

**DIN ISO 19499**

ICS 17.160; 21.120.40

**Mechanische Schwingungen –  
Auswuchttechnik –  
Einführung und Leitfaden für die Auswahl und Anwendung von  
Auswuchtnormen (ISO 19499:2007)**

Mechanical vibration –  
Balancing –  
Guidance on the use and application of balancing standards (ISO 19499:2007)

Vibrations mécaniques –  
Équilibrage –  
Lignes directrices pour l'utilisation et l'application de normes d'équilibrage  
(ISO 19499:2007)

Gesamtumfang 42 Seiten

Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) im DIN und VDI

## Nationales Vorwort

Die Internationale Norm ISO 19499:2007 „Mechanical vibration — Balancing — Guidance on the use and application of balancing standards“ ist vom ISO/TC 108 „Mechanical vibration, shock and condition monitoring“ unter deutscher Beteiligung erarbeitet worden. Die deutsche Übersetzung wurde im Ausschuss NA 001-03-06-01 (NALS/VDI C 6.1) „Auswuchten und Auswuchtmaschinen“ ausgearbeitet.

Die Arbeit an dieser Norm begann mit dem Vorhaben, die plakative Aufteilung der Rotoren und damit der Normen in „starre“ und „nachgiebige“ Rotoren zu überwinden. Da heute immer mehr Rotoren aus dem starren in den nachgiebigen Bereich wechseln, manchmal auch je nach Einsatzbedingungen hier oder dort anzusiedeln sind, wurde nach einer alle Bereiche überbrückenden Darstellung gesucht. Der hier verwendete Begriff „Verhalten des Rotors“ ermöglicht diese Darstellung der ganzen Palette von Auswuchtproblemen, was umso wichtiger ist, da die verschiedenen Verhaltensweisen mit ganz unterschiedlichen Auswuchtverfahren behandelt werden müssen.

„Guidance“ wurde mit „Einführung und Leitfaden“ übersetzt, da sich ein großer Teil der Norm mit grundlegenden Erläuterungen zu der Unwucht und dem Rotorverhalten befasst, wie sie in keiner anderen Norm enthalten sind. Hinzu kommt eine kurze Darstellung derjenigen Normen, die für das Auswuchten von Bedeutung sind, sodass sich schnell ein Überblick über das Gebiet der Auswuchttechnik gewinnen lässt.

Die vorliegende Norm ist ein Anfang, der als Basis für eine Weiterentwicklung in den kommenden Jahren dienen kann. Dabei sind Anregungen und Hinweise aus Industrie und Forschung wichtige Bausteine.

Zu den in diesem Dokument genannten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 1925:2001      siehe    DIN ISO 1925:2002

ISO 1940-1        siehe    DIN ISO 1940-1

ISO 1940-2        siehe    DIN ISO 1940-2

ISO 7475            siehe    DIN ISO 7475

Normen der        siehe    Normen der  
Reihe ISO 7919     Reihe DIN ISO 7919

ISO 8821            siehe    DIN ISO 8821

Normen der        siehe    Normen der  
Reihe ISO 10816   Reihe DIN ISO 10816

ISO 11342:1998    siehe    DIN ISO 11342:1999

ISO 20806          siehe    DIN ISO 20806

ISO 3719 wurde nicht als DIN-ISO-Norm herausgegeben, da die ISO-Norm die wesentlichen Benennungen bereits auf Deutsch enthält.

## Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN ISO 1925:2002-05, *Mechanische Schwingungen — Auswuchttechnik — Begriffe (ISO 1925:2001)*

DIN ISO 1940-1, *Mechanische Schwingungen — Anforderungen an die Auswuchtgüte von Rotoren in konstantem (starrem) Zustand — Teil 1: Festlegung und Nachprüfung der Unwuchttoleranz*  
(einschließlich Berichtigung 1)

DIN ISO 1940-2, *Mechanische Schwingungen — Anforderungen an die Auswuchtgüte starrer Rotoren — Teil 2: Abweichungen beim Auswuchten*

DIN ISO 7475, *Mechanische Schwingungen — Auswuchtmaschinen — Verkleidungen und andere Schutzmaßnahmen für die Messstation*

Normen der Reihe DIN ISO 7919, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an rotierenden Wellen*

DIN ISO 8821, *Mechanische Schwingungen — Vereinbarung über die Passfeder-Art beim Auswuchten von Wellen und Verbundteilen*

Normen der Reihe DIN ISO 10816, *Mechanische Schwingungen — Bewertung der Schwingungen von Maschinen durch Messungen an nicht-rotierenden Teilen*

DIN ISO 11342:1999-05, *Mechanische Schwingungen — Verfahren und Kriterien für das mechanische Auswuchten nachgiebiger Rotoren (ISO 11342:1998)*  
(einschließlich Berichtigung 1)

DIN ISO 20806, *Mechanische Schwingungen — Kriterien und Sicherheitshinweise für das Auswuchten von mittleren und großen Rotoren am Aufstellungsort*

