

OMA erweitert das KCE-Leistungsspektrum.

Resonanzen können unzulässig hohe Schwingungen verursachen. In der Planungsphase oder bei Schwingungsproblemen ist deshalb die genaue Kenntnis der Eigenfrequenzen notwendig. Zur genaueren und valideren Bestimmung der Eigenfrequenzen – auch unter schwierigen Bedingungen – setzt KÖTTER Consulting Engineers (KCE) jetzt auch Methoden der Operational Modal Analysis (OMA) ein.

Im Folgenden stellen wir kurz das neue Analyseverfahren vor. Anschließend zeigen wir anhand eines Projektbeispiels den praktischen Einsatz und die Vorteile für unsere Kunden. Weitere Anwendungsbeispiele sind Rohrleitungen, Gebäudedecken, Stahlbau und schwingungsisolierte Aufstellungen.

Die Operational Modal Analysis (OMA) ist eine Weiterentwicklung der Modalanalyse. Mit beiden Verfahren können Eigenfrequenzen, Eigenformen und zugehörige Dämpfungswerte von Strukturen bestimmt werden. Bei der experimentellen Modalanalyse werden die Strukturen gezielt mit bekannten (gemessenen) Anregungen in Schwingungen versetzt und die Schwingungsantwort gemessen. Aus dem Verhältnis von Antwort und Anregung (Übertragungsfunktion) können die benötigten Informationen abgeleitet werden. Wenn die Anregung zu klein oder wegen äußerer Störungen nicht bekannt ist, kann die Modalanalyse nicht eingesetzt werden.

Für diese Fälle gibt es die OMA. Entwickelt wurde sie ursprünglich für sehr große Strukturen wie Gebäude und Brücken. Bei diesen Strukturen ist die gezielte Schwingungsanregung ohne zusätzliche Störungen durch z. B. Wind meist technisch ausgeschlossen. Die Lösung für diese Problemfälle ist einfach: nur die Schwingungsantwort wird analysiert und die Anregung erfolgt durch die Umwelt – oder im Betrieb durch die Struktur selbst. Besitzt die (unbekannte) Anregung gewisse Eigenschaften, können rein aus den Antwortsignalen die Eigenfrequenzen, Eigenformen und Dämpfungen abgeleitet werden. Aktuelle Weiterentwicklungen und neue Algorithmen ermöglichen jetzt auch den Einsatz von OMA in den Bereichen Maschinen und Anlagen, wie das folgende Projektbeispiel von KCE eindrucksvoll zeigt.

In diesem Projekt wurde die OMA bei der Untersuchung erhöhter Schwingungen an der Kältemittel-Verdichteranlage aus Abbildung 1 eingesetzt. Die untersuchte Anlage bestand aus drehzahlfestem Asynchronmotor (6 kV, 50 Hz, 520 kW), Kupplung und Schraubenverdichter und war auf einem gemeinsamen Grundrahmen schwingungs isoliert aufgestellt. Bei Betrieb wurden vom Personal überhöhte Schwingungen bemängelt. Der Ursache-Wirk-Mechanismus für das auffällige Schwingverhalten war nicht bekannt. Aus diesem Grund beauftragte der Kunde KCE mit einer objektiven schwingungstechnischen Untersuchung an den Aggregaten und dem Unterbau.

Als Teil der Untersuchung wurde eine Eigenfrequenzbestimmung durch Anschlagversuche mit Modalhammer durchgeführt. Diese Messungen erfolgten bei Anlagenstillstand. Allerdings befand sich parallel dazu eine baugleiche Nachbaranlage in direkter Nähe im Betrieb.

MASCHINENDYNAMIK

Die Analyse der Anschlagversuche zeigte, dass im Bereich bis 100 Hz mehrere Eigenfrequenzen der Anlage lagen. Insbesondere der Frequenzbereich bei ca. 50 Hz war auffällig: einerseits war die Datengüte (Kohärenz) niedrig, da die Nachbaranlage die Messung in diesem Frequenzbereich störte; andererseits trat in den Übertragungsfunktionen ein deutlicher Peak in direkter Nähe der 49,9 Hz Drehfrequenz der Anlage auf. Um zu klären, ob es sich dabei um eine Eigenfrequenz handelt, wurde eine erweiterte Analyse der aufgezeichneten Daten mit OMA durchgeführt.

