

	Mechanische Schwingungen Verfahren und Kriterien für das mechanische Auswuchten nachgiebiger Rotoren (ISO 11342 : 1998)	DIN ISO 11342												
ICS 21.120.40														
Mechanical vibration — Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors (ISO 11342 : 1998) Vibrations mécaniques — Méthodes et critères pour l'équilibrage mécanique des rotors flexibles (ISO 11342 : 1998)														
Die Internationale Norm ISO 11342, 2. Ausgabe 1998, „Mechanical vibration — Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors“, ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden. Nationales Vorwort Diese Übersetzung ist im Gemeinschaftsausschuß NALS/VDI C 6 „Auswuchten und Auswuchtmaschinen“ ausgearbeitet worden. Zu den im Inhalt zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen: <table><tr><td>ISO 1925 und ISO 1925/Amd. 1</td><td>siehe DIN ISO 1925</td></tr><tr><td>ISO 1940-1</td><td>siehe DIN ISO 1940-1</td></tr><tr><td>ISO 1940-2</td><td>siehe DIN ISO 1940-2</td></tr><tr><td>ISO 7919</td><td>siehe DIN ISO 7919-1, DIN ISO 7919-2, DIN ISO 7919-3 und DIN ISO 7919-4</td></tr><tr><td>ISO 8821</td><td>siehe DIN ISO 8821</td></tr><tr><td>ISO 10816</td><td>siehe DIN ISO 10816-1, DIN ISO 10816-2, DIN ISO 10816-3, DIN ISO 10816-4 und DIN ISO 10816-6</td></tr></table> Die Deutschen Normen sind im umseitigen Nationalen Anhang NA aufgeführt.			ISO 1925 und ISO 1925/Amd. 1	siehe DIN ISO 1925	ISO 1940-1	siehe DIN ISO 1940-1	ISO 1940-2	siehe DIN ISO 1940-2	ISO 7919	siehe DIN ISO 7919-1, DIN ISO 7919-2, DIN ISO 7919-3 und DIN ISO 7919-4	ISO 8821	siehe DIN ISO 8821	ISO 10816	siehe DIN ISO 10816-1, DIN ISO 10816-2, DIN ISO 10816-3, DIN ISO 10816-4 und DIN ISO 10816-6
ISO 1925 und ISO 1925/Amd. 1	siehe DIN ISO 1925													
ISO 1940-1	siehe DIN ISO 1940-1													
ISO 1940-2	siehe DIN ISO 1940-2													
ISO 7919	siehe DIN ISO 7919-1, DIN ISO 7919-2, DIN ISO 7919-3 und DIN ISO 7919-4													
ISO 8821	siehe DIN ISO 8821													
ISO 10816	siehe DIN ISO 10816-1, DIN ISO 10816-2, DIN ISO 10816-3, DIN ISO 10816-4 und DIN ISO 10816-6													
Fortsetzung Seite 2 bis 27														
Normenausschuß Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI														

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 1925

Mechanische Schwingungen — Auswuchttechnik — Begriffe (ISO 1925 : 1990 + Amd.1 : 1995)

DIN ISO 1940-1

Mechanische Schwingungen — Anforderungen an die Auswuchtgüte starrer Rotoren — Bestimmung der zulässigen Restunwucht; Identisch mit ISO 1940-1 : 1986

DIN ISO 1940-2

Mechanische Schwingungen — Anforderungen an die Auswuchtgüte starrer Rotoren — Teil 2: Abweichungen beim Auswuchten (ISO 1940-2 : 1997)

DIN ISO 7919-1

Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen — Messung und Bewertung von Wellenschwingungen — Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 7919-1 : 1996)

DIN ISO 7919-2

Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen — Messung und Bewertung von Wellenschwingungen — Teil 2: Große stationäre Dampfturbinen-Generatorsätze (ISO 7919-2 : 1996)

DIN ISO 7919-3

Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen — Messung und Bewertung von Wellenschwingungen — Teil 3: Gekuppelte industrielle Maschinen (ISO 7919-3 : 1996)

DIN ISO 7919-4

Mechanische Schwingungen von Maschinen mit Ausnahme von Kolbenmaschinen — Messung und Bewertung von Wellenschwingungen — Teil 4: Gasturbinensätze (ISO 7919-4 : 1996)

DIN ISO 8821

Mechanische Schwingungen — Vereinbarung über die Paßfeder-Art beim Auswuchten von Wellen und Verbundteilen; Identisch mit ISO 8821 : 1989

DIN ISO 10816-1

Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 1: Allgemeine Anleitungen (ISO 10816-1 : 1995)

DIN ISO 10816-2

Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 2: Große stationäre Dampfturbinen-Generatorsätze mit Leistungen über 50 MW (ISO 10816-2 : 1996)