# Mechanische Schwingungen

## Auswuchttechnik

Einführung und Leitfaden für die Auswahl und Anwendung von Auswuchtnormen

### Inhalt

|                                                                                                                                    | Seite |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Einleitung.....                                                                                                                    | 5     |
| 1 Anwendungsbereich .....                                                                                                          | 6     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                                                                     | 6     |
| 3 Begriffe .....                                                                                                                   | 6     |
| 4 Grundlagen des Auswuchtens .....                                                                                                 | 6     |
| 4.1 Allgemeines.....                                                                                                               | 6     |
| 4.2 Unwuchtverteilung.....                                                                                                         | 7     |
| 4.3 Darstellung des Unwuchtzustands .....                                                                                          | 7     |
| 5 Überlegungen zum Auswuchten .....                                                                                                | 8     |
| 5.1 Allgemeines .....                                                                                                              | 8     |
| 5.2 Rotoren mit starrem Verhalten .....                                                                                            | 8     |
| 5.3 Rotoren mit wellenelastischem Verhalten .....                                                                                  | 9     |
| 5.4 Rotoren mit speziellem Verhalten .....                                                                                         | 10    |
| 5.5 Beispiele für das Verhalten von Rotoren .....                                                                                  | 10    |
| 5.6 Einflussfaktoren.....                                                                                                          | 11    |
| 6 Auswuchttoleranzen.....                                                                                                          | 12    |
| 6.1 Allgemeines .....                                                                                                              | 12    |
| 6.2 Zulässige Restunwuchten .....                                                                                                  | 12    |
| 6.3 Grenzwerte für Schwingungen.....                                                                                               | 12    |
| 7 Auswahl eines Auswuchtverfahrens .....                                                                                           | 13    |
| 7.1 Allgemeines .....                                                                                                              | 13    |
| 7.2 Auswahl eines Auswuchtverfahrens, wenn keines spezifiziert ist.....                                                            | 14    |
| 8 Internationale Normen über das Auswuchten .....                                                                                  | 19    |
| 8.1 Allgemeines .....                                                                                                              | 19    |
| 8.2 Begriffe .....                                                                                                                 | 20    |
| 8.3 Auswuchtverfahren und -toleranzen .....                                                                                        | 20    |
| 8.4 Auswuchtmaschinen .....                                                                                                        | 21    |
| 8.5 Maschinen-Auslegung für das Auswuchten .....                                                                                   | 22    |
| 8.6 Maschinenschwingungen .....                                                                                                    | 22    |
| Anhang A (informativ) Mathematische und graphische Darstellung des Unwuchtzustands.....                                            | 24    |
| Anhang B (informativ) Beispiele für verschiedenes Rotorverhalten (Anzeige an einer typischen kraftmessenden Auswuchtmaschine)..... | 34    |
| Anhang C (informativ) Abschätzung der Wellenelastizität eines Rotors aus seiner äußeren Form .....                                 | 39    |
| Literaturhinweise .....                                                                                                            | 42    |

## Einleitung

Unwuchtbedingte Schwingungen von Rotoren gehören zu den kritischsten Bereichen bei der Herstellung und Wartung von Maschinen. Die infolge der Unwucht steigenden dynamischen Kräfte haben negative Auswirkungen einerseits auf die Maschinen selbst, andererseits auf die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen. Diese Internationale Norm beschreibt einen allgemeinen Rahmen für das Auswuchten von Rotoren, sodass sich die geeigneten Auswuchtmethoden anwenden lassen. Indem diese Internationale Norm in verschiedene Arten von Unwuchten gliedert, bildet sie einen zuverlässigen Wegweiser zu anderen Internationalen Normen über das Auswuchten. In diesem Sinne kann sie als eine einführende Norm in die Gruppe der Internationalen Normen über das Auswuchten angesehen werden, die vom ISO/TC 108 erstellt wurden.

Das Auswuchten wird umfassend erläutert, ebenso der Unwuchtzustand eines Rotors. Des Weiteren wird eine bestimmte Art der Darstellung der Unwucht empfohlen, um zu einem einfacheren Verständnis des notwendigen Unwuchtausgleichs zu kommen.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gibt eine Einführung in das Auswuchten und leitet den Leser durch die zur Verfügung stehenden Normen, die sich mit dem Auswuchten von Rotoren befassen. Sie gibt Hinweise, welche dieser Normen angewandt werden sollten. Die einzelnen Verfahren sind hier nicht enthalten, da sie in den entsprechenden Internationalen Normen zu finden sind.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 1925:2001, *Mechanical vibration — Balancing — Vocabulary*

ISO 2041, *Vibration and shock — Vocabulary*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 1925 und ISO 2041.

## 4 Grundlagen des Auswuchtens

### 4.1 Allgemeines

Auswuchten ist ein Vorgang, bei dem die Massenverteilung eines Rotors (oder einer Baugruppe, eines Bauteils) geprüft und, wenn nötig, korrigiert wird, um sicherzustellen, dass die Auswucht toleranzen eingehalten werden.

Die Unwucht eines Rotors kann viele Ursachen haben, z. B. Material, Fertigung und Montage, Verschleiß während des Betriebs, Ablagerungen oder einen Vorfall beim Betrieb. Es ist eine Tatsache, dass jeder Rotor eine individuelle Unwuchtverteilung hat, auch in der Serienproduktion.

