

## Basiswissen

## Maschinendynamik



Im modernen Maschinenbau spielt die Maschinendynamik eine herausragende Rolle. Gerade die Forderungen an Leichtbau und immer größere Leistungsdichte machen die Maschinen anfällig für schädliche Schwingungen. Die Maschinendynamik bietet Wege und Mittel an, um diese Problemkreise zu beherrschen.

## Was ist Maschinendynamik?

Die Maschinendynamik ist die Lehre von der Bewegung eines Systems unter Berücksichtigung der Kräfte, die auf das System wirken.

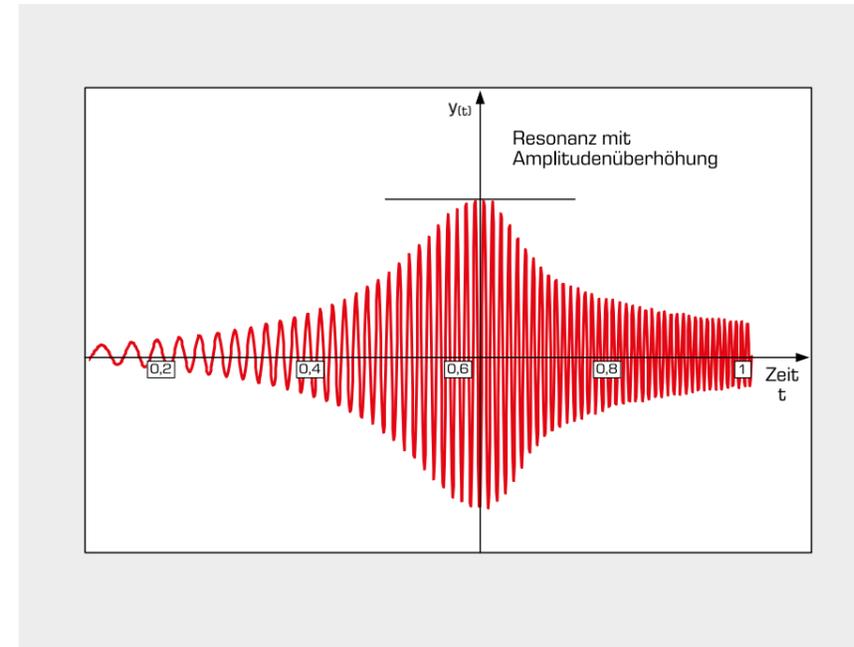
Die Maschinendynamik wendet die Erkenntnisse der Technischen Mechanik, insbesondere der Dynamik, auf die Probleme realer Maschinen an. Eine große Rolle spielen hierbei die Wirkung der Massenträgheit und das Auftreten von Schwingungen. Die Maschinendynamik ermöglicht, das schwingungstechnische Verhalten einer Maschine vorauszusagen und gegebenenfalls günstig zu beeinflussen. Je nach Aufgabenstellung können die Schwingungen gewünscht (Rüttler, Schwingförderer) oder unerwünscht (Motoren, Turbinen) sein.

Um die Schwingungen beurteilen und bewerten zu können, kommen Methoden aus der Schwingungsmesstechnik zum Einsatz. Es existieren auch enge Verbindungen zu den Gebieten der Konstruktionslehre, den Maschinenelementen oder der Antriebstechnik.

## Wann treten Schwingungsprobleme auf?

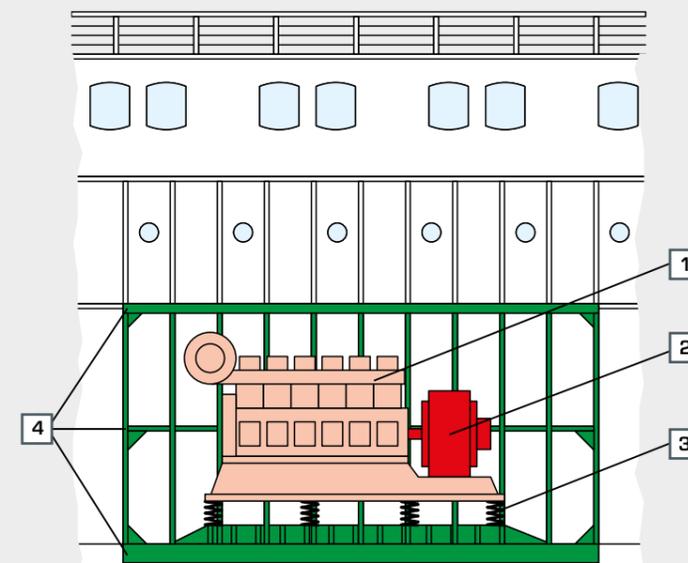
Wenn die folgenden zwei Bedingungen zusammentreffen, können Schwingungsprobleme auftreten:

- periodische Erregerkräfte
- schwingungsfähiges System



Die Abbildung zeigt das Anwachsen der Schwingungen beim Durchfahren der Resonanz eines schwingungsfähigen Systems. Die sehr hohen Schwingungsamplituden können zur Zerstörung der Maschine führen. In der Praxis müssen deshalb solche Resonanzen bzw. kritische Drehzahlen, falls sie nicht vermieden werden können, schnell durchfahren werden.

