

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

**DIN**  
**ISO 1940**  
 Teil 1

Mechanical vibration; Balance quality requirements of rigid rotors; Determination of permissible residual unbalance; Identical with ISO 1940-1 : 1986

Vibrations mécaniques; Exigences en matière de qualité dans l'équilibrage des rotors rigides; Détermination du balourd résiduel admissible; Identique à ISO 1940-1 : 1986

**Die Internationale Norm ISO 1940-1, 1. Ausgabe, 1986-09-01, „Mechanical vibration — Balance quality requirements of rigid rotors — Part 1: Determination of permissible residual unbalance“, ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.**

### Nationales Vorwort

Diese Übersetzung ist im Gemeinschaftsausschuß NALS/VDI C 6 „Auswuchten und Auswuchtmaschinen“ ausgearbeitet worden.

Diese Norm ersetzt die Richtlinie VDI 2060 „Beurteilungsmaßstäbe für den Auswuchtzustand rotierender starrer Körper“.

Der Index per für englisch permissible ist in der Übersetzung durchgängig mit zul für zulässig wiedergegeben.

Teil 2 der Internationalen Norm ISO 1940 über die Behandlung der Meßabweichungen beim Auswuchten starrer Rotoren ist von der International Organization for Standardization (ISO) als internationaler Norm-Entwurf ISO/DIS 1940-2 : 1993 veröffentlicht worden.

Die in Abschnitt 3.5 erwähnte Internationale Norm über die Benutzung von Paßfedern beim Auswuchten ist inzwischen als

ISO 8821 : 1989 Mechanical vibration; Balancing; Shaft and fitment key convention erschienen. Sie liegt auch als Deutsche Norm DIN ISO 8821 vor.

Fortsetzung Seite 2 bis 15

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

## Deutsche Übersetzung

Mechanische Schwingungen

# Anforderungen an die Auswuchtgüte starrer Rotoren

## Bestimmung der zulässigen Restunwucht

### Vorwort

Die ISO (Internationale Organisation für Normung) ist die weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedskörperschaften). Die Erarbeitung Internationaler Normen obliegt den Technischen Komitees der ISO. Jede Mitgliedskörperschaft, 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 von den Technischen Komitees verabschiedeten Entwürfe zu Internationalen Normen werden den Mitgliedskörperschaften zunächst zur Annahme vorgelegt, bevor sie vom Rat der ISO als Internationale Normen bestätigt werden. Sie werden nach den Verfahrensregeln der ISO angenommen, wenn mindestens 75 % der abstimmenden Mitgliedskörperschaften zugestimmt haben.

Die Internationale Norm ISO 1940-1 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration and shock“ erarbeitet.

Mit diesem Teil von ISO 1940 entfällt ein Teil von ISO 1940 : 1973, für die dieser Teil eine geringfügige Überarbeitung darstellt.

Anwender sollten beachten, daß Internationale Normen von Zeit zu Zeit einer Überarbeitung unterzogen werden und daß sich jede hier genannte Verweisung auf andere Internationale Normen auf die jeweils neueste Fassung bezieht, soweit nicht anders angegeben.

### 0 Einleitung

Auswuchten ist ein Arbeitsverfahren mit dem Bestreben, die Massenverteilung eines rotierenden Körpers derart zu verbessern, daß der Körper in seiner Lagerung ohne die Wirkung von freien Fliehkräften umläuft. Natürlich kann dieses Ziel nur bis zu gewissen Grenzen erreicht werden; es bleiben also nach dem Auswuchten im Rotor Restunwuchten übrig.

Mit den heute verfügbaren Meßgeräten können Unwuchten auf sehr kleine Werte reduziert werden. Andererseits wäre es unwirtschaftlich, die Anforderungen an die Auswuchtgüte zu übertreiben. Es ergab sich daher die Notwendigkeit herauszufinden, bis zu welchem Grad die Unwucht reduziert werden sollte und wo der beste wirtschaftliche und technische Kompromiß hinsichtlich der Anforderungen an die Auswuchtgüte gefunden wird.