Neue Rotoren werden im Allgemeinen vom Hersteller auf speziell ausgelegten Auswuchtmaschinen ausgewuchtet, bevor sie in ihrer Betriebsumgebung installiert werden. Nach einer Überarbeitung oder einer Reparatur können Rotoren ebenfalls in einer Auswuchtmaschine nachgewuchtet werden. Wenn entsprechende Einrichtungen nicht verfügbar sind, kann der Rotor im Betriebszustand ausgewuchtet werden, siehe ISO 20806, wobei er in seinen normalen Betriebslagern und Stützstrukturen aufgenommen und in seinen betriebsmäßigen Antriebsstrang eingebaut ist.

Die Unwucht des Rotors erzeugt bei der Rotation in der Auswuchtmaschine oder im Betriebszustand Zentrifugalkräfte. Diese Kräfte können entweder direkt durch Kraftaufnehmer gemessen werden, die in der Stützstruktur der Lagerung eingebaut sind, oder indirekt durch Messung der Bewegung der Lagerständer oder der Welle. Mit Hilfe dieser Messungen kann die Unwucht berechnet und der Ausgleich mittels Ansetzen, Abnehmen oder Verlagern von Ausgleichsmassen am Rotor durchgeführt werden. Abhängig von der jeweiligen Auswuchtaufgabe wird der Ausgleich in einer, zwei oder mehr Ausgleichsebenen durchgeführt.

## 4.2 Unwuchtverteilung

Der Unwuchtzustand besteht in Wirklichkeit aus einer unendlichen Anzahl von Unwuchtvektoren, die entlang der Schaftachse des Rotors verteilt sind. Wenn ein Mehrmassen-Modell verwendet wird, um den Rotor zu beschreiben, kann der Unwuchtzustand durch eine endliche Anzahl von Unwuchtvektoren von unterschiedlicher Größe und unterschiedlichem Winkel abgebildet werden, wie in Bild 1 dargestellt.

Falls alle Unwuchtvektoren in ihrer jeweiligen Ebene ausgeglichen würden, wäre der Rotor vollständig ausgewuchtet. In der Praxis ist es nicht möglich, diese einzelnen Unwuchten zu messen, und es ist auch nicht notwendig. Benötigt wird eine zusammenfassende Beschreibung des Unwuchtzustands, die zu anwendbaren Auswuchtverfahren führt.

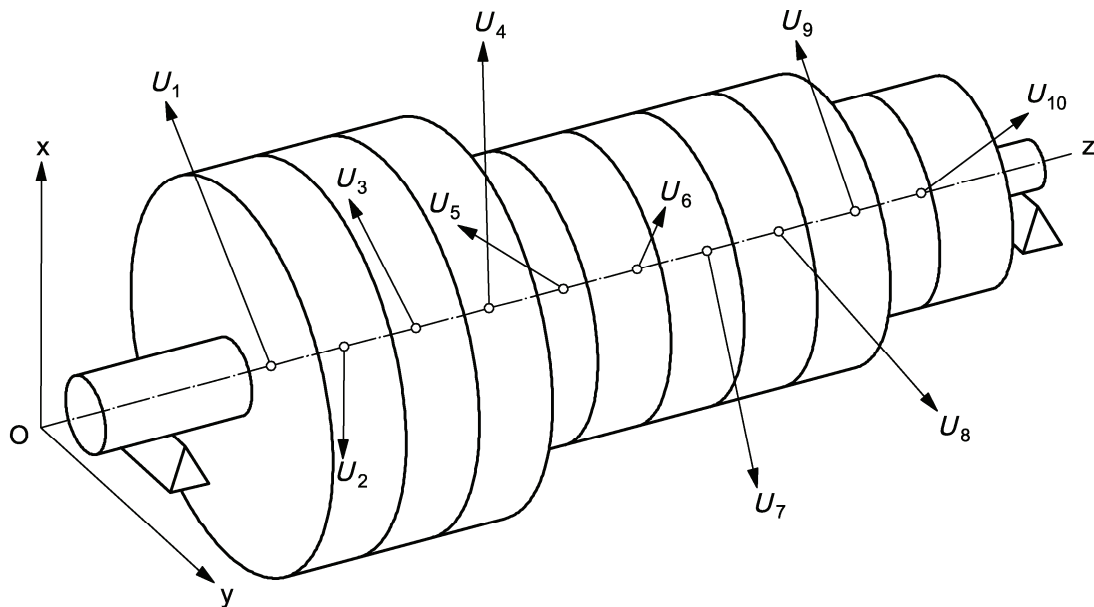


**Bild 1 — Unwuchtverteilung eines Rotors, der mit 10 Elementen modelliert ist, die senkrecht auf der z-Achse stehen**

## 4.3 Darstellung des Unwuchtzustands

Der Unwuchtzustand des Rotors kann durch eine Kombination der folgenden drei Unwuchtarten angegeben werden:

- die resultierende Unwucht  $\vec{U}_r$ , das ist die Vektorsumme von allen entlang des Rotors verteilten Unwuchtvektoren;
- die resultierende Momentenunwucht  $\vec{P}_r$ , das ist die Vektorsumme der Momente aller entlang des Rotors verteilten Unwuchtvektoren um die gewählte Ebene für die resultierende Unwucht;
- die modale Unwucht  $\vec{U}_n$ , das ist diejenige Unwucht, die nur die  $n$ -te Biegeeigenform des Systems Rotor – Lagerung beeinflusst.