DIN ISO 10816-3

Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 3: Industrielle Maschinen mit Nennleistungen über 15 kW und Nenndrehzahlen zwischen 120 min^{-1} und $15\,000 \text{ min}^{-1}$ bei Messungen am Aufstellungsort (ISO 10816-3 : 1998)

DIN ISO 10816-4

Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 4: Maschinensätze mit Antrieb durch Gasturbinen mit Ausnahme von Flug-Triebwerken (ISO 10816-4 : 1998)

DIN ISO 10816-6

Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen — Teil 6: Hubkolbenmaschinen mit Leistungen über 100 kW (ISO 10816-6 : 1995)

Deutsche Übersetzung

Mechanische Schwingungen

Verfahren und Kriterien für das mechanische Auswuchten nachgiebiger Rotoren

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	3	Anhang F (informativ) Beispiel zur Berechnung der zulässigen äquivalenten Unwuchten in den Eigenformen	25
Einleitung	4	Anhang G (informativ) Ein Verfahren zur Berechnung des Unwuchtausgleichs	25
1 Anwendungsbereich	4	Anhang H (informativ) Definitionen zu nachgiebigen Rotoren, entnommen aus ISO 1925 : 1990 und ISO 1925 : 1990/Amd. 1 : 1995	26
2 Normative Verweisungen	4	Anhang I (informativ) Literaturhinweise	27
3 Definitionen	4	Tabelle 1: Nachgiebige Rotoren	8
4 Grundlagen der Dynamik und des Auswuchtens nachgiebiger Rotoren	5	Tabelle 2: Auswuchtverfahren	10
5 Rotorkonfigurationen	7	Tabelle C.1: Vorgeschlagene Wertebereiche für die Korrekturfaktoren	21
6 Verfahren zum niedrigtourigen Auswuchten nachgiebiger Rotoren	10	Bild 1: Vereinfachte Eigenformen eines nachgiebigen Rotors in nachgiebigen Lagern	6
7 Verfahren zum hochtourigen Auswuchten nachgiebiger Rotoren	11	Bild 2: Beispiele möglicher Eigenformen mit Dämpfung	6
8 Bewertungskriterien	14	Bild B.1: Diagramm zur Bestimmung von H	20
9 Verfahren zur Bewertung	17	Bild D.1: Turbinenläufer	22
Anhang A (informativ) Hinweise zur Fehlervermeidung bei Rotoren am Einsatzort ...	19	Bild D.2: Hochlauf-Kurve vor dem Auswuchten	22
Anhang B (informativ) Auswuchten in den optimalen Ebenen — Niedrigtouriges Auswuchten in drei Ebenen	20	Bild G.1: Wirkung eines Satzes von Probierrmassen, als Vektor dargestellt	25
Anhang C (informativ) Korrekturfaktoren	21		
Anhang D (informativ) Beispiel zur Berechnung der äquivalenten Restunwuchten in den Eigenformen	22		
Anhang E (informativ) Verfahren zur Feststellung, ob ein Rotor starr oder nachgiebig ist	24		

Vorwort

Die ISO (Internationale Organisation für Normung) ist die weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitglieds Körperschaften). Die Erarbeitung Internationaler Normen obliegt den Technischen Komitees der ISO. Jede Mitglieds Körperschaft, die sich für ein Thema interessiert, für das ein Technisches Komitee eingesetzt wurde, ist berechtigt, in diesem Komitee mitzuarbeiten. Internationale (staatliche und nichtstaatliche) Organisationen, die mit der ISO in Verbindung stehen, sind an den Arbeiten ebenfalls beteiligt. Die ISO arbeitet bei allen Angelegenheiten der elektrotechnischen Normung eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die von den Technischen Komitees verabschiedeten internationalen Norm-Entwürfe werden den Mitglieds Körperschaften zur Abstimmung vorgelegt. Die Veröffentlichung als Internationale Norm erfordert Zustimmung von mindestens 75 % der abstimmenden Mitglieds Körperschaften.

Die Internationale Norm ISO 11342 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration and shock“, Unterkomitee SC 1 „Balancing, including balancing machines“, erstellt.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 11342 : 1994), die inhaltlich überarbeitet wurde.

Die Anhänge A bis I dieser Internationalen Norm dienen nur der Information.

Einleitung

Einen Rotor auszuwuchten geschieht stets mit dem Ziel, daß er zufriedenstellend läuft, wenn er am Einsatzort aufgestellt ist. In diesem Zusammenhang bedeutet „zufriedenstellend laufen“, daß die Restunwucht des Rotors nur solche Schwingungen hervorruft, deren Größe noch akzeptiert werden kann. Bei einem nachgiebigen Rotor bedeutet das zusätzlich, daß bei allen Drehzahlen bis hinauf zur höchsten Betriebsdrehzahl nur solche Durchbiegungen des Rotors auftreten, deren Größe noch akzeptiert werden kann.

