

Beanspruchungsermittlung an einem Ventilator im Betrieb

Kruk, R.; Schäfer, G.



Die internationale Wettbewerbsfähigkeit der nationalen Industrie hängt sehr stark von den Forschungs- und Entwicklungsarbeiten bzw. deren Richtungen ab. Solche mit der Industrie sehr stark verbundene Projekte laufen auch im Institut für Maschinenwesen und werden z.B. von EFRE (Europäischer Fonds für Regionale Entwicklung) und dem Kooperationspartner Firma PILLER Ventilatoren finanziell mitgetragen. In so genannten EFRE Projekten muss eine Kooperation mit der am Forschungsthema interessierten Firma stattfinden, um die Entwicklung der regionalen Wirtschaft zu fördern. Durch diese Zusammenarbeit können energieeffiziente oder umweltschonende Produkte entstehen. Ein solches aktuell laufendes Projekt, bei dem an der Erhöhung der Leistungsfähigkeit von Ventilatoren geforscht wird, wird hier kurz präsentiert.

... und gleich im Anschluss: the same nochmal in english please ...

1 Einleitung

Die in einen Fertigungsprozess integrierten Maschinen müssen bestimmten Richtlinien und Regelwerken genügen. Diese garantieren den sicheren Betrieb und enthalten Vorschriften für die Dimensionierung der Maschine. Um jedoch den sicheren, durchgängigen Betrieb eines unter korrosiven Bedingungen betriebenen Ventilators gewährleisten zu können, braucht man Kenntnisse, die im Rahmen dieses Vorhabens erforscht werden sollen. Es werden sowohl theoretische als auch experimentelle Versuche durchgeführt, in denen ein Brüdenventilator mittels FEM modelliert ist und eine Messung im Betrieb durchgeführt wird. Dies soll ermöglichen, die kritischen Stellen in dem Objekt zu lokalisieren. Danach werden Verbesserungsvorschläge formuliert, die vom Kooperationspartner umgesetzt werden können. Das Lüfterrad wird mit Hilfe von ANSYS modelliert. Der experimentelle Teil wird am reellen Objekt im Betrieb durchgeführt und dazu werden Beschleunigungsaufnehmer und DMS auf dem Laufrad installiert. Für die Messsignalübertragung wird eine Telemetrie angewendet. Dies wird in den nächsten Kapiteln beschrieben.

2 Belastungen auf das Laufrad im Betrieb

Während des Betriebs des Laufrades treten Belastungen auf, die durch verschiedene Ursachen hervorgerufen werden. Es treten stationäre und instationäre Belastungen. Zu den stationären können Belastungen wie wirkende Fliehkraft, aus der Übertragung des Drehimpulses der Schaufeln auf das geförderte Medium resultierende Kraft und aus den unterschiedlichen Druckverteilungen des geförderten Mediums auf Druck- und Saugseite der Schaufeln des Laufrads wirkende Belastung.

Instationäre Belastungen auf das Laufrad entstehen im Betrieb, wenn sich die Dichte des Fördermediums ändert. Es kann durch Eindüsen von Wasser in den Ansaugkanal erfolgen oder durch zeitveränderliche Drosseln und Kavitation also Störungen der Durchflusses des Fördermediums. Solche dynamische Ereignisse regen die Struktur des Ventilators mit ihren Eigenfrequenzen an und führen zu Schwingungen des Laufrades.

Diese Belastungen wurden im Rahmen des Vorhabens anhand Literatur /1/ bzw. Herstellerangaben bestimmt und in das FE Modell eingebaut, damit die Beanspruchungen ermittelt werden können.

3 Numerische Modellierung

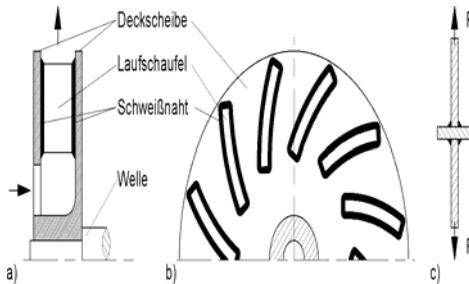


Bild 1: Schematische Darstellung des modellierten Ventilators /5/

Die Beanspruchungsermittlung kann anhand der FE Methode durchgeführt werden. Dafür braucht man ein 3D CAD Modell des Objektes und es müssen neben Werkstoffeigenschaften Lasten und Fixpunkte definiert werden. Davon hängt die Genauigkeit des Simulationsergebnisses ab. Solche Modelle sind entweder zu sehr vereinfacht oder zu ideal (ohne Reibung, in Vakuum, ohne Schwerkraft, etc.) gebaut.