Es ist nicht ohne weiteres möglich, von den vorhandenen Empfehlungen hinsichtlich der Beurteilung der Schwingstärke von Maschinen auf die zulässigen Restunwuchten zu schließen. Denn es besteht oft keine leicht erkennbare Beziehung zwischen den Unwuchten im Rotor und den Schwingungen der Maschine im Betriebszustand. Die Amplitude der umlauffrequenten Schwingungen wird beeinflusst von den Eigenschaften des Rotors, der Maschine, der Struktur und der Fundamente, ebenso wie von der Nähe der Betriebsdrehzahl zu möglichen Resonanzfrequenzen usw. Schließlich gehen die Maschinenschwingungen möglicherweise nur zum Teil auf die Unwucht im Rotor zurück.

### 1 Anwendungsbereich und Zweck

Dieser Teil von ISO 1940 gibt Empfehlungen für die Bestimmung der Unwucht und für die Festlegung zuge-

höriger Anforderungen an die Auswuchtgüte starrer Rotoren; im einzelnen werden behandelt:

- a) Darstellung des Wuchtzustandes in einer oder zwei Ebenen;
- b) Verfahren zur Bestimmung der zulässigen Restunwucht;
- c) Verfahren zur Zuordnung der zulässigen Restunwucht zu den Ausgleichsebenen;
- d) Verfahren zur Ermittlung der Restunwucht in einem Rotor durch Messungen;
- e) eine Aufzählung von Meßabweichungen, die bei der Bestimmung der Restunwucht zu berücksichtigen sind.

In Tabelle 1 und in Bild 2 werden Empfehlungen gegeben, die auf weltweiter Erfahrung hinsichtlich der Anforderungen an die Auswuchtgüte starrer Rotoren basieren und die sich jeweils ihrem Typ, ihrer Masse und ihrer höchsten Betriebsdrehzahl zuordnen lassen.

Dieser Teil von ISO 1940 hat auch den Zweck, die Verständigung zwischen Hersteller und Benutzer von Maschinen zu erleichtern. Die Terminologie, die in diesem Teil von ISO 1940 festgelegt wird, kann zur Ausarbeitung von technischen Spezifikationen benutzt werden. (Begriffe siehe ISO 1925.)

Eine Detailbetrachtung der Meßabweichungen bei der Bestimmung der Restunwucht ist nicht in diesem Teil von ISO 1940 enthalten (ISO 1940-2 wird diese Meßabweichungen behandeln). Der vorliegende Teil von ISO 1940 definiert auch nicht die zulässigen Restunwuchten in elastischen Rotoren; diese werden in ISO 5343 behandelt. Die Verfahren der Auswuchttechnik werden nicht beschrieben.

Die empfohlenen Auswuchtgütestufen sind nicht als Abnahmefestlegung für bestimmte Rotorgruppen gedacht.



Documents

Document Sharing Hub

Sie geben vielmehr einen Anhalt, um grobe Mängel ebenso zu vermeiden wie übertriebene und nicht realisierbare Forderungen. Darüber hinaus können sie als Basis für eingehendere Untersuchungen dienen, z.B. wenn in speziellen Fällen die erforderliche Auswuchtgüte im Labor oder im Betriebszustand genauer bestimmt werden muß. Werden die Richtwerte eingehalten, so ist mit großer Wahrscheinlichkeit zu erwarten, daß die erzielte Laufruhe befriedigt. Es mag jedoch Fälle geben, in denen Abweichungen von den Richtwerten notwendig werden, z.B. wegen ungewöhnlichem Aufbau oder ungewöhnlicher Gestaltung.

