu bewerten und so eine bessere Prognose der tatsächlich abgestrahlten Schallleistung zu erhalten.

Dazu werden Schnellefelder als Mess- oder Simulationsergebnisse vergleichbarer Geometrien in den Eingaberaum der SOM, die als Klassifikator dient, projiziert. Die Schnellefelder oder deren $P_{\rm ERP}$ können dann mit Hilfe eines Entscheidungsbaumes und der Klassifikationsergebnisse bewertet werden.

Numerisches Testproblem

Als Testproblem zur Erprobung des Prozesses dient eine modifizierte Rechteckplatte, welche allseitig fest eingespannt ist. Die Modifikation besteht aus 25 nacheinander fixierbaren Knoten (alle Freiheitsgrade werden beschränkt), die sich in einem Quadranten der Platte befinden. Abbildung 2 zeigt die Platte in einer unendlichen Schallwand.

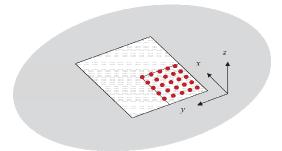


Abbildung 2: Modifizierte Rechteckplatte in unendlich ausgedehnter Blende

Das Anregungsszenario besteht aus einer harmonischen Kraftanregung normal zur Plattenoberfläche. Dabei wird die Platte jeweils mit ihren ersten 15 Eigenfrequenzen angeregt, wobei der Ort der Anregung der Ort der geringsten Eingangsimpedanz der jeweiligen Eigenmode ist. Auf diese Weise entstehen Betriebsschwingformen, deren Ausprägungen praktisch den Eigenformen entsprechen.

Zu jeder Betriebsschwingform werden außerdem das Schnellefeld, die Eingangsleistung, die Schallleistung sowie der Abstrahlgrad berechnet. Die Berechnung erfolgt numerisch mittels FEM-BEM-Kopplung, wie z.B. in [4] beschrieben. Insgesamt entstehen auf diese Weise 390 Schwingformen als Test- und Trainingsdaten.

Abstrahlgradklassen

Clustert man die so erzielten Datensätze mit einer SOM und wertet die Klassen nach dem Abstrahlgrad aus, erhält man die sogenannten Abstrahlgradklassen. Jede Klasse repräsentiert dabei eine Menge geometrisch ähnlicher Schnellefelder. Eine exemplarische Auswertung für 100 mögliche Klassen ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Länge der Balken gibt jeweils den Wertebereich der Abstrahlmaße (Pegel der Abstrahlgrade) an, welche die in der jeweiligen Klasse enthaltenen Samples aufweisen.

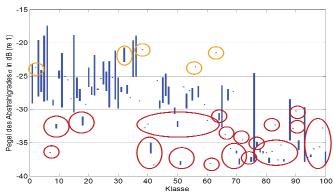


Abbildung 3: Abstrahlgradklassen nach Clustering mittels SOM und 100 Klassen

In Abbildung 3 sind die Klassen der Kategorien "hoch" und "niedrig" gekennzeichnet. Dabei werden Klassen als "niedrig" bezeichnet (schwache Strahler), die um weniger als 5 dB streuen und deren Elemente Abstrahlmaße von

-30 dB und weniger aufweisen. Klassen, die Schnellefelder mit Abstrahlmaßen größer als –25 dB enthalten, werden als "hoch" bezeichnet (starke Strahler). Alle anderen Klassen streuen entweder zu stark oder die enthaltenen Elemente sind weder starke noch schwache Strahler.

Anwendung der Klassen

Eine Anwendung der Klassen kann anhand eines Entscheidungsbaumes erfolgen. Liegen Mess- oder Simulationsergebnisse als Schnelleinformation vor, so kann $P_{\rm ERP}$ oder die mittlere quadratische Oberflächenschnelle berechnet werden. An den Peaks werden nun die Schnellefelder klassifiziert. Der Entwickler erhält so zu jedem Peak eine Klasseninformation und damit eine zusätzliche Bewertung, die im Idealfall jeden Peak als *kritisch* (konstruktive Maßnahme nötig) oder *unkritisch* (keine konstruktive Maßnahme nötig) kennzeichnet. Das Vorgehen ist in Abbildung 4 skizziert.

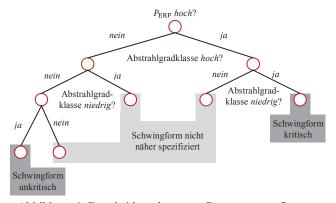


Abbildung 4: Entscheidungsbaum zur Bewertung von P_{ERP}

Abbildung 4 zeigt allerdings auch, dass in einigen Fällen keine eindeutige Aussage getroffen werden kann. Die Methode kann also lediglich in einigen Fällen die Prognosequalität erhöhen.

Danksagung

Die hier vorgestellten Arbeitsergebnisse wurden teilweise durch LOEWE-Mittel des Landes Hessen (Förderkennzeichen III L 4 – 518/14004(2008)) ermöglicht. Dafür bedanken sich die Autoren.

Literatur

- [1] Zeller, P.: Handbuch Fahrzeugakustik: Grundlagen, Auslegung, Berechnung, Versuch. 2. Überarbeitete Auflage, Vieweg+Teubner Verlag/Springer-Verlag, Wiesbaden, 2012
- [2] Knobloch, B.: Der Data-Mining-Ansatz zur Analyse betriebswirtschaftlicher Daten. Informationssystem-Architekturen 8(1), 59-115, 2001
- [3] Chapman, P., et al.: CRISP-DM 1.0 Step-by-step data mining guide. CRISP-DM-Konsortium, 2000
- [4] van Engelen, A.J.: Sound radiation of a baffled plate, theoretical and numerical approach. Research Report DCT 2009.005 of the Dynamics and Control Group, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, 2009