Hier wird ein radialer Ventilator modelliert, deren die schematische Darstellung auf dem **Bild 1** zu sehen ist. Der simulierte Ventilator als Schweißkonstruktion besteht aus mehreren Beuteilen, was untersucht werden soll.

Für die Fesselung des Laufrads im Simulationsmodell wird die Randbedingung "cylindrical support" benutzt. Zur Definition der Randbedingung wird die Innenfläche der Nabenbohrung des Laufrads gewählt. Die Freiheitsgrade sind in allen Richtungen eingeschränkt, so dass der Rotor in der Nabenbohrung fixiert wird.

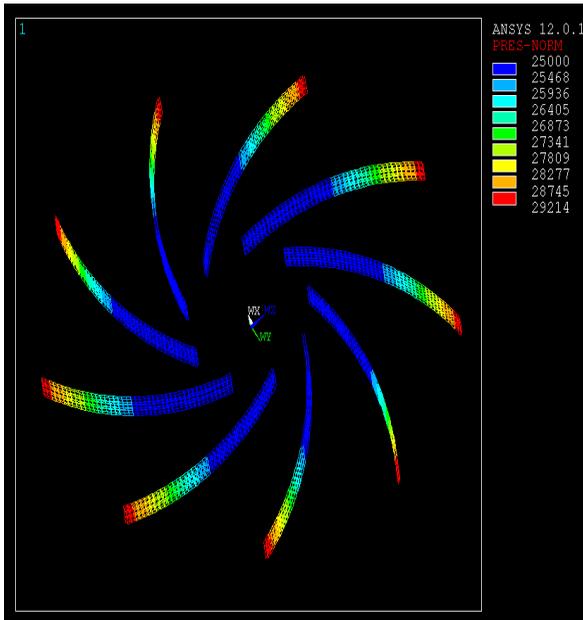


Bild 2: Darstellung der Druckverteilung des im ANSYS modellierten Lüfterrad

Hier werden verschiedene Lastfälle analysiert und Annahmen zum Modell getroffen. Die Fliehkräfte und Momentbelastung werden durch die Auswahl entsprechender Funktion aus dem ANSYS Programm realisiert. Die Druckverteilung und die Kraftverteilung (aus Impulsmomentenübertragung auf das Fördermedium) an den Schaufeln müssen exakt definiert und an gewünschten Flächen des modellierten Objektes angelegt werden. Die angenommene für das Modell Druckverteilung ist im **Bild 2** zu sehen.

Neben Verformungsanalyse (umrechenbar in max. Spannung, Vergleichspannung, etc.) ist es möglich harmonische Analyse der Anregung der Schaufeln und transiente Analyse eines Lastsprungs mit der beliebigen Erhöhung der Belastung. Dies wird im Rahmen des Vorhabens für das Lüfterrad durchgeführt.

In den nächsten Bildern ist die im ANSYS berechnete harmonische Antwort des Systems dargestellt. Im **Bild 3** ist Realteil und im **Bild 4** der Imaginärteil der Frequenzantwort gezeigt.