## 2 Verweisungen auf andere Normen

|          |                                                        |
|----------|--------------------------------------------------------|
| ISO 1925 | Balancing — Vocabulary                                 |
| ISO 2371 | Field balancing equipment — Description and evaluation |
| ISO 2953 | Balancing machines — Description and evaluation        |
| ISO 5343 | Criteria for evaluating flexible rotor balance         |
| ISO 5406 | The mechanical balancing of flexible rotors            |

## 3 Wesentliche Gesichtspunkte zum Auswuchtproblem

### 3.1 Darstellung des Wuchtzustandes

Ein und derselbe Wuchtzustand eines starren Rotors kann auf verschiedene Weise durch vektorielle Größen dargestellt werden, wie in den Bildern 1a) bis 1f) gezeigt. Bei den meisten Rotoren werden die Unwuchten in zwei Ebenen gemessen, wie in den Bildern 1a) bis 1c) zu sehen. Der Unwuchtausgleich findet im allgemeinen auch in dieser Art statt.

Wenn z.B. die Darstellung nach Bild 1a) gewählt wird, müßten Unwuchtkorrekturen von  $2,24 \text{ g} \cdot \text{mm}$  und  $3,15 \text{ g} \cdot \text{mm}$  in Ebene I bzw. II durchgeführt werden, und zwar unter der entsprechenden Winkellage am Rotor. Der Vergleich der Bilder 1a) und 1c) zeigt, daß ein kleinerer Abstand zwischen den Ausgleichsebenen üblicherweise zu einer größeren Summe der Korrekturen führt und gleichzeitig die Winkeldifferenz zwischen den Vektoren vergrößert.

Wahlweise darf eine Darstellung ähnlich Bild 1d) benutzt werden. In diesem Fall werden Unwuchtkorrekturen in der Ebene der Unwuchtergebnierenden und Korrekturen in den Ebenen I und II nötig.

Sollen die Auswirkungen von Unwuchten auf das Schwingungsverhalten einer kompletten Maschine untersucht werden, kann eventuell eine Unwuchtauflösung nach Bild 1e) nützlich sein. Darin ist mit S der Massenmittelpunkt des Rotors bezeichnet.

Die Darstellung nach Bild 1f) kann auch für manche Rotoren nützlich sein. Dabei wird die Unwuchtergebnierende in die Ebene des Unwuchtzentrums C gelegt. In diesem Fall ist die zugehörige Momentenunwucht ein Minimum, und die Vektoren des Unwuchtpaars liegen in einer Ebene senkrecht zur Unwuchtergebnierenden.

### 3.2 Unwuchtwirkungen

Unwuchten an einem rotierenden Körper verursachen nicht nur Kräfte auf die Lager und Fundamente, sondern auch Schwingungen der Maschine. Bei einer vorgegebenen Drehzahl sind beide Effekte im wesentlichen abhängig von den geometrischen Maßen und der Massenverteilung von Rotor und Maschine sowie von der dynamischen Steifigkeit der Lagerung und der Fundamentierung.

In vielen Fällen hat die statische Unwucht primäre Bedeutung vor der Momentenunwucht. Zwei gleichgerichtete Unwuchten in verschiedenen Ebenen stören meist mehr als zwei gleiche, einander entgegengerichtete.

Es gibt aber auch Fälle, in denen Momentenunwuchten besonders störend wirken, z.B. ein Rotor, bei dem der Abstand der Lager kleiner als der Abstand der Ausgleichsebenen ist. Dies kann bei einem Rotor mit fliegend angeordneten Scheiben an beiden Enden vorkommen. In diesem Fall kann die Lagerbelastung infolge des Unwuchtmomentes größer sein als die durch eine statische Unwucht.

### 3.3 Rotoren mit einer Ausgleichsebene

Bei scheibenförmigen Rotoren genügt das Auswuchten in einer Ebene, falls der Lagerabstand genügend groß ist und die Scheibe mit genügender Genauigkeit senkrecht auf der Drehachse steht. Ob diese Bedingungen erfüllt sind, muß von Fall zu Fall untersucht werden: Es wird an einer größeren Anzahl von Rotoren des betreffenden Typs nach einem Ein-Ebenen-Ausgleich in der vorgesehenen Ausgleichsebene die im ungünstigsten Fall zurückbleibende Momentenunwucht bestimmt und durch den Lagerabstand dividiert. Sind die so erhaltenen Unwuchten zulässig, so wird im allgemeinen eine Ein-Ebenen-Auswuchtung ausreichen.