Meistens werden Rotoren vor dem Zusammenbau der Maschine während der Fertigung ausgewuchtet, da andernfalls z. B. der Zugang zum Rotor eingeschränkt sein kann. Darüber hinaus ist das Auswuchten des Rotors häufig dasjenige Stadium, in dem der Rotor vom Kunden abgenommen wird. Obwohl es das Ziel ist, daß der Rotor am Einsatzort zufriedenstellend läuft, wird üblicherweise seine Auswuchtgüte erst einmal in einer Auswuchtanlage beurteilt. Bei der Beurteilung, ob der Rotor am Einsatzort zufriedenstellend läuft, werden meistens alle Schwingungen einbezogen, während in der Auswuchtanlage hauptsächlich die umlauffrequenten Wirkungen betrachtet werden.

Diese Internationale Norm unterteilt Rotoren entsprechend ihren Auswuchtanforderungen und legt Verfahren zur Beurteilung der Restunwucht fest.

Diese Internationale Norm zeigt auch auf, wie Kriterien zur Anwendung beim Auswuchten in einer Auswuchtanlage abgeleitet werden können, und zwar sowohl aus Grenzwerten für die Schwingungen, die für die zusammengebaute und aufgestellte Maschine festgelegt sind, als auch aus Grenzwerten für die Unwucht, die für den Rotor festgelegt sind. Wenn solche Grenzwerte nicht vorliegen, so zeigt diese Internationale Norm auf, wie sie aus ISO 7919 und ISO 10816 abgeleitet werden können, wenn es um Schwingungswerte geht, bzw. wie sie aus ISO 1940-1 abgeleitet werden können, wenn es um Werte der zulässigen Restunwucht geht. ISO 1940 behandelt die Auswuchtgüte rotierender starrer Körper und gilt nicht ohne weiteres für nachgiebige Rotoren, da nachgiebige Rotoren eine merkliche Durchbiegung aufweisen können. In Abschnitt 8.3 dieser Internationalen Norm werden dessen ungeachtet Verfahren dargestellt, wie sich die Kriterien nach ISO 1940-1 auf nachgiebige Rotoren übertragen lassen.

Da diese Internationale Norm in vielen Punkten eine Ergänzung zu ISO 1940 darstellt, wird empfohlen, sofern zutreffend, beide Normen gemeinsam heranzuziehen.

Es kann vorkommen, daß ein anderweitig akzeptabel ausgewuchteter Rotor am Einsatzort inakzeptable Schwingungswerte aufgrund von Resonanzen der Aufstellungsstruktur aufweist. In einer Struktur mit geringer Dämpfung kann eine Resonanz oder die Nähe einer Resonanz zu einer immensen Schwingungsantwort auf eine kleine Unwucht führen. In solchen Fällen kann es günstiger sein, die Eigenfrequenz oder die Dämpfung der Struktur zu ändern als sehr fein auszuwuchten, ein Zustand, der im Laufe der Zeit eventuell nicht aufrechterhalten werden kann (siehe auch ISO 10814).

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gibt bezüglich ihrer Merkmale und Auswuchtanforderungen typische Konfigurationen nachgiebiger Rotoren an, beschreibt Auswuchtverfahren, legt Verfahren zur Beurteilung des erreichten Unwuchtzustandes fest und enthält einen Leitfaden zu Kriterien für die Auswuchtgüte.

Diese Internationale Norm kann auch als Grundlage für eingehendere Untersuchungen dienen, z. B. wenn eine sehr genaue Bestimmung der erforderlichen Auswuchtgüte notwendig ist. Wenn die festgelegten Fertigungsverfahren und die Grenzwerte für die Unwucht gebührend berücksichtigt werden, können Bedingungen für eine zufriedenstellende Laufgüte erwartet werden.

Es ist nicht der Zweck dieser Internationalen Norm, als Abnahmespezifikation für einen Rotor zu dienen; vielmehr enthält sie darüber Angaben, wie grobe Fehler und/oder unnötig strenge Anforderungen vermieden werden.

Das Thema Strukturresonanzen und ihre Behandlung fällt nicht in den Anwendungsbereich dieser Internationalen Norm.

Die angegebenen Verfahren und Kriterien beruhen auf der Erfahrung mit allgemeinen Maschinen in der Industrie; sie dürfen nicht ohne weiteres auf Sondermaschinen oder auf außergewöhnliche Umstände übertragen werden. Es kann daher Fälle geben, in denen Abweichungen von dieser Internationalen Norm notwendig sein können¹⁾.