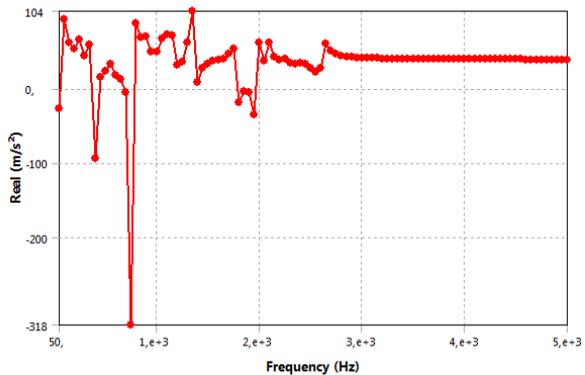


Bild 3: Reale Anteil der modellierten Frequenzantwort

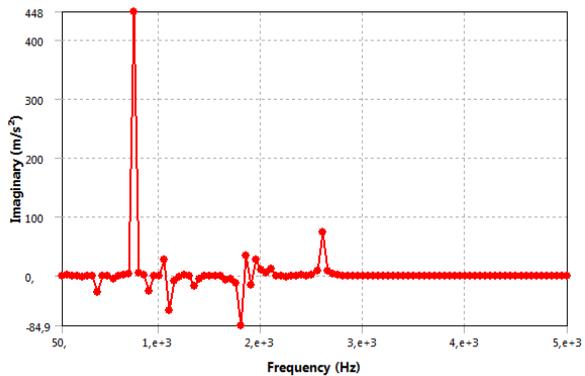


Bild 4: Imaginäre Anteil der modellierten Frequenzantwort

Aus der Darstellung der Frequenzantwort lassen sich Eigenfrequenzen ablesen, die durch hohe Sprünge der Amplitude in den beiden Diagrammen gezeichnet sind. Wenn diese Frequenzen durch Betriebsbedingungen angeregt werden, kommt es zu hohen Belastungen des Laufrades und es kann zu Ermüdungsbrüchen führen. Diese Informationen können bei der Festlegung der Betriebspunkte der Maschine sehr nützlich sein.

4 Messung im Betrieb

Zur Verifizierung der FE Ergebnisse braucht man einen Vergleich der ermittelten Werte mit in der Realität auftretenden Größen. Dafür wird die Betriebsmessung für das simulierte Laufrad durchgeführt. Dazu eignen sich grundsätzlich für Verformung (bzw. umgerechnet in mechanische Spannung) Dehnungsmessstreifen (DMS) und für Modalanalyse bzw. Frequenzantwort Beschleunigungsaufnehmer. Diese Messung soll auf dem rotierenden Teil direkt erfolgen, deswegen werden die Messsignale mit Hilfe einer Telemetrie per Funk an den Messverstärker übertragen. Die Versuche werden bei unterschiedlichen Betriebsbedingungen durchgeführt, um eine ausreichende Menge an Vergleichsdaten aufzuzeichnen, die zur Anpassung des FE – Modells benötigt werden.

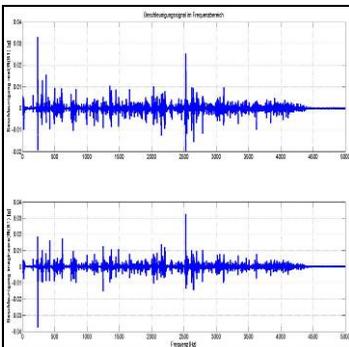


Bild 5: Gemessene Frequenzantwort des eingebauten Ventilators im Stillstand

Die ausgewerteten Ergebnisse aus der Messung lassen sich sowohl im Zeitbereich z.B. als Spannungsverläufe in Abhängigkeit von der Drehzahl bzw. vom in der Anlage herrschenden Unterdruck als auch im Frequenzbereich als Frequenzspektren, Spektrogrammen (Frequenz-

spektralen über die Messzeit), Ordnungsspektrogrammen oder Campbelldiagrammen (Hochlauf) darstellen.

Im **Bild 5** ist ein Messergebnis zu sehen, das aus dem Beschleunigungssignal ermittelt wurde. Das Bild stellt die Frequenzantwort des Ventilators auf Hammerschläge bei der Montage dar.

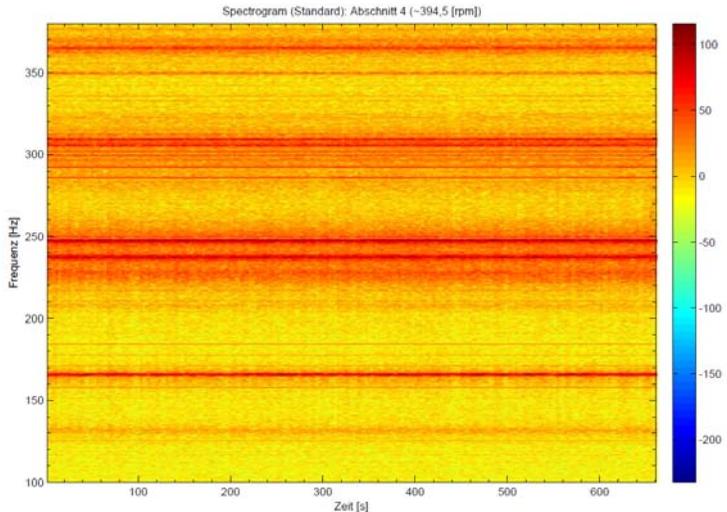


Bild 6: Spektrogramm ermittelt aus der Beschleunigungssignalen aufgezeichnet im Betrieb bei konstanter Drehzahl 394 [rpm]