### 3.4 Rotoren mit zwei Ausgleichsebenen

Ist die Bedingung nach Abschnitt 3.3 für einen starren scheibenförmigen Rotor nicht erfüllt, so werden zwei Ausgleichsebenen benötigt. Diese Art von Auswuchten heißt Zwei-Ebenen- („dynamisches“) Auswuchten im Gegensatz zum Ein-Ebenen- („statischen“) Auswuchten, wie in Abschnitt 3.3 beschrieben. Für Ein-Ebenen-Auswuchten wird nur statisches Gleichgewicht in beliebiger Winkellage des Rotors gefordert. Für Zwei-Ebenen-Auswuchten muß der Rotor umlaufen, da sich sonst die verbleibende Momentenunwucht nicht bemerkbar macht.

Die zulässige Restunwucht in jeder der zwei Ausgleichsebenen ist abhängig von der Lage der Ausgleichsebenen und der Lager und auch vom Winkel zwischen den beiden Restunwuchten. In Abschnitt 6 sind drei Verfahren angegeben, wie die zulässige Restunwucht bestimmt werden kann. Verfahren für die Zuordnung der zulässigen Restunwucht auf die Ausgleichsebenen sind in Abschnitt 7 beschrieben.

### 3.5 Baugruppen

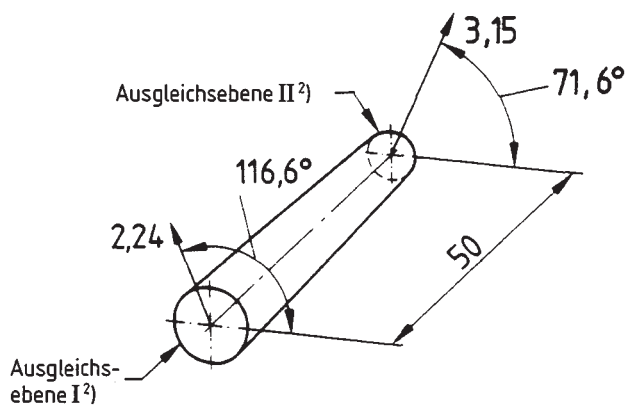
Rotoren können als nicht mehr zerlegbare Einzelteile oder als zusammengebaute Körper ausgewuchtet werden. Bei jedem Zusammenbau müssen nicht nur die Unwuchten der einzelnen Teile vektoriell addiert werden, sondern es müssen auch die Unwuchten, die durch Ungenauigkeiten der Montage verursacht werden, in Betracht gezogen werden. Besondere Aufmerksamkeit ist angebracht, wenn die Teile später in einer anderen Lage zueinander zusammengebaut werden, als sie in der Auswuchtmaschine zusammengebaut waren.

Wenn die Einhaltung der Unwuchttoleranz für eine Baugruppe nicht dadurch erreicht werden kann, daß jede Komponente separat ausgewuchtet wird, muß die Baugruppe als Ganzes ausgewuchtet werden.

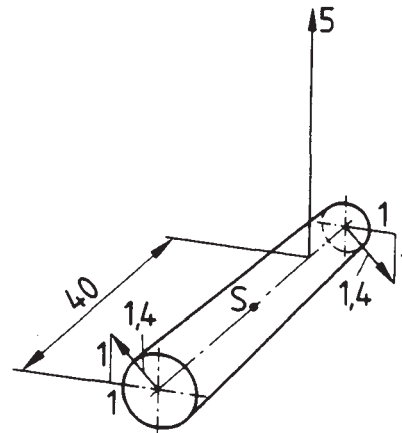
Wenn die einzelnen Teile getrennt ausgewuchtet werden, ist es notwendig, sich von vornherein klarzuwerden, wie Verbindungselemente, z.B. Schrauben und Paßfedern, zu berücksichtigen sind. (Eine Internationale Norm über die Benutzung von Paßfedern beim Auswuchten ist in Vorbereitung.)<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Nationale Fußnote: Siehe nationales Vorwort