Eine mathematische und graphische Darstellung der Unwuchten wird in Anhang A gezeigt.

**ANMERKUNG** Die resultierende Unwucht [siehe 4.3 a)] und die resultierende Momentenunwucht [siehe 4.3 b)] können zusammengefasst werden. Die Kombination wird „dynamische Unwucht“ genannt und wird als zwei Unwuchten in zwei beliebig wählbaren Ebenen, senkrecht zu der Schaftachse, dargestellt.

## 5 Überlegungen zum Auswuchten

### 5.1 Allgemeines

In der Vergangenheit haben Internationale Normen die Rotoren entweder als starr oder als nachgiebig klassifiziert. Auswuchtverfahren für diese beiden wesentlichen Rotorklassen werden in ISO 1940-1 bzw. ISO 11342 beschrieben (siehe Tabelle 1). Diese einfache Klassifizierung in starr/nachgiebig ist jedoch eine starke Vereinfachung, die zu einer Fehldeutung führen kann. Zudem vermittelt sie den Eindruck, dass die Klassifizierung des Rotors für das Auswuchten nur von der physikalischen Gestaltung des Rotors abhängen würde. Der Unwuchtzustand ist eine wesentliche Eigenschaft des Rotors, aber das Verhalten des Rotors in seiner normalen Betriebsumgebung und seine Antwort auf Unwuchten wird durch die Dynamik der Lagerung und der Stützstruktur sowie durch die Betriebsdrehzahl beeinflusst. Außerdem entscheiden die Auswuchtqualität, die der Rotor erreichen soll, sowie die Größe und Verteilung der Unwucht entlang des Rotors darüber, welches Auswuchtverfahren benötigt wird, um den Rotor auszuwuchten (siehe Tabelle 1).

**Tabelle 1 — Übersicht über Rotorverhalten, zugeordnete Normen und Auswuchtverfahren**

| Rotorverhalten<br>(die Zahlen bezeichnen die entsprechenden Abschnitte dieser Internationalen Norm) | Beispiel  | Zugeordnete Internationale Norm | Auswuchtaufgabe oder -verfahren<br>(Buchstaben wie in ISO 11342:1998 verwendet)                                                                                                |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| starres Verhalten (5.2)                                                                             | Bild 4 a) | ISO 1940-1                      | Ein- und Zwei-Ebenen Auswuchten <sup>a</sup>                                                                                                                                   |
| wellenelastisches Verhalten (5.3)                                                                   | Bild 4 b) | ISO 11342 <sup>b</sup>          | 6 niedrigtourige Auswuchtverfahren (A bis F)<br>1 Auswuchtverfahren bei mehreren Drehzahlen (G)<br>1 Auswuchtverfahren bei einer Drehzahl (üblicherweise Betriebsdrehzahl) (H) |
| körperelastisches Verhalten (5.4.2)                                                                 | Bild 4 c) |                                 | 1 Auswuchtverfahren bei einer festen Drehzahl (I)                                                                                                                              |
| Setzungsverhalten (5.4.3)                                                                           | Bild 4 d) |                                 | Setzen von Komponenten bei hoher Drehzahl <sup>c</sup>                                                                                                                         |

<sup>a</sup> Das Ein- und Zwei-Ebenen-Auswuchten schließt das Auswuchten der resultierenden Unwucht und der resultierenden Momentenunwucht ein.

<sup>b</sup> ISO 11342:1998 verwendet „nachgiebig“ als einen übergeordneten Begriff, der wellenelastisches Verhalten, körperelastisches Verhalten und Setzungsverhalten einschließt.

<sup>c</sup> Dieses Verfahren ist in Abschnitt 7 von ISO 11342:1998 erwähnt, es wurde ihm jedoch kein Buchstabe zugeordnet.

### 5.2 Rotoren mit starrem Verhalten

Wenn ein idealer Rotor mit starrem Verhalten auf einer elastischen Lagerung rotiert, zeigt er Verlagerungen, die eine Kombination der beiden dynamischen Starrkörper-Eigenformen sind. Für einen unwuchtbehafteten einfachen symmetrischen Rotor sind sie in Bild 2 zu sehen. Hier gibt es keine Durchbiegung des Rotors, und alle Verlagerungen des Rotors entstehen durch die Bewegung der Lager und der tragenden Struktur.