Für die OMA wurden die Daten aller Anschlagversuche mit unterschiedlichen Anregungspositionen und -richtungen zusammengefügt. Durch den Einsatz von Referenzsensoren konnten dabei die einzelnen Sensordaten phasenrichtig zugeordnet werden. Im nächsten Schritt wurden Signaleinflüsse von Störquellen mit harmonischen Anregungsspektren (z. B. Drehfrequenzen von E-Motoren, Netzstörungen) aus den Daten beseitigt. Zu Validierungszwecken wurden zwei verschiedene Berechnungsalgorithmen eingesetzt: Enhanced Frequency Domain Decomposition (EFDD) und Curvefit Frequency Domain Decomposition (CFDD). Durch die zusätzliche Bestimmung der Eigenformen kann über das Modal Assurance Criterion (MAC) der Nachweis geführt werden, dass die Moden linear unabhängig sind. Bei vollständiger linearer Unabhängigkeit ist $MAC = 0$ und es handelt sich um eine Eigenfrequenz.

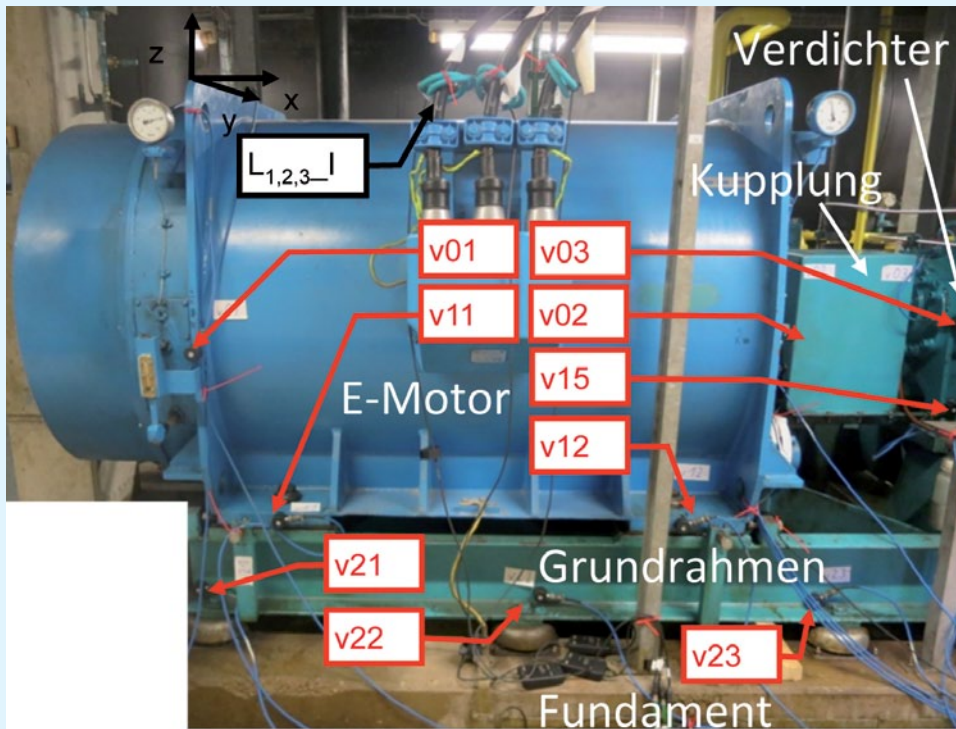
Tabelle 1 zeigt, dass die verschiedenen Berechnungsverfahren nur geringfügige Abweichungen in den ermittelten Eigenfrequenzen besitzen. Zusätzlich sind exemplarisch die MAC-Werte der CFDD-Berechnung dargestellt. Es wird deutlich, dass alle Nebendiagonalwerte nahe Null liegen und die Moden damit alle linear unabhängig sind. Damit sind die Werte der Tabelle 1 valide Eigenfrequenzen.

Die Ergebnisse der OMA zeigten, dass es sich bei der auffälligen Frequenz bei 49,8 Hz tatsächlich um eine Eigenfrequenz der Struktur handelte, die in direkter Nähe zur Dreh- bzw. Hauptanregungsfrequenz lag. Abbildung 2 zeigt schematisch die zugehörige Eigenform der Anlage: eine überlagerte Biegung/Torsion am verdichterseitigen Grundrahmen.

In diesem Projektbeispiel konnten durch den Einsatz der OMA trotz widriger Messbedingungen erfolgreich die Eigenfrequenzen bestimmt und passgenaue Minderungsmaßnahmen entwickelt werden.