Maße in mm  
Vektorgößen in  $g \cdot mm$

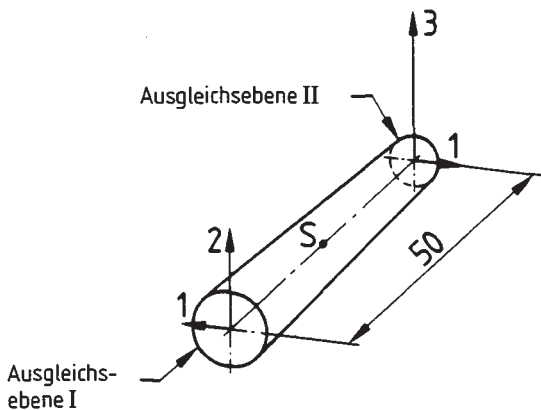


a) Ein Unwuchtvektor in jeder der Ausgleichsebenen I und II

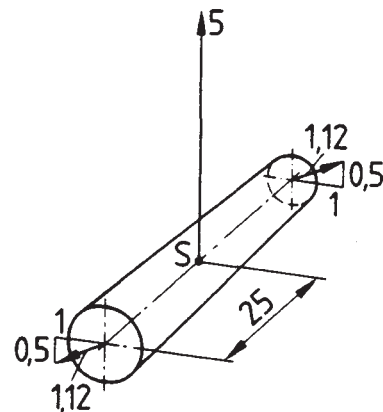


d) Eine Unwuchteresultierende zusammen mit der zugehörigen Momentenunwucht, bezogen auf die Ausgleichsebenen I und II

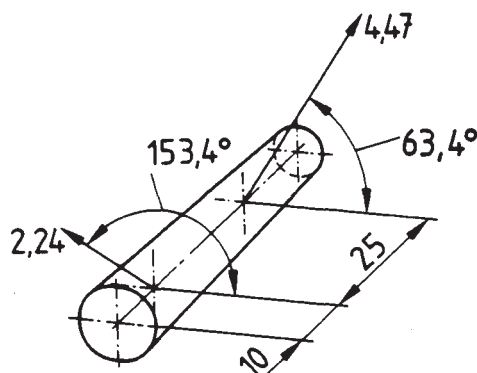
Die resultierende Unwucht darf beliebig angeordnet werden, z.B. auch in einer der Ausgleichsebenen; der Wert des Moments hängt aber von der Lage der Unwuchteresultierenden ab.



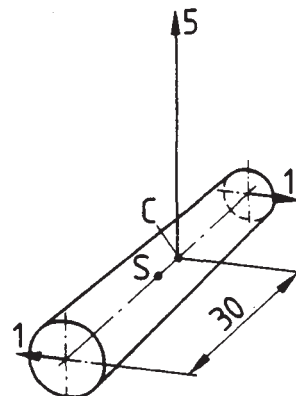
b) Zwei Unwucht-Komponenten in jeder der beiden Ausgleichsebenen I und II



e) Spezialfall von d), nämlich Darstellung als statische Unwucht und Momentenunwucht. Die Unwuchteresultierende läuft durch den Massenmittelpunkt des Rotors. Zusätzlich gibt es eine dazugehörige Momentenunwucht.



c) Ein Unwuchtvektor in jeder von zwei anderen Ausgleichsebenen



f) Ein anderer spezieller Fall von d). Die Unwuchteresultierende läuft durch das „Unwuchtzentrum“, und die zugehörige Momentenunwucht ist ein Minimum.