Ein ermitteltes Spektrogramm ist im **Bild 6** zu sehen. In dem Diagramm ist eine dreidimensionale Darstellung eines in den Frequenzbereich transformierten Beschleunigungssignals enthalten. Der Abschnitt kommt aus der Aufzeichnung bei konstanter Drehzahl (394 [rpm]). Die horizontale Achse stellt die Zeit (Dauer der Messung) dar. Die vertikale Achse zeigt die Frequenz an. Die Amplitude wird durch die Intensität der Farbe gekennzeichnet. Die kleinen Amplituden werden durch blaue Flecken und die größten Amplituden durch intensiv rot (bzw. braun) abgebildet. Die gleichfarbigen Linien im Diagramm stellen die Eigenfrequenzen bzw. Harmonische davon dar.

Im **Bild 7** ist ein Spektrogramm für Drehzahl 1870 [rpm] gezeigt. Nach dem Vergleich der beiden Diagramme (**Bild 6** und **7**) lässt sich eine Verschiebung der horizontalen Frequenzlinien feststellen.

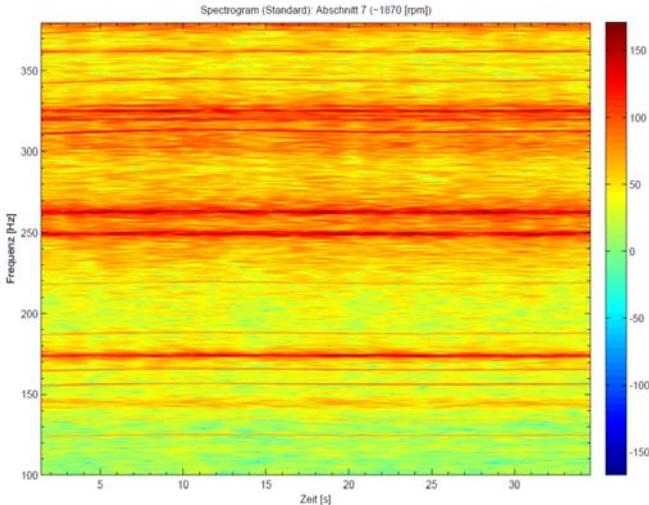


Bild 7: Spektrogramm ermittelt aus der Beschleunigungssignalen aufgezeichnet im Betrieb bei konstanter Drehzahl 1870 [rpm]

Die oben dargestellte Spektrogramme liefern Informationen über das dynamische Verhalten des untersuchten Ventilators. Das Verhalten ist drehzahlabhängig und es muss beachtet werden, ob die Betriebsdrehzahl auf einer der Eigenfrequenzen (bzw. Harmonischen) des Systems liegt. Wenn die Betriebsdrehzahl gleich einer solchen Frequenz ist, treten Schwingungen auf, die die Konstruktion beanspruchen.

Die durchgeführte Betriebsmessung lieferte eine ausreichende Menge von Daten, die für den Vergleich mit bisherigen Modellen und Simulationen benutzt werden können.

5 Zusammenfassung

Die FE Analyse lässt sich für die Ermittlung von Beanspruchungsverläufen der mechanischen Konstruktionen im Betrieb einsetzen. Diese Analyse kann durch Messung auf dem physikalischen Objekt verifiziert werden. Durch die gewonnenen komplexen Informationen können kritische Stellen bzw. Betriebsbedingungen identifiziert werden, was zur Optimierung der Konstruktion eingesetzt werden kann.

6 Literatur

- /1/ Eck, B.: Ventilatoren. Entwurf und Betrieb der Schleuder- und Schraubengebläse, Springer-Verlag, Berlin/ Göttingen / Heidelberg 1957
- /2/ Carolus, T.: Ventilatoren. Aerodynamische Entwurf, Schallvorhersage, Konstruktion, Teubner, Wiesbaden 2003
- /3/ Schlender, F., Klíngenberg, G.: Ventilatoren im Einsatz. Anwendung in Geräten und Anlagen, VDI – Verlag GmbH, Düsseldorf 1996
- /4/ Fortuna, S.: Wentylatory. Podstawy teoretyczne, zagadnienia konstrukcyjno-eksploatacyjne i zastosowanie, Techwent, Krakau 1999
- /5/ Hänel, B., E. Haibach, T. Seeger, G. Wrtgen, H. Zenner, Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile, FKM Richtlinie, VDMA-Verlag (2002)