## Maßnahmen zur Vermeidung von Schwingungsproblemen



Minimierung der unerwünschten Schwingungen am Beispiel einer Schiffsmaschinenanlage:

- 1 Dieselmotor ausgestattet mit Massenausgleich,
- 2 ausgewuchteter Generator, 3 federnde Lagerung zur Schwingungsisolierung,
- 4 verstärkte Struktur des Schiffes zur Versteifung des Systems

Schwingungen sollten möglichst an der Quelle bekämpft werden. Damit ergeben sich folgende Prioritäten bei der Vorgehensweise:

- Erregerkräfte minimieren durch Massenausgleich bzw. Auswuchten
- Weiterleitung der Kräfte verhindern durch Isolation der Schwingungen oder durch Tilgung der Schwingungen
- Schwingungsfähigkeit des Systems reduzieren durch Versteifen der Bauteile, Anbringen von zusätzlicher Masse oder Einsatz von Dämpfern

## Basiswissen

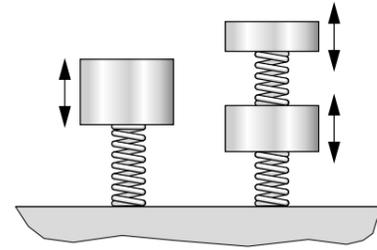
## Maschinendynamik

In der Maschinendynamik werden reale Maschinen durch theoretische Modelle abgebildet. Oft sind allerdings die Maschinen sehr kompliziert und nicht einfach zu berechnen. Durch Vereinfachung und Abstraktion können mathematische Modelle

sowohl für schwingungsfähige Systeme, als auch für die Quellen von Erregerkräften gewonnen werden. Mit diesen mathematischen Modellen kann relativ einfach und schnell das Verhalten der Maschine vorausgesagt werden.

**Lineare Schwinger mit einem oder mehreren Freiheitsgraden**

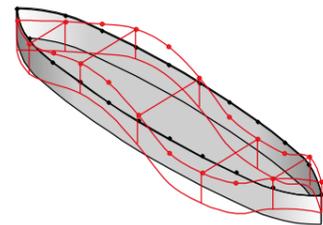
Das einfachste Modell eines schwingungsfähigen Systems ist der Feder-Masse-Schwinger. Mit diesem Modell können viele Erkenntnisse über das Verhalten eines schwingungsfähigen Systems gewonnen werden. Oft werden die Steifigkeits- und Massenverteilungen eines realen Systems durch die Verwendung konzentrierter Punktmassen und trägheitsloser Federn hinreichend gut beschrieben.



Feder-Masse-Schwinger

**Kontinuierliche Schwinger**

Ähnlich einfache Systeme existieren für die kontinuierlichen Schwingungssysteme wie z.B. einen Schiffsrumpf. Hier gibt ein einfaches Balkenmodell erste Hinweise über das Schwingungsverhalten bei Anregung durch den Seegang. Von Interesse sind hier die Eigenfrequenzen und zugehörigen Eigenformen.

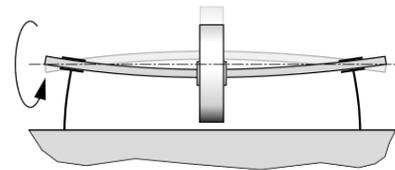


2te Schwingungseigenform eines Schiffsrumpfes

**Rotordynamik**

Rotierende Maschinen können durch umlaufende Massen Schwingungen hervorrufen. Bei elastischen Rotoren können die umlaufenden Massenkräfte zu Biegeschwingungen und Resonanzen führen. Ebenso können durch eine ungleichförmige Drehung Torsionsschwingungen angeregt werden.

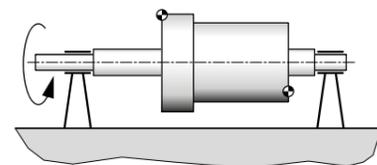
Die Kenntnis von biegekritischen und torsionskritischen Drehzahlen ist für die Konstruktion und den späteren Betrieb der Maschine von großer Bedeutung.



Elastische Welle mit Massescheibe

**Auswuchten von Rotoren**

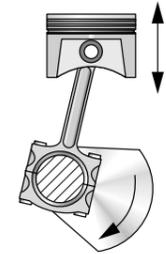
Die Schwingungen an rotierenden Maschinen lassen sich durch Auswuchten reduzieren. Hierbei werden die, durch die umlaufenden Massen hervorgerufenen, Erregerkräfte minimiert. Man versucht Schwerpunkt und Trägheitsachse des Rotors durch Anbringen oder Entfernen von Massen mit der Drehachse in Übereinstimmung zu bringen. Da das Auswuchten die Ursache der Schwingungen beseitigt, ist diese Maßnahme besonders sinnvoll.



Rotor mit Punkten zum Massenausgleich

**Hubkolbenmaschinen**

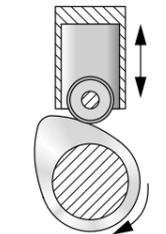
Bei Hubkolbenmaschinen spielt die Maschinendynamik eine große Rolle. Durch große hin- und hergehende sowie rotierende Massen entstehen vielfältige Massenkräfte, die bei einer ungünstigen Auslegung massive Schwingungsprobleme hervorrufen können. Durch Verteilung der Massen auf viele Zylinder, geeignete kinematische Verhältnisse und die Anordnung von Ausgleichsmassen können die resultierenden Massenkräfte klein gehalten werden. Damit wird ein schwingungsarmer Betrieb der Hubkolbenmaschine ermöglicht.



Kurbeltrieb

**Kurvengetriebe**

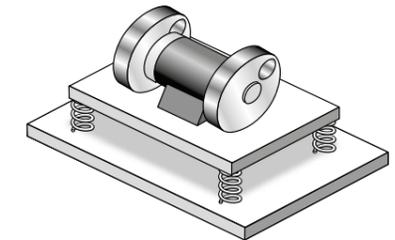
Kurvengetriebe werden benutzt, um eine rotierende Bewegung in eine beliebige, hin- und hergehende Bewegung umzusetzen. Anwendung finden Kurvengetriebe als Ventiltrieb bei Motoren oder in Verpackungsmaschinen. Ungünstig ausgelegte Kurvengetriebe erzeugen hohe Beschleunigungen und Massenkräfte. Dies hat Schwingungen und Geräusche zur Folge. Die Anwendung der Maschinendynamik erlaubt eine Auslegung mit geringstmöglichen Beanspruchungen und Vibrationen.



Nockenwelle mit Rollenstößel

**Maschinenfundamente und Lagerung zur Isolierung der Schwingung**

Maschinenfundamente oder -lager werden so ausgelegt, dass sie die Übertragung von Schwingungen von der Maschine auf die Umgebung weitgehend verhindern. Dies unterbindet unangenehme Vibrationen von Gebäuden, Anlagen oder Kraftfahrzeugen. Man spricht hierbei von Schwingungsisolierung. Mit den Methoden der Maschinendynamik werden die Eigenschaften der Maschinenlagerung bestimmt und die Auswirkungen auf die Umgebung berechnet.



Unwuchterzeuger auf federndem Fundament

**Inhalte der Maschinendynamik**

Lineare Schwinger mit einem Freiheitsgrad	TM 150, TM 150.02, TM 155
Lineare Schwinger mit mehreren Freiheitsgraden	TM 150, TM 140, TM 182
Schwingungen kontinuierlicher Systeme	HM 159.11, TM 625
Rotordynamik, biegekritische Drehzahlen	TM 620, TM 625, PT 500.10
Auswuchttechnik	TM 170, PT 500, PT 500.10, PT 502
Maschinendynamik der Hubkolbenmaschine	TM 180, PT 500.16
Schwingungen an Kurvengetrieben	GL 112
Schwingungsisolierung	TM 182, TM 182.01
Schwingungsmesstechnik, Grundlagen der Frequenzanalyse	PT 500 ff, HM 159.11, TM 182
Maschinenzustandsüberwachung	PT 500 ff, PT 501

GUNT bietet ein umfangreiches Programm verschiedener Versuchsgeräte zum Thema Maschinendynamik. Das Programm orientiert sich an einem typischen Curriculum für die Maschinendynamik. Zusätzlich werden Geräte auch für die Themen Schwingungsmesstechnik und Maschinendiagnose angeboten.