**Bild 1: Unterschiedliche Darstellungen ein und desselben Wuchtzustandes eines starren Rotors**

<sup>2)</sup> Nationale Fußnote: In der englischen Fassung ISO 1940-1 : 1986 fehlen infolge eines Druckirrtums die römischen Zahlen.

## 4 Rotormasse und zulässige Unwucht

Je größer die Rotormasse ist, desto größer ist im allgemeinen die zulässige Unwucht. Es ist daher angebracht, den Wert der zulässigen Restunwucht  $U_{zul}$  auf die Rotormasse  $m$  zu beziehen. Dies sollte in Form der zulässigen spezifischen Restunwucht  $e_{zul}$  geschehen, wie in folgender Gleichung angegeben:

$$e_{zul} = \frac{U_{zul}}{m}$$

Im speziellen Fall, in dem alle Unwuchten in einem Rotor auf ein gleichwertiges System, bestehend aus einer einzigen Unwucht in einer einzigen quer zur Drehachse verlaufenden Ebene, reduziert werden können, so daß die Momentenunwucht null wird, kann die zulässige spezifische Restunwucht  $e_{zul}$  als äquivalent zur zulässigen Verlagerung des Massenmittelpunktes von der Drehachse angesehen werden. In allen anderen Fällen, von denen einer in Bild 1 gezeigt wird, ist die äquivalente restliche Verlagerung  $e$  des Massenmittelpunktes nach Zwei-Ebenen-Auswuchten auf zulässige Werte kleiner als die zulässige spezifische Restunwucht  $e_{zul}$ .

## 5 Gütestufen als Verknüpfung von Betriebsdrehzahl und zulässiger spezifischer Restunwucht

Die Erfahrung zeigt, daß sich im allgemeinen für Rotoren des gleichen Typs der Wert der zulässigen spezifischen Restunwucht  $e_{zul}$  umgekehrt proportional zur Rotordrehzahl verhält. Dies gilt innerhalb der Drehzahlbereiche, die in Bild 2 für eine bestimmte Auswucht-Gütestufe dargestellt sind; diese Beziehung kann durch folgende Gleichung ausgedrückt werden:

$$e_{zul} \cdot \omega = \text{konstant.}$$

Darin ist  $\omega$  die Winkelgeschwindigkeit des Rotors bei der höchsten Betriebsdrehzahl.

Diese Beziehung ergibt sich auch aus der Tatsache, daß für geometrisch ähnliche Rotoren bei gleicher Umfangsgeschwindigkeit die Spannungen im Rotor und im Lager gleich sind. Die Auswucht-Gütestufen, wie in Tabelle 1 und Bild 2 erläutert, sind auf dieser Beziehung aufgebaut.

## 6 Bestimmung der erforderlichen Auswuchtgüte

### 6.1 Allgemeines

Die Anforderungen an die Auswuchtgüte können auf drei verschiedene Arten festgelegt werden, wie in Abschnitt 6.2 bis 6.4 beschrieben. Das erste Verfahren basiert auf empirischen Gütestufen, die aufgrund langjähriger praktischer Erfahrung mit einer großen Anzahl verschiedener Rotoren entwickelt wurden (siehe Abschnitt 6.2). Das zweite Verfahren ist experimenteller Natur und wird oft beim Auswuchten in der Serienfertigung benutzt (siehe Abschnitt 6.3). Das dritte Verfahren wird benutzt, wenn von Unwuchten verursachte zulässige Lagerkräfte festgelegt sind (siehe Abschnitt 6.4).

Die Wahl des Verfahrens sollte zwischen Hersteller und Benutzer verabredet werden.

### 6.2 Anforderungen an die Auswuchtgüte auf der Basis von festgelegten Gütestufen

Auf der Basis von Abschnitt 4 und 5 sind Auswucht-Gütestufen festgelegt worden, die eine Einteilung der Anforderungen an die Auswuchtgüte in Klassen ermöglichen.

