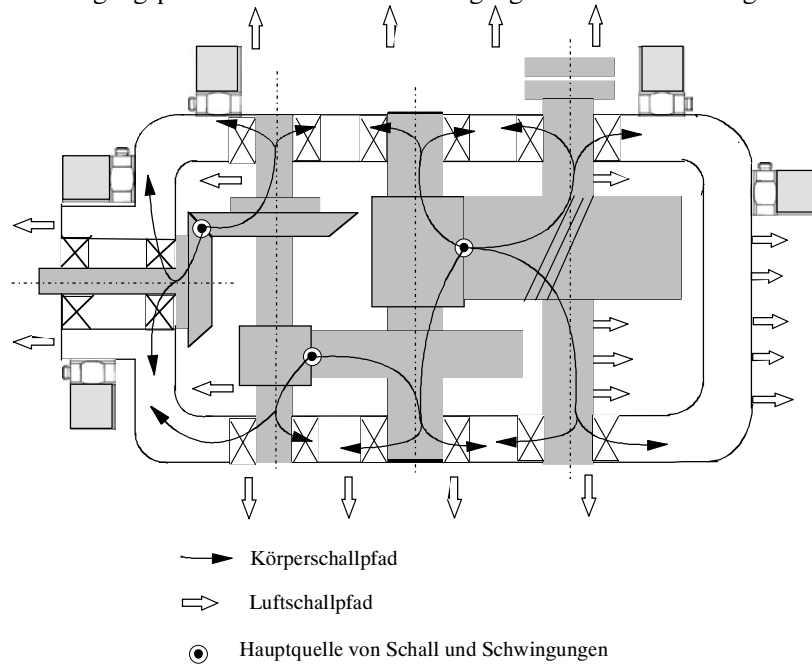


## 2 Maschinenschwingungen

### 2.1 Einleitung

Der Betrieb von Maschinen ist stets mit Maschinenschwingungen (Körperschall) und Abstrahlung von Lärm (Luftschall) verbunden, beides in der Regel unerwünschte Effekte. Schwingungen entstehen immer irgendwo innen in Maschinen, werden über Lager zum Maschinengehäuse übertragen und von dort als Luftschall weiter an die Umgebung abgegeben. **Bild 2.1** zeigt die Hauptquellen und die Übertragungspfade von Schall und Schwingungen in einem Zahnradgetriebe.



**Bild 2.1** Hauptquellen und Übertragungspfade von Schall und Schwingungen

Die Hauptquellen von Schall und Schwingungen sind in den meisten Fällen die inneren Wechselkräfte, die bei der Übertragung der eingespeisten Leistung auftreten. Diese Kräfte können in einigen Fällen sinusförmig sein (z. B. bei Un-

wuchten), aber meist sind sie periodisch oder zufällig. Die Übertragung der durch diese Kräfte angeregten Körperschwingungen erfolgt vom Entstehungsort zum Gehäuse maßgeblich über die weiteren Maschinenelemente und teilweise direkt als Luftschall. Der durch die Gehäuseschwingungen angeregte Luftschall bewirkt dann das Geräusch.

Vom eigentlichen Interesse für Fehlererkennung und Diagnose sind die inneren Kräfte in der Maschine bzw. die damit einhergehenden Energien, Größen also, die sich der direkten Messung entziehen. Durch die Schwingungsmessung und -analyse versucht man daher, ein Bild dieser Kräfte zu gewinnen. Daraus kann man ihre Struktur, die Ursachen ihrer Entstehung und ihr zeitliches Verhalten ablesen. Da die absolute Messbarkeit dieser Kräfte nicht gegeben ist, ist man auf vergleichende Verfahren angewiesen.

In den folgenden Abschnitten werden einige der wichtigsten Standards zusammengefasst und zum Teil kurz beschrieben. Anschließend werden die Laufeigenschaften und häufig auftretenden Fehler von Maschinenelementen und Baugruppen behandelt.

## **2.2 Beurteilung des Schwingverhaltens – Beurteilungsmaßstäbe**

Die während des Betriebs einer Maschine auftretenden Körperschwingungen sind in der Regel Schwingungsgemische, die durch Überlagerung von mehreren Schwingungen unterschiedlicher Frequenzen entstehen. Die unterschiedlichen Schwingungen werden z. B. durch die Bewegung mehrerer verschiedener Maschinenteile – z. B. bei Zahnradgetrieben durch die Wellen mit verschiedenen Drehzahlen und die Zahneingriffsereignisse von Zahnrädern – oder durch Übertragung von anderen Aggregaten verursacht. Um derartige Schwingungsgemische auf vergleichender Basis beurteilen zu können, wird die sogenannte „effektive Schwingstärke“ in VDI 2056 und DIN 45666 definiert. Darunter ist der quadratische Mittelwert der Schwinggeschwindigkeit im Frequenzbereich von 10 Hz bis 1000 Hz zu verstehen. Die Empfehlung der Frequenzbandbegrenzung und Frequenzbewertung für die Messung dieser Schwingstärke ist DIN 45662 zu entnehmen. Eine Realisierung eines virtuellen Instruments für die Messung der Schwingstärke mit dem LabView-Programm kann in Abschnitt 3.8.4.3 gefunden werden.

Um den zunehmenden Leistungen und Drehzahlen im Maschinen- und Elektromaschinenbau gerecht zu werden, werden in der bereits erwähnten Empfehlung VDI 2056 die Beurteilungsmaßstäbe für das Schwingverhalten von Maschinen mit rotierenden Massen festgelegt und dabei eine Klassifizierung in Maschinengruppen vorgenommen (**Bild 2.2**). Für Hubkolbenmaschinen ist die zulässige Schwingstärke in der VDI 2063 festgelegt. Auf ihrer Basis wurden und werden oft auch Überwachungssysteme aufgebaut, aber die Möglichkeit der Fehlerdiagnose ist von vornherein nicht vorgesehen. In den meisten Fällen sind sie als die Festlegung von Abnahmespezifikationen zu betrachten.

Die deutsche Richtlinie VDI 2059 behandelt das Thema *Wellenschwingungsmessung* und bildet die Grundlage der heute als Standard eingesetzten Überwachungseinrichtungen in Turbomaschinen. Grundlage ist die Messung der Wellenbewegung absolut oder relativ zum Maschinengehäuse, Messgröße ist der Schwingweg, vorwiegend erfasst über berührungslose Aufnehmer.

$v_{\text{eff}}$ mm/s	Gruppe K	Gruppe M	Gruppe G	Gruppe T
0,11	gut	gut	gut	gut
0,18				
0,28				
0,45				
0,71	brauchbar	brauchbar	brauchbar	brauchbar
1,12				
1,8	noch zulässig	noch zulässig	noch zulässig	noch zulässig
2,8				
4,5	unzulässig	unzulässig	unzulässig	unzulässig
7,1				
11,2				
18				
28				
45				

Gruppe K: Kleinmaschinen, Aggregatsteile einzeln, Elektromotoren bis 15 kW

Gruppe M: Mittlere Maschinen, Elektromotoren bis 75 kW

Gruppe G: Großmaschinen auf hoch abgestimmten Fundamenten

Gruppe T: Turbomaschinen auf tief abgestimmten Fundamenten

**Bild 2.2** Beurteilung des Schwingverhaltens nach VDI 2056