

Draft: Experimentelle Analyse der nichtlinearen Schwingungen eines starren Rotors in Gasfolienlagern

Robert Hoffmann¹ Cédric Kayo¹ Robert Liebich¹

¹ Fachgebiet Konstruktion und Produktzuverlässigkeit, TU Berlin, Deutschland, robert.hoffmann@tu-berlin.de

Kurzfassung

Luftlager und im Besonderen Gasfolienlager (GFBs) zeichnen sich durch einen verlustarmen Betrieb bei hohen Drehzahlen und großen Temperaturen infolge ausreichender sowie relativ kleiner Schmierstoffviskosität aus. Weitere Vorteile sind der einfache Aufbau der Lagerung und der Wegfall eines Ölsystems. Nachteilig ist die geringe Fluidviskosität, welche die Tragfähigkeit und das Dämpfungsvermögen begrenzt. Zwar kompensiert die elastische, reibungsbehaftete Lagerwand die genannten Nachteile durch eine Selbstzentrierung des Schmierfilms und der Bereitstellung einer äußeren Dämpfung, jedoch neigen GFB-Systeme stets zu nichtlinearen subharmonischen Schwingungen. Im Rahmen dieser Arbeit wird das nichtlineare Schwingungsverhalten eines starren Rotors in Gasfolienlagern untersucht. Der Rotor wird mittels einer Impulsturbine auf ca. 60 000 1/min beschleunigt. Anhand transientscher Runterfahrten werden Wasserfalldiagramme für eine Variation der statischen und dynamischen Unwucht aufgezeichnet. Die Messungen weisen eine Vielzahl an nichtlinearen Effekten auf, deren Ursachen experimentell analysiert werden. Neben der Selbsterregung durch den Fluidfilm, ist der Rotor sensibel aufgrund hoher Unwuchten und den daraus resultierenden erzwungenen Schwingungen. Das nichtlineare, progressive Systemverhalten lässt Erregerordnungen von $1/2\Omega$, $1/3\Omega$ und $1/4\Omega$ resultieren, die weitere Frequenzen modulieren.

1 Einleitung

Gasfolienlager (GFBs) basieren auf einem fluiddynamischen Schmierprinzip und weisen eine Vielzahl an Vorteilen auf: Aufgrund der Verwendung von Umgebungsluft fällt ein konventionelles Ölsystem weg. Gleichzeitig sind Verlustleistungen im Schmierfilm relativ gering und ein Einsatz bei hohen Temperaturen möglich, was durch die geringe Viskosität und dem Temperaturverhalten von Gasen zu erklären ist. Nichtsdestotrotz lässt eine geringe Viskosität niedrige Tragfähigkeiten und schlechte Dämpfungseigenschaften resultieren. Durch eine reibungsbehaftete, elastische Lagerwand kann ein Gasfolienlager diese Nachteile gegenüber starren Gaslagern kompensieren. Neben einer äußeren Dämpfung infolge der Reibung in der Lagerwand stellt sich durch die elastische Struktur selbstregulierend der Schmierfilm ein, vgl. [4]. Vor allem durch letztere steigt die Tragfähigkeit gegenüber starren Gaslagern an, vgl. [2]. Dennoch weisen GFB gelagerte Systeme häufig nichtlineare subharmonische Schwingungen auf, vgl. [4, 5, 10, 11, 17, 13]. Ist die Dämpfung des Systems dabei ausreichend groß liegen stabile Grenzzykel vor, vgl. [11, 4]. Darüber hinaus hat die Unwucht des Systems einen signifikanten Einfluss auf das nichtlineare Schwingungsverhalten, [6, 16, 11, 15, 1, 13]. Trotz der Vielzahl an experimentellen rotodynamischen Untersuchungen, liegt keine detaillierte Schwingungsklassifizierung vor. Im Jahr 2007 bezeichneten San Andrés et. al [15] das nichtlineare Verhalten als erzwungene Nichtlinearität (*Forced Nonlinearity*), die durch die Unwucht beeinflusst wird, wobei eine Selbsterregung vollständig ausgeschlossen wurde. Stattdessen weisen [9] diese numerisch in einer nichtlinearen Stabilitätsanalyse nach. Demnach setzen bei gut gewuchteten Systemen eine subharmonische Schwingung bei der Drehzahl n_{OSSV} (*Onset Speed of Subharmonic Vibration*) ein und schwingt im Takt einer Systemeigenfrequenz. Das Einsetzen ist durch eine Hopf-Bifurkation infolge der fluidfilminduzierten Selbsterregung charakterisiert. Eine mögliche Klassifizierung der nichtlinearen Schwingungen eines Rotors in GFBs ist in Abb. 1 dargestellt. Das von Außeneinflüssen abgeschmierte System weist nach [7] zwei Pfade auf.