Jede Auswucht-Gütestufe in Tabelle 1 bezieht sich auf einen Bereich der zulässigen spezifischen Restunwucht von einer Obergrenze bis Null. Die obere Grenze ist durch einen bestimmten Betrag des Produktes  $e_{zul} \cdot \omega$  gegeben, angegeben in mm/s. Die Auswucht-Gütestufen werden entsprechend diesem Produkt bezeichnet, d.h. wenn z.B. das Produkt  $e_{zul} \cdot \omega$  gleich 630 mm/s ist, wird die Auswucht-Gütestufe als **G 630** bezeichnet.

Die Auswucht-Gütestufen sind mit dem Faktor 2,5 abgestuft. In manchen Fällen kann eine feinere Unterteilung nötig sein, insbesondere wenn hohe Auswuchtgüte verlangt wird.

Die oberen Grenzwerte von  $e_{zul}$  sind in Bild 2 über der maximalen Betriebsdrehzahl aufgetragen. Die zulässige Restunwucht ergibt sich zu  $U_{zul} = e_{zul} \cdot m$ , worin  $m$  die Rotormasse ist.

**ANMERKUNG:** Für die Auswucht-Gütestufen **G 1** und **G 0,4** ist die letztlich gewählte Anforderung an die Auswuchtgüte ein Kompromiß zwischen technischen Anforderungen und praktischen Möglichkeiten. Die gewählte Grenze ist üblicherweise verbunden mit dem vernünftigerweise reproduzierbaren Wuchtzustand.

Die empfohlenen Werte in diesen Auswucht-Gütestufen können in der Praxis nur dann eingehalten werden, wenn die Maßhaltigkeit der Lagerstellen der Welle (Abweichung von der Kreisform usw.) und/oder diejenige der Lager ausreichend ist. Um Gütestufe **G 1** zu erreichen, ist es üblicherweise notwendig, den Rotor in seinen eigenen Betriebslagern auszuwuchten und dabei Band-, Luft- oder Eigenantrieb zu benutzen. Um Auswuchtgüte **G 0,4** zu erreichen, muß üblicherweise der Rotor in seinem eigenen Gehäuse mit Betriebslagern und unter Betriebsbedingungen und Betriebstemperatur eingebaut sein; üblicherweise ist Eigenantrieb notwendig.

### 6.3 Experimentelle Bestimmung der erforderlichen Auswuchtgüte

Eine experimentelle Bestimmung der erforderlichen Auswuchtgüte wird oft bei Anwendungen in der Serienfertigung durchgeführt. Die Versuche werden im allgemeinen im Betriebszustand gefahren, obwohl sie gelegentlich auch auf einer Auswuchtmaschine möglich sind, vorausgesetzt, daß die charakteristischen Werte der Auswuchtmaschine im wesentlichen den Betriebsbedingungen der Maschine, in der der Rotor benutzt wird, gleichen.

Der Wert der zulässigen Restunwucht in jeder Auswuchtgleichsebene wird experimentell dadurch bestimmt, daß verschiedene Prüfunwuchten nacheinander in jeder Ebene eingesetzt werden. Zur Beurteilung dient die prägnanteste Größe (z.B. Schwingungen, Kräfte oder durch Unwucht erzeugtes Geräusch).

Beim Auswuchten in zwei Ebenen muß die unterschiedliche Wirkung von Unwuchten mit gleicher Phasenlage und von Momentenunwucht in Betracht gezogen werden. Auch muß bedacht werden, wie sich Änderungen der Umfeldbedingungen und/oder des Rotors auswirken, die sich im Betrieb einstellen können.

### 6.4 Erforderliche Auswuchtgüte auf der Basis von festgelegten zulässigen Lagerkräften

Dort, wo hauptsächlich die Wirkung von Unwuchtkräften, die an den Lagern in die Stützkonstruktion eingeleitet werden, interessiert und wo für diese Kräfte Grenzen festgelegt sind, muß dies bei der Bestimmung der zulässigen Restunwucht beachtet werden.