

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

DIN
ISO 1940-2

ICS 21.120.40

Deskriptoren: Mechanische Schwingung, Auswuchtung, Abweichung, Rotor

Mechanical vibration — Balance quality requirements of rigid rotors —
Part 2: Balance errors (ISO 1940-2 : 1997)

Vibrations mécaniques — Exigences en matière de qualité dans l'équilibrage
des rotors rigides — Partie 2: Défauts d'équilibrage (ISO 1940-2 : 1997)

Die Internationale Norm ISO 1940-2 : 1997, "Mechanical vibration — Balance quality requirements of rigid rotors — Part 2: Balance errors", ist unverändert in diese Deutsche Norm übernommen worden.

Nationales Vorwort

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

Besonders diskutiert wurde die Übersetzung des englischen Wortes "error". Zum einen werden damit in dieser Internationalen Norm Fehler bezeichnet, die eine Auswirkung auf das Meßobjekt und somit auf den Meßwert haben, zum anderen sind damit Meßabweichungen gemeint, die sich aus der Unzulänglichkeit der Messung selbst ergeben. In dieser Übersetzung wird für "error" durchgängig das Wort Abweichung verwendet, wobei es beide genannten Bedeutungen haben kann.

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

Zu den im Inhalt zitierten Internationalen Normen wird im folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 1925 und ISO 1925/Amd.1	siehe DIN ISO 1925
ISO 1940-1	siehe DIN ISO 1940-1
ISO 8821	siehe DIN ISO 8821

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 8821

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

Fortsetzung Seite 2 bis 13

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

Deutsche Übersetzung

Mechanische Schwingungen

Anforderungen an die Auswuchtgüte starrer Rotoren

Teil 2: Abweichungen beim Auswuchten

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 1940-2 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108 "Mechanical vibration and shock", Unterkomitee SC 1 "Balancing, including balancing machines" erarbeitet.

ISO 1940 besteht aus den folgenden Teilen mit dem gemeinsamen Haupttitel "Mechanische Schwingungen — Anforderungen an die Auswuchtgüte starrer Rotoren":

- Teil 1: Bestimmung der zulässigen Restunwucht
- Teil 2: Abweichungen beim Auswuchten.

Die Anhänge A bis C dieses Teils von ISO 1940 dienen nur der Information.

Einleitung

Beim Auswuchten eines starren Rotors wird die Auswuchtgüte gemäß ISO 1940-1 nach der gemessenen Restunwucht beurteilt. Dabei können Abweichungen auftreten, die auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sind. Es ist daher notwendig, diese Abweichungen zu berücksichtigen. Wenn aus der Erfahrung bekannt ist, daß diese Abweichungen signifikant sind, sollten sie bei der Festlegung der Auswuchtgüte des Rotors berücksichtigt werden. ISO 1940-1 behandelt Abweichungen beim Auswuchten nicht im Detail und insbesondere nicht ihre Ermittlung, deshalb enthält der vorliegende Teil von ISO 1940 Beispiele typischer möglicher Abweichungen und empfiehlt Vorgehensweisen zu ihrer Bestimmung. Ferner werden verallgemeinerte Verfahren zur Ermittlung der Restunwucht unter Berücksichtigung vorhandener Abweichungen beschrieben.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 1940 umfaßt folgendes:

- Erkennen von Abweichungen beim Auswuchtvorgang für starre Rotoren,
- Ermittlung der Abweichungen,
- Anleitung zur Berücksichtigung der Abweichungen,
- Ermittlung der Restunwucht in zwei beliebigen Ausgleichsebenen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil des vorliegenden Teils von ISO 1940 sind. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung waren die angegebenen Ausgaben gültig. Alle normativen Dokumente unterliegen der Überarbeitung. Vertragspartner, deren Vereinbarungen auf diesem Teil von ISO 1940 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 1925 : 1990/Amd.1 : 1995

Amendment 1 to ISO 1925 : 1990

ISO 1940-1 : 1986

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

ISO 2953 : 1985

Balancing machines — Description and evaluation

3 Definitionen

Für die Anwendung dieses Teils von ISO 1940 gelten die Definitionen nach ISO 1925 (und der Änderung 1).

4 Ursachen für Abweichungen beim Auswuchten

Die Abweichungen beim Auswuchten können einer der folgenden Gruppen zugeordnet werden:



Documents

Document Sharing Hub

- a) systematische Abweichungen — Abweichungen, deren Betrag und Winkelrichtung rechnerisch oder durch Messung ermittelt werden können;
- b) zufällige Abweichungen — Abweichungen, deren Betrag und Winkelrichtung sich bei einer Reihe von unter gleichen Bedingungen durchgeführten Messungen in nicht voraussagbarer Weise ändern;
- c) skalare Abweichungen — Abweichungen, deren Höchstwert betragsmäßig ermittelt oder abgeschätzt werden kann, deren Winkelrichtung jedoch unbestimmt ist.

Je nach Fertigungsverfahren kann ein und dieselbe Abweichung in eine oder mehrere der obengenannten Kategorien eingeordnet werden.

Beispiele von möglichen Ursachen sind in 4.1, 4.2 und 4.3 aufgeführt. Einige dieser Abweichungen werden in Anhang A ausführlicher erläutert.

4.1 Systematische Abweichungen

Folgendes sind Beispiele von Ursachen von systematischen Abweichungen:

- a) Unwucht der Antriebswelle der Auswuchtmaschine;
- b) Unwucht der Hilfswelle;
- c) Rundlauf- und Planlaufabweichung des Antriebs-elementes auf der Rotorscheftachse;
- d) Rundlauf- und