¹⁾ Angaben zu solchen Ausnahmen sind erwünscht und sollten der nationalen Normungsorganisation des Landes mitgeteilt werden, in dem sie auftreten, damit sie an das Sekretariat des ISO/TC 108/SC 1 weitergeleitet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil der vorliegenden Internationalen Norm sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser Internationalen Norm waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle normativen Dokumente unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf dieser Internationalen Norm basieren, werden gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, ob die jeweils neuesten Ausgaben der im folgenden genannten Normen angewendet werden können. Die Mitglieder von IEC und ISO führen Verzeichnisse der gegenwärtig gültigen Internationalen Normen.

ISO 1925 : 1990

Mechanical vibration — Balancing — Vocabulary

ISO 1940-1 : 1986

Mechanical vibration — Balance quality requirements of rigid rotors — Part 1: Determination of permissible residual unbalance

ISO 1940-2 : 1997

Mechanical vibration — Balance quality requirements of rigid rotors — Part 2: Balance errors

ISO 2041 : 1990

Vibration and shock — Vocabulary

ISO 8821 : 1989

Mechanical vibration — Balancing — Shaft and fitment key convention

3 Definitionen

Für die Anwendung dieser Internationalen Norm gelten die Definitionen zum mechanischen Auswuchten nach ISO 1925 und die Definitionen zu Schwingungen nach ISO 2041.

ANMERKUNG: Definitionen zu nachgiebigen Rotoren nach ISO 1925 sind in Anhang H zur Information angegeben.

4 Grundlagen der Dynamik und des Auswuchtens nachgiebiger Rotoren

4.1 Allgemeines

Bei nachgiebigen Rotoren ist es in der Regel erforderlich, sie in mehreren Ebenen hochtourig auszuwuchten. Trotzdem kann unter bestimmten Bedingungen ein nachgiebiger Rotor auch niedrigtourig ausgewuchtet werden. Für das hochtourige Auswuchten sind zwei verschiedene Verfahren mit dem Ziel entwickelt worden, einen zufriedenstellenden Auswuchtzustand zu erreichen, nämlich das Auswuchten nach Eigenformen und das Einflußkoeffizienten-Verfahren. Die diesen beiden Verfahren zugrundeliegende Theorie und ihre jeweiligen Vorteile sind in der Literatur ausgiebig dargelegt, deshalb wird an dieser Stelle auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet. Meistens ist das beim Auswuchten in der Praxis angewandte und übliche Verfahren eine Kombination dieser beiden Verfahren, häufig in Form eines Rechnerprogramms.

4.2 Unwuchtverteilung

Die Auslegung und das Herstellungsverfahren des Rotors können die Größe der Unwucht und ihre Verteilung entlang der Rotorachse erheblich beeinflussen. Rotoren können aus einem einzigen geschmiedeten Rohling gedreht oder durch das Zusammenfügen mehrerer Bauteile hergestellt sein. Beispielsweise werden die Rotoren von Strahltriebwerken durch die Verbindung vieler trommel- und scheibenförmiger Bauteile sowie Schaufeln hergestellt. Generatorläufer jedoch sind üblicherweise aus einem einzigen geschmiedeten Rohling gefertigt, an den weitere Bauteile angebaut sind. Durch große Unwuchten, die von aufgeschrumpften Scheiben, Kupplungen usw. herrühren, kann die Unwuchtverteilung ebenfalls erheblich beeinflusst werden.

Da die Unwuchtverteilung entlang der Rotorachse im allgemeinen zufallsbedingt ist, ist die Verteilung entlang zweier Rotoren mit identischem Aufbau unterschiedlich. Bei einem nachgiebigen Rotor ist die Unwuchtverteilung von größerer Bedeutung als bei einem starren Rotor, da sie den Grad bestimmt, bis zu dem die Biegeeigenformen angeregt werden. Die Wirkung der Unwucht an jedem Punkt entlang eines Rotors hängt von den Eigenformen des Rotors ab.

Der Unwuchtausgleich in Radialebenen des Rotors, die nicht denen entsprechen, in denen die Unwucht auftritt, kann Schwingungen bei solchen Drehzahlen entstehen lassen, die nicht mit denen gleich sind, bei denen der Rotor ursprünglich ausgewuchtet wurde. Diese Schwingungen können vorgegebene Grenzwerte überschreiten, insbesondere bei oder in der Nähe von Biegeresonanz-Drehzahlen. Solch ein Ausgleich kann sogar bei derselben Drehzahl zu Schwingungen führen, wenn die Biegeeigenformen am Einsatzort von denen abweichen, die während des Auswuchtens vorherrschten.

Desweiteren zeigen manche Rotoren, die sich während des Betriebs erwärmen, thermische Verformungen, die zu einer Änderung der Unwucht führen können. Wenn sich die Unwucht des Rotors von einem Lauf zum nächsten erheblich ändert, kann das Ziel unerreichbar sein, den Rotor unter vorgegebene Grenzwerte auszuwuchten.

4.3 Eigenformen nachgiebiger Rotoren

Wird der Einfluß von Dämpfung vernachlässigt, sind die Eigenformen des Rotors seine Biegeeigenformen; wenn der Rotor in Lagern abgestützt ist, die in allen radialen

Richtungen dieselbe Steifigkeit haben^{N1)}, sind die Eigenformen umlaufende ebene Linien. Bild 1 zeigt diese typischen Linien für die ersten drei Eigenformen eines einfachen Rotors, der nahe an seinen Enden in nachgiebigen Lagern abgestützt ist.

Bei einem System Rotor/Lagerung mit Dämpfung können die Biegeeigenformen räumliche Linien sein, die um die Schaftachse rotieren; das gilt insbesondere im Fall hoher Dämpfung, die z. B. von ölgeschmierten Gleitlagern herrührt. Wie die erste und die zweite Eigenform mit Dämpfung möglicherweise aussehen, ist in Bild 2 dargestellt. Häufig können für die gedämpften Eigenformen näherungsweise die Eigenformen des ungedämpften Systems genommen werden, so daß sie als umlaufende ebene Linien angesehen werden können.

Es ist anzumerken, daß die Gestalt der Eigenformen und das Verhalten des Rotors gegenüber Unwuchten in starkem Maße von den dynamischen Eigenschaften und der axialen Anordnung der Lager und ihrer Abstützung beeinflusst wird.

4.4 Antwortverhalten eines nachgiebigen Rotors gegenüber Unwucht

Die Unwuchtverteilung kann als Funktion der Unwucht in den Eigenformen angegeben werden. Die Auslenkung jeder Eigenform ist durch die Unwucht in dieser Eigenform bestimmt. Dreht sich ein Rotor mit einer Drehzahl, die in der Nähe einer Resonanzdrehzahl liegt, bestimmt üblicherweise die Eigenform die Durchbiegung des Rotors, die zu dieser Resonanzdrehzahl gehört. Der Grad, bis zu dem unter diesen Umständen große Durchbiegungen des Rotors vorkommen, ist abhängig hauptsächlich von

- a) der Größe der modalen Unwuchten,
- b) der Nähe der aktuellen Drehzahl zu einer Resonanzdrehzahl und
- c) dem Betrag der Dämpfung in dem System Rotor/Lagerung.

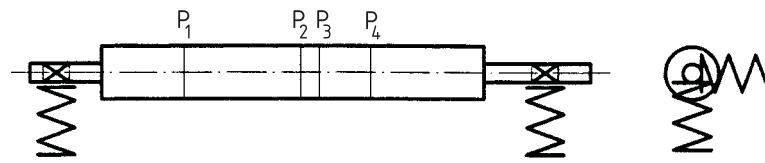
Wird eine bestimmte modale Unwucht durch Anbringung mehrerer diskreter Ausgleichsmassen verringert, verringert sich der dazugehörige modale Anteil an der Durchbiegung in gleicher Weise. Verringerung der modalen Unwuchten in der gezeigten Weise ist das Prinzip der Auswuchtverfahren, die in dieser Internationalen Norm beschrieben sind.

Die modalen Unwuchten einer Unwuchtverteilung sind eine Funktion der Biegeeigenformen des Rotors. Bei einem vereinfachten Rotor wie in Bild 1 hängt die Wirkung eines Ausgleichsvorgangs auf eine Eigenform von der radialen Auslenkung dieser Eigenform an der axialen Stelle ab, in der der Ausgleichsvorgang stattfindet: maximale Wirkung in den Bäuchen, geringste Wirkung in der Nähe der Knoten. Wenn beispielsweise die Linien in den Bildern 1b) bis 1d) die Eigenformen des Rotors nach Bild 1a) sind, hat eine Ausgleichsmasse in der Ebene P₃ maximale Wirkung auf die erste Eigenform, während ihre Wirkung auf die zweite Eigenform gering ist.

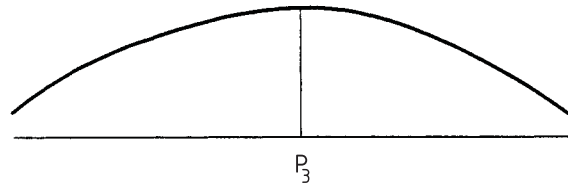
Eine Ausgleichsmasse in der Ebene P₂ hat auf die zweite Eigenform überhaupt keine Wirkung, beeinflusst aber die beiden anderen Eigenformen.

Ausgleichsmassen in den Ebenen P₁ und P₄ wirken sich auf die dritte Eigenform nicht aus, beeinflussen aber die beiden anderen Eigenformen.

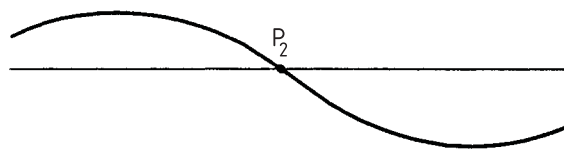
^{N1)} Nationale Fußnote: Wesentlich ist, daß die Lager dieselbe Steifigkeit bewirken.



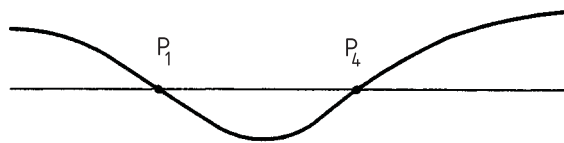
a) Typischer Rotor



b) Erste Biegeeigenform



c) Zweite Biegeeigenform



d) Dritte Biegeeigenform

ANMERKUNG: P_1 , P_2 und P_4 sind Knoten, P_3 ist ein Bauch.

Bild 1: Vereinfachte Eigenformen eines nachgiebigen Rotors in nachgiebigen Lagern

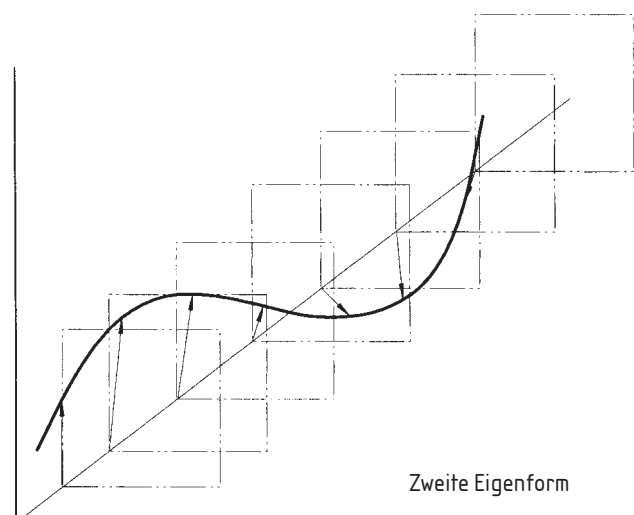
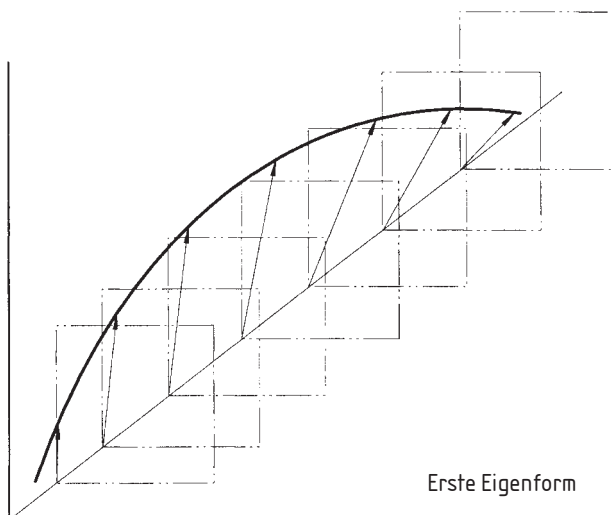


Bild 2: Beispiele möglicher Eigenformen mit Dämpfung

4.5 Ziele des Auswuchtens nachgiebiger Rotoren

Die Ziele des Auswuchtens werden von den Anforderungen an den Betriebszustand der Maschine bestimmt. Bevor ein Rotor ausgewuchtet wird, sollte entschieden werden, welche Art von Auswuchtgüte als zufriedenstellend angesehen werden kann. Auf diese Weise kann der Auswuchtvorgang effizient und wirtschaftlich sein, während er gleichzeitig den Bedürfnissen des Anwenders genügt.

Es ist das Ziel des Auswuchtens, akzeptable Werte für die von der Unwucht erzeugten Schwingungen der Maschine, die Durchbiegungen der Welle und die Kräfte, die auf die Lager wirken, zu erreichen.

Das Ideal beim Auswuchten nachgiebiger Rotoren besteht darin, die örtliche Unwucht in jedem Längenelement durch Auswuchtmaßnahmen an dem Element selbst auszugleichen. Dadurch würde der Massenmittelpunkt jedes Längenelements auf der Schaftachse des Rotors liegen.

Ein auf diese ideale Weise ausgewuchteter Rotor hätte weder eine statische Unwucht noch eine Momentenunwucht noch Unwuchten in den einzelnen Eigenformen. Solch ein vollkommen ausgewuchteter Rotor würde bei allen Drehzahlen zufriedenstellend laufen (soweit es die Unwucht betrifft).

In der Praxis wird die nötige Verminderung der Unwucht üblicherweise dadurch erreicht, daß in einer begrenzten Anzahl von Ausgleichsebenen Masse hinzugefügt oder abgenommen wird. Auch nach dem Auswuchten gibt es immer eine gewisse über den Rotor verteilte Restunwucht.

Schwingungen oder Schwingkräfte aufgrund dieser Restunwucht müssen im Betriebsdrehzahlbereich auf akzeptable Werte verringert werden. Nur in besonderen Fällen reicht es aus, nachgiebige Rotoren bei nur einer einzigen Drehzahl auszuwuchten. Es sei angemerkt, daß ein Rotor, der für einen vorgegebenen Betriebsdrehzahlbereich zufriedenstellend ausgewuchtet ist, erhebliche Schwingungen ausführen kann, wenn er auf dem Weg zur Betriebsdrehzahl durch eine Resonanzdrehzahl laufen muß. Beim Durchlaufen einer Resonanzdrehzahl dürfen die zulässigen Schwingungen jedoch größer als die bei Betriebsdrehzahl zulässigen sein.

Welches Auswuchtverfahren auch immer angewandt wird, es ist das Ziel, die Unwuchtverteilung derart auszugleichen, daß die Wirkungen der Unwucht bei allen Drehzahlen bis hinauf zur höchsten Betriebsdrehzahl einschließlich Hochfahren, Auslauf und möglicherweise Schleudern minimiert werden. Bei der Verfolgung dieses Ziels kann es notwendig sein, den Einfluß von Eigenformen, die zu Resonanzdrehzahlen oberhalb des Betriebsdrehzahlbereichs gehören, zu berücksichtigen.

4.6 Vorzusehende Ausgleichsebenen

Die genaue Anzahl von benötigten Stellen (Ausgleichsebenen) entlang der Rotorachse hängt in gewissem Maße von dem angewandten Auswuchtverfahren ab. Beispielsweise werden die zusammengebauten Läufer von

Zentrifugalkompressoren manchmal nur in den Endebenen ausgewuchtet, nachdem jede Scheibe und die Welle für sich in einer Auswuchtmaschine niedrigtourig ausgewuchtet wurden. Wenn die Drehzahl des Rotors die n -te Biegeresonanz-Drehzahl erreicht oder übersteigt, dann sind jedoch im allgemeinen mindestens n und üblicherweise $n + 2$ Ausgleichsebenen entlang des Rotors notwendig.

Schon während der Konstruktion sollte eine ausreichende Anzahl von Ausgleichsebenen an geeigneten Stellen entlang der Rotorachse vorgesehen werden. In der Praxis ist die Anzahl von Ausgleichsebenen oft durch konstruktive Vorgaben und beim Betriebsauswuchten durch eine verminderte Zugänglichkeit beschränkt.

4.7 Gekoppelte Rotoren

Wenn zwei Rotoren zusammengekuppelt sind, hat die ganze Einheit eine Reihe von Resonanzdrehzahlen und Eigenformen. Im allgemeinen sind diese Drehzahlen den Resonanzdrehzahlen der einzelnen, ungekuppelten Rotoren weder gleich noch auf eine einfache Weise verwandt. Weiterhin braucht die Verformung jedes Teils der gekuppelten Einheit nicht auf eine einfache Weise verwandt zu irgendeiner Eigenform zu sein, die dieser Rotor in ungekuppeltem Zustand hat. Daher sollte die Unwuchtverteilung von zwei oder mehreren gekuppelten Rotoren idealerweise in Abhängigkeit von den modalen Unwuchten des gekuppelten Systems und nicht der ungekuppelten Rotoren bewertet werden.

Aus Gründen der Praktikabilität wird meistens jeder Rotor als ungekuppelte Welle einzeln ausgewuchtet, und dieses Vorgehen stellt üblicherweise einen zufriedenstellenden Betriebszustand der gekuppelten Rotoren sicher. Der Grad, bis zu dem diese Technik angewandt werden darf, ist abhängig z. B. von den Eigenformen und den Resonanzdrehzahlen der ungekuppelten und gekuppelten Rotoren, der Unwuchtverteilung, der Art der Kupplung und der Lageranordnung des Wellenstrangs.

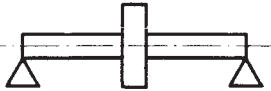
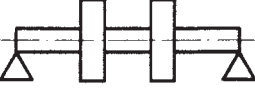
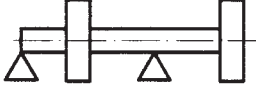
Wenn darüber hinaus Auswuchten am Einsatzort erforderlich ist, sollte Anhang A beachtet werden.

5 Rotorkonfigurationen

Tabelle 1 zeigt typische Rotorkonfigurationen, nennt ihre Merkmale und führt empfohlene Auswuchtverfahren auf. Die Tabelle beschreibt die Merkmale des Rotors ganz knapp; ausführlich werden diese Merkmale/Anforderungen zusammen mit den dazugehörigen Verfahren in den Abschnitten 6 und 7 beschrieben. Die Verfahren sind in Tabelle 2 aufgeführt.

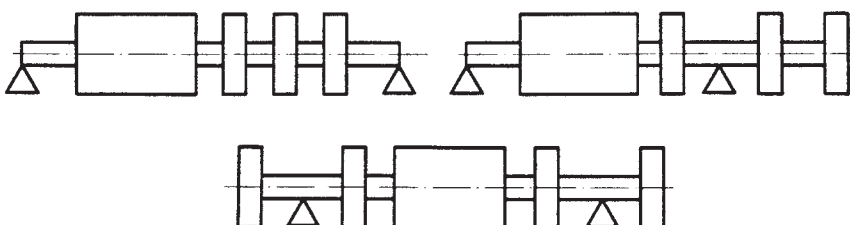
Manchmal kann es angeraten sein, Auswuchtverfahren zu kombinieren. Wenn mehr als ein Auswuchtverfahren angewandt werden kann, so sind sie in aufsteigender Reihenfolge nach Zeit- und Kostenaufwand angegeben. Rotoren beliebiger Konfiguration können stets bei mehreren Drehzahlen ausgewuchtet werden (siehe 7.3), unter besonderen Umständen gelegentlich auch bei der Betriebsdrehzahl (siehe 7.4) oder bei einer festen Drehzahl (siehe 7.5).

Tabelle 1: Nachgiebige Rotoren

Konfiguration	Merkmale des Rotors	Empfohlenes Auswuchtverfahren (siehe Tabelle 2) (Legende zu A bis G siehe Tabellenende)
1.1 Scheiben	Nachgiebige Welle ohne Unwucht, starre Scheibe(n)	
 	Eine einzelne Scheibe — rechtwinklig zur Schaftachse — mit Planlaufabweichung	A; C B; C
  	Zwei Scheiben — rechtwinklig zur Schaftachse — mit Planlaufabweichung ● mindestens eine Scheibe lösbar ● alle Bauteile untrennbar	B; C B + C, E G
  	Mehr als zwei Scheiben — alle Scheiben (bis auf eine) lösbar — alle Bauteile untrennbar	B + C, D, E G
1.2 Starre Abschnitte	Nachgiebige Wellen ohne Unwuchten, starre Abschnitte	
 	Ein einzelner starrer Abschnitt — lösbar — alle Bauteile untrennbar	B; C; E B
 	Zwei starre Abschnitte — mindestens ein Abschnitt lösbar — alle Bauteile untrennbar	B + C; E G
  	Mehrere (mehr als zwei) starre Abschnitte — alle Abschnitte (bis auf einen) lösbar — alle Bauteile untrennbar	B + C; E G

(fortgesetzt)

Tabelle 1 (abgeschlossen)

Konfiguration	Merkmale des Rotors	Empfohlenes Auswuchtverfahren (siehe Tabelle 2) (Legende zu A bis G siehe Tabellenende)
1.3 Scheiben und starre Abschnitte	Nachgiebige Welle ohne Unwucht, starre Scheiben und Abschnitte	
 	Eine Scheibe und ein Abschnitt — mindestens ein Bauteil lösbar — alle Bauteile untrennbar	B + C; E G
	Mehrere Bauteile — alle (bis auf eines) lösbar — alle Bauteile untrennbar	B + C; E G
1.4 Walzen	Masse, Elastizität und Unwucht über die ganze Rotorachse verteilt	
	— unter besonderen Bedingungen — allgemein	F G
1.5 Walzen und Scheiben/starre Abschnitte	Nachgiebige Walze, starre Scheiben und Abschnitte	
 	— Scheiben/starre Abschnitte lösbar • unter besonderen Bedingungen • allgemein — alle Bauteile untrennbar	C + F; E + F G G
1.6 Rotor beliebiger Bauform	Masse, Elastizität und Unwucht über die ganze Rotorachse verteilt	
	unwuchtbehaftete wesentliche Bauteile nicht lösbar	G
A = Ein-Ebenen-Auswuchten B = Zwei-Ebenen-Auswuchten C = Auswuchten einzelner Bauteile vor dem Zusammenbau D = Auswuchten nach Begrenzung der Urunwucht^{N2)} E = schrittweises Auswuchten während des Zusammenbaus F = Auswuchten in den optimalen Ebenen G = Auswuchten bei mehreren Drehzahlen Unter besonderen Umständen können die beiden zusätzlichen Auswuchtverfahren H und I (siehe 7.4 und 7.5) angewandt werden. ^{N2)} Nationale Fußnote: In ISO 11342 : 1998 fehlt diese Angabe des Auswuchtverfahrens D.		