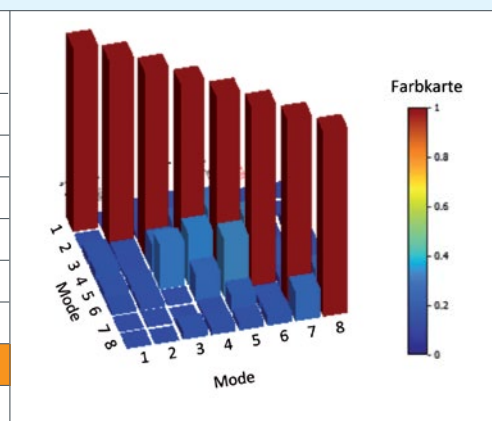
Ist Stillstand in Ihrer Anlage keine Option? Stören Nachbaraggregate Ihre Schwingungen? Gerne entwickeln wir mit Ihnen Lösungsansätze auch für Ihre Schwingungsprobleme. Rufen Sie uns an oder treffen Sie uns auf der 7th International Operational Modal Analysis Conference IOMAC 2017 in Ingolstadt.

MASCHINENDYNAMIK



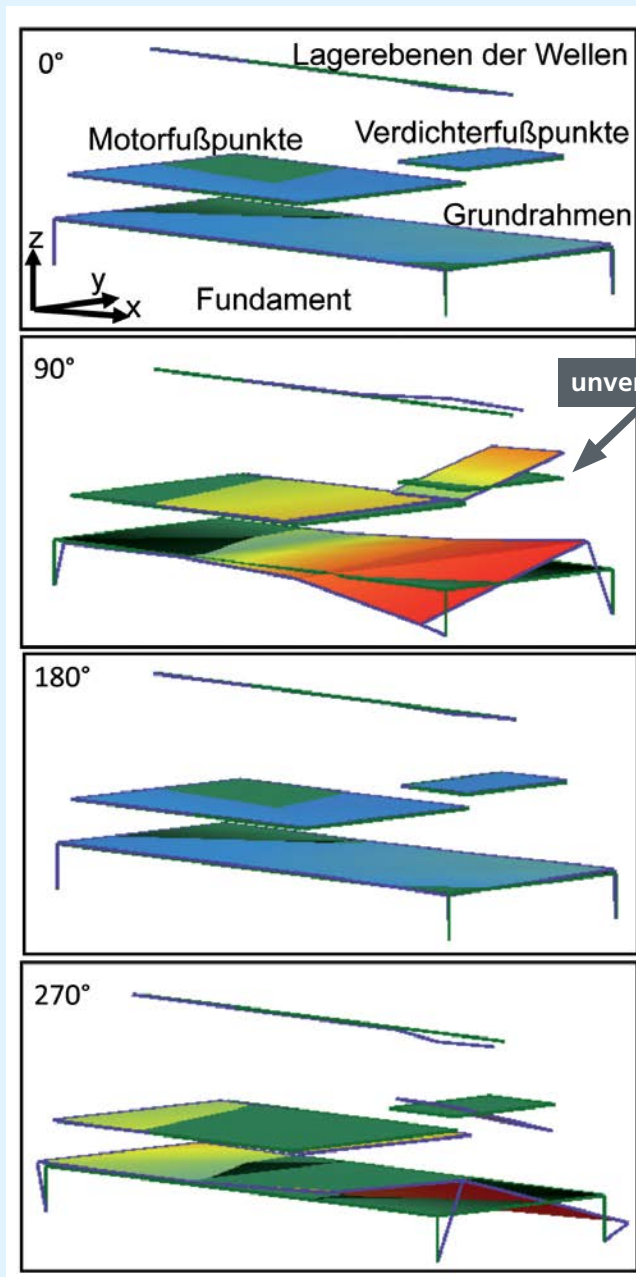
Antrieb der Kältemittel-Verdichteranlage mit Schwingungs- und Strommessstellen während der Messung

| Mode | EFDD | CFDD | Eigenform |
|------|---------------------|------|----------------------------------|
| | Eigenfrequenz in Hz | | |
| 1 | 2.1 | 2.1 | Biegung des Grundrahmens |
| 2 | 3.5 | 3.5 | Biegung des Grundrahmens |
| 3 | 7.8 | 7.8 | Starrkörpermode, Pendeln |
| 4 | 14.6 | 14.6 | vertikale Starrkörpermode |
| 5 | 25.4 | 25.4 | Starrkörpermode, Pendeln |
| 6 | 38.0 | 38.0 | Torsionsmode |
| 7 | 49.9 | 49.8 | Biegung/Torsion des Grundrahmens |
| 8 | 79.1 | 79.1 | Biegung des Grundrahmens |



Eigenfrequenzen der Anlage und 3D-Darstellung der MAC-Matrix am Beispiel der CFDD-Ergebnisse

MASCHINENDYNAMIK



Eigenform bei 49,8 Hz als Standbilder
(Verformung nicht maßstabsgerecht)



Kontakt:

Dr.-Ing. Torsten Schneider
Telefon: +49 30 526788-24
t.schneider@koetter-consulting.com