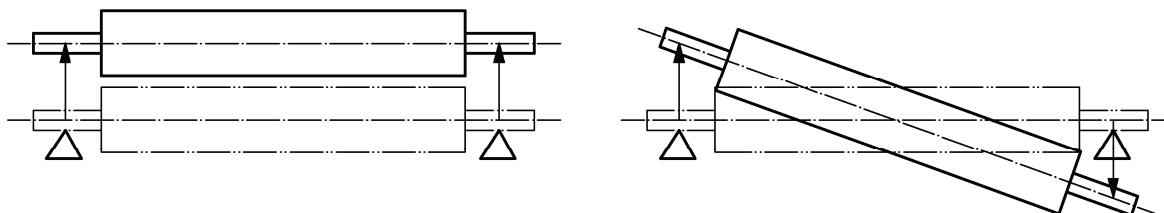


**Bild 2 — Starrkörper-Eigenformen eines symmetrischen Rotors auf einer symmetrischen Stützstruktur**

In Wirklichkeit ist kein Rotor absolut starr und zeigt deshalb kleine Durchbiegungen im Verhältnis zu der wesentlichen Starrkörper-Bewegung des Rotors. Der Rotor kann trotzdem als starr angesehen werden, solange diese – durch eine vorhandene Unwuchtverteilung bedingten – Durchbiegungen bei jeder Drehzahl bis zu der Betriebsdrehzahl unterhalb der benötigten Toleranzen bleiben. Die Mehrheit derartiger Rotoren, vor allem kleine in Serie gefertigte Rotoren, können als starre Rotoren entsprechend den Anforderungen in ISO 1940-1 ausgewuchtet werden. Das Ziel ist dabei entweder der Ausgleich der resultierenden Unwucht, wobei mindestens ein Ein-Ebenen-Ausgleich durchgeführt wird, oder der Ausgleich der dynamischen Unwucht durch einen Zwei-Ebenen-Ausgleich.

**ANMERKUNG** Rotoren, für die ein starres Verhalten unter Betriebsbedingungen festgestellt wurde, können auf der Auswuchtmaschine bei einer beliebigen Drehzahl ausgewuchtet werden, vorausgesetzt diese Drehzahl ist niedrig genug, um sicherzustellen, dass der Rotor noch ein starres Verhalten zeigt.

### 5.3 Rotoren mit wellenelastischem Verhalten

#### 5.3.1 Allgemeines

Wenn für den in 5.2 beschriebenen Rotor die Drehzahl erhöht oder die Toleranz verringert wird, kann es erforderlich werden, wellenelastisches Verhalten in Betracht zu ziehen. Dann ist die Durchbiegung des Rotors erheblich, und die Auswuchtverfahren für den Starrkörper sind nicht mehr ausreichend, um den gewünschten Auswuchtzustand zu erreichen. Bild 3 zeigt typische Biegeeigenformen für einen symmetrischen Rotor. Für derartige Rotoren, die ein wellenelastisches Verhalten zeigen, müssen die Auswuchtverfahren angewandt werden, die in ISO 11342 beschrieben sind.

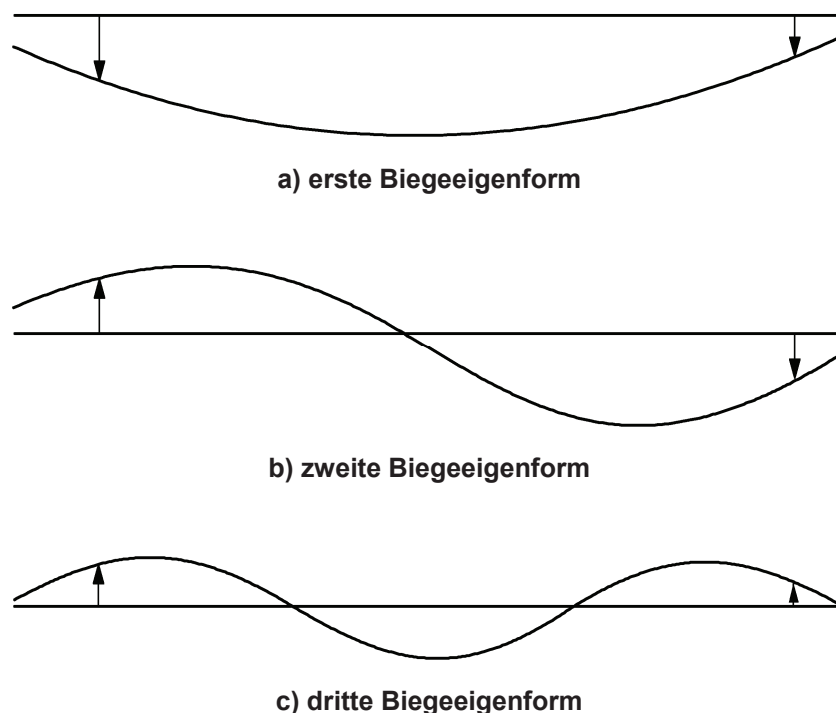


**Bild 3 — Schematische Darstellung der ersten drei Biegeeigenformen eines Rotors mit wellenelastischem Verhalten auf nachgiebiger Lagerung**

### 5.3.2 Niedrigtouriges Auswuchten

Unter besonderen Umständen können selbst Rotoren mit wellenelastischem Verhalten bei kleinen Drehzahlen hinreichend ausgewuchtet werden. ISO 11342:1998 beschreibt die Verfahren A bis F, die alle darauf abzielen, die Unwuchten soweit wie möglich in den Ebenen auszugleichen, in denen sie auftreten.

### 5.3.3 Auswuchten bei mehreren Drehzahlen

Dieses Verfahren sollte benutzt werden, um die resultierende Unwucht, die resultierende Momentenunwucht und die wichtigen modalen Unwuchten auszugleichen (entsprechend ISO 11342:1998, Verfahren G).

### 5.3.4 Auswuchten bei Betriebsdrehzahl

Die hier betrachteten Rotoren sind wellenelastisch und laufen auf dem Weg zur Betriebsdrehzahl durch eine oder mehrere kritische Drehzahlen. Wegen der Betriebsbedingungen oder des Aufbaus der Maschine können jedoch hohe Schwingungsniveaus beim Durchlaufen der kritischen Drehzahlen zugelassen werden. Der Rotor wird deshalb nur bei der Betriebsdrehzahl ausgewuchtet (entsprechend ISO 11342:1998, Verfahren H).

## 5.4 Rotoren mit speziellem Verhalten

### 5.4.1 Allgemeines

Die Mehrheit der Rotoren zeigt entweder ein starres oder ein wellenelastisches Verhalten. Es können jedoch auch die folgenden speziellen Verhaltensweisen auftreten. Sie müssen berücksichtigt werden, wenn das Auswuchten des Rotors erfolgreich sein soll.

### 5.4.2 Körperelastisches Verhalten

Diese Rotoren können eine Gestaltung von Ballen und Welle aufweisen, die entweder niedrigtourige oder hochtourige Auswuchtverfahren erfordert. Allerdings haben sie zusätzlich ein oder mehrere Bauteile, die entweder selbst elastisch sind oder elastisch montiert sind, sodass sich die Unwucht des ganzen Systems in Abhängigkeit von der Drehzahl verändern kann. Beispiele für derartige Rotoren sind: Rotoren mit Zugankern, die bei hoher Drehzahl ausbiegen, Ventilatoren mit Gummiblättern und Ein-Phasen-Induktionsmotoren mit einem Fliehkraftschalter. Sie werden entsprechend ISO 11342, Verfahren I, ausgewuchtet.

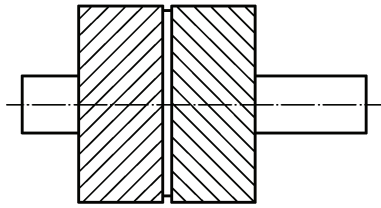
### 5.4.3 Setzungsverhalten

Diese Rotoren können eine Gestaltung aufweisen, bei der sich Komponenten setzen, nachdem eine bestimmte Drehzahl oder ein anderer Zustand erreicht wurde. Diese Bewegung wird nach einem oder nach einigen wenigen Ereignissen stabil, und die Komponente erreicht eine endgültige Position: sie hat sich gesetzt. Danach kann ein weiteres Auswuchten des Rotors nötig werden. Beispiele sind: aufgeschrumpfte Turbinenscheiben, zusammengesetzte Rotoren, Kupferwicklungen in Generatoren und Endkappen von Generatoren. Das nach der Setzung auftretende Verhalten des Rotors legt das dann benötigte Auswuchtverfahren fest. Die jetzige Ausgabe von ISO 11342 nennt kein Verfahren für dieses Rotorverhalten, es ist jedoch in Abschnitt 7 von ISO 11342:1998 erwähnt.

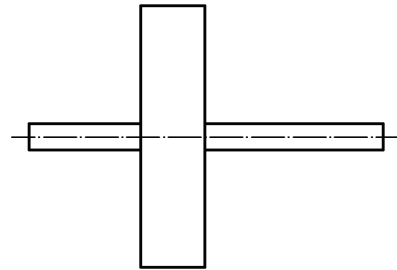
## 5.5 Beispiele für das Verhalten von Rotoren

Das unterschiedliche Rotorverhalten lässt sich durch die Rotoren in Bild 4 verdeutlichen.

Solche Darstellungen sind jedoch für eine komplette Beschreibung nicht ausreichend: Offensichtlich können Rotoren wie in den Bildern 4 c) und 4 d) auch wellenelastisches Verhalten zeigen; andererseits kann ein Rotor wie in Bild 4 b) auch ein langsam laufender Lüfter ohne nennenswertes wellenelastisches Verhalten sein, d. h. ein Rotor mit starrem Verhalten. In Anhang B werden weitere Einzelheiten zu diesen Verhaltensarten erläutert.



a) starres Verhalten (ein massives Getrieberad)



b) wellenelastisches Verhalten (eine Scheibe auf einer elastischen Welle, z. B. ein Laval-Rotor)

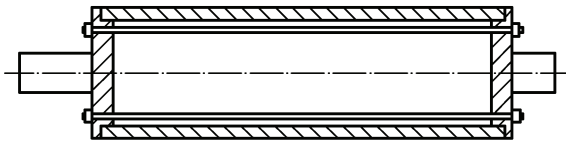
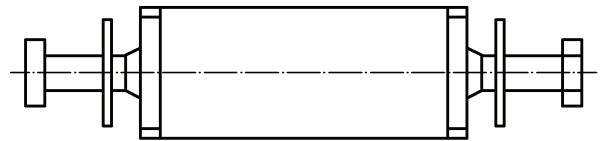
c) körperelastisches Verhalten  
(eine Trommel mit Zugankern,  
die elastisch unter der Fliehkraft ausbiegen)d) Setzungsverhalten (ein Generator mit  
Wicklungen, die sich unter einer bestimmten  
Fliehkraft ein für alle Mal setzen)

Bild 4 — Beispiele von Rotorentypen, die bestimmtes Rotorverhalten zeigen

## 5.6 Einflussfaktoren

### 5.6.1 Allgemeines

Das Antwortverhalten eines Rotors wird durch seine physikalischen Eigenschaften und diejenigen der Stützstruktur bestimmt. Die Schwingungen, die an der Stützstruktur oder am Rotor gemessen werden, basieren auf diesen physikalischen Eigenschaften, der Größe der Unwucht und ihrer Verteilung längs des Rotors sowie der Drehzahl. Das Auswuchten auf eine geforderte Toleranz hängt von allen diesen Parametern ab. Eine Veränderung dieser Parameter oder der geforderten Auswuchttoleranz kann bedeuten, dass ein anderes Verfahren benötigt wird, um diese Toleranz zu erreichen.

### 5.6.2 Toleranzen

Auch wenn nur die Auswuchttoleranz reduziert wird, kann es erforderlich sein, das Verhalten des Rotors erneut zu überprüfen und ein anderes Auswuchtverfahren anzuwenden, um den Rotor in die Toleranz zu bringen, wie in den folgenden Beispielen dargestellt:

- Ein Rotor mit starrem Verhalten, der nach einem Ein-Ebenen-Verfahren ausgewuchtet wurde, um die resultierende Unwucht zu verringern, benötigt evtl. ein zusätzliches, genaueres Ein-Ebenen-Auswuchten.
- Ein Rotor mit starrem Verhalten, der nach einem Ein-Ebenen-Verfahren ausgewuchtet wurde, um die resultierende Unwucht zu verringern, benötigt evtl. jetzt ein Zwei-Ebenen-Auswuchten, um die Momentenunwucht zu berücksichtigen (oder beide, die resultierende Unwucht und die Momentenunwucht, gemeinsam als eine dynamische Unwucht).
- Ein Rotor mit starrem Verhalten, der nach einem Zwei-Ebenen-Verfahren ausgewuchtet wurde, um die resultierende Unwucht und die Momentenunwucht zu verringern (oder beide, die resultierende Unwucht und die Momentenunwucht gemeinsam als eine dynamische Unwucht), benötigt evtl. zusätzliche Verfahren für ein wellenelastisches Verhalten, um die Wirkung von modalen Unwuchten zu reduzieren. Das kann auch der Fall sein, wenn der Rotor unterhalb der ersten biegekritischen Drehzahl läuft.

- d) Ein Rotor mit wellenelastischem Verhalten, auf den ein Verfahren für wellenelastisches Verhalten angewandt wurde, um die dynamische Unwucht und eine Anzahl von modalen Unwuchten zu reduzieren, benötigt evtl. zusätzliche Verfahren für wellenelastisches Verhalten, um modale Unwuchten von noch mehr (höheren) Biegeeigenformen des Rotors zu verringern, auch wenn der Rotor unterhalb der kritischen Drehzahlen (Resonanzdrehzahlen) der höheren Eigenformen läuft.
- e) Bei einem Rotor mit entweder starrem oder mit wellenelastischem Verhalten, der erfolgreich nach dem entsprechenden Verfahren ausgewuchtet wurde, müssen evtl. spezielle Verfahren erwogen werden, um ein körperelastisches Verhalten oder ein Setzungsverhalten zu berücksichtigen.
- f) Wenn die höhere Toleranz nur bei einer einzigen Drehzahl erreicht werden kann, muss evtl. das Auswuchtverfahren bei Betriebsdrehzahl erwogen werden.

### **5.6.3 Drehzahl und Lagerungsbedingungen**

Andere Veränderungen des Rotorverhaltens können auftreten, wenn Betriebsbedingungen geändert werden, z. B. durch Änderung der Drehzahl oder der Aufstellungsbedingungen.

### **5.6.4 Urunwucht**

Die Verteilung der Urunwucht beeinflusst die Antwort des Rotorsystems. Sie entscheidet darüber, welche Unwucht (siehe Abschnitt 4) außerhalb der Toleranz ist und deshalb behandelt werden muss. Unterschiedliche Fertigungs- und Montageverfahren können zu unterschiedlichen Niveaus der Urunwucht führen.

## **6 Auswuchttoleranzen**

### **6.1 Allgemeines**

Mit der heute zur Verfügung stehenden Auswuchttechnik und den Auswuchteinrichtungen können Unwuchten auf kleine Werte verringert werden. Es wäre jedoch unwirtschaftlich, die Qualitätsanforderungen zu hoch zu setzen. Deshalb ist es nötig, die optimale Auswuchtqualität für den Rotor festzulegen, damit er in seiner normalen Betriebsumgebung sicher läuft, mit zulässigen Schwingungen und dynamischen Kräften.

### **6.2 Zulässige Restunwuchten**

Es gibt unter Betriebsbedingungen einen direkten Zusammenhang zwischen der Unwucht des Rotors und den umlauffrequenten Schwingungen. Diese Abhängigkeit beruht auf den dynamischen Eigenschaften der Maschine (d. h. auf denjenigen des Rotors, der Struktur und den dynamischen Eigenschaften der Lagerung). Jedoch ist die Gesamtschwingung der Maschine evtl. nur teilweise durch eine vorhandene Unwucht des Rotors bedingt; andere Schwingungsursachen können magnetische oder hydraulische Kräfte sein.

Für die Ableitung von zulässigen Restunwucht-Toleranzen gilt folgende Orientierung:

- ISO 1940-1 für ein starres Rotorverhalten und
- ISO 11342 für ein anderes Rotorverhalten, wobei Toleranzwerte von ISO 1940-1 zugrunde gelegt werden.

### **6.3 Grenzwerte für Schwingungen**

Es gibt kein einfach durchschaubares Verhältnis zwischen den Schwingungen der Maschine unter Betriebsbedingungen und den Schwingungen in der Auswuchtmaschine. Das Verhältnis ist abhängig von den Unterschieden zwischen den Lagern und den tragenden Strukturen, die in der Auswuchtmaschine und im Betriebszustand verwendet werden. Außerdem wird der Rotor in der Auswuchtmaschine isoliert geprüft und schließt nicht die Einflüsse von anderen Rotoren im Wellenstrang ein, wie er sie erfährt, wenn er in seiner Betriebsumgebung eingebaut ist. Es muss beachtet werden, dass unterschiedliche Auswuchtmaschinen evtl. unterschiedliche Lagerständer-Steifigkeiten haben und dass deshalb für jede Auswuchtmaschine Schwingungsgrenzwerte separat festgelegt werden müssen.

Für den Fall, dass detaillierte Informationen über diese Parameter zur Verfügung stehen, gibt ISO 11342 ein Verfahren an, diese Grenzwerte abzuschätzen. Schwingungsgrenzwerte für den Betriebszustand sind in den entsprechenden Teilen der Normenreihe ISO 7919 für die Schwingungen rotierender Wellen und ISO 10816 für die Schwingungen nicht-rotierender Teile angegeben.

Wenn keine ausreichenden Details zur Verfügung stehen, um diese Parameter zu gewinnen, sollten Erfahrungen mit der Auswuchtanlage zugrunde gelegt werden, von der Rotoren nach dem Auswuchten zufriedenstellend im Betriebszustand gelaufen sind.

## 7 Auswahl eines Auswuchtverfahrens

### 7.1 Allgemeines

Da die verschiedenen Auswuchtverfahren unterschiedliche Arten von Auswuchtmaschinen und unterschiedlichen Einsatz von Mitteln erfordern, ist es wichtig, das geeignete Verfahren zu wählen (siehe Tabelle 1), um den Auswuchtprozess zu optimieren und die geforderten Auswuchttoleranzen zu erreichen.

Für Rotoren mit **starrem Verhalten** (siehe 5.2) können die Richtlinien für das Ein-Ebenen-Auswuchten und das Zwei-Ebenen-Auswuchten angewandt werden, die von ISO 1940-1 zur Verfügung gestellt werden.

Rotoren mit **wellenelastischem Verhalten** (siehe 5.3) sollten grundsätzlich in Übereinstimmung mit den Richtlinien behandelt werden, die in ISO 11342 angegeben sind, wobei mehrere Verfahren für unterschiedliche Rotorkonfigurationen festgelegt sind:

- Das umfassende Verfahren ist das Auswuchten bei mehreren Drehzahlen, siehe 5.3.3 (Verfahren G in ISO 11342:1998).
- Für Rotoren, die die meiste Zeit bei einer einzigen Drehzahl laufen, kann das Auswuchten bei Betriebsdrehzahl verwendet werden, siehe 5.3.4 (Verfahren H in ISO 11342:1998).
- Für Rotoren mit wellenelastischem Verhalten, die jedoch niedertourig hinreichend ausgewuchtet werden können, siehe 5.3.2 (Verfahren A bis F in ISO 11342:1998).

Das Verfahren für Rotoren mit **körperelastischem Verhalten** (siehe 5.4.2) ist in ISO 11342:1998 (Verfahren I) beschrieben.

Ein Rotor mit **Setzungsverhalten** (siehe 5.4.3) muss zuerst auf diejenige Drehzahl gebracht werden (oder in denjenigen Zustand), bei der der Unwuchtzustand unveränderlich wird, und dann nach dem für diesen Rotor geeigneten starren (siehe ISO 1940-1) oder wellenelastischen Verfahren (siehe ISO 11342) ausgewuchtet werden.

Wenn möglich, ist der Hersteller oder Nutzer des Rotors wegen eines empfohlenen Auswuchtverfahrens zu konsultieren. Im Fall eines Rotors mit wellenelastischem Verhalten würde eine Angabe zu der Rotorkonfiguration, wie sie ISO 11342 verwendet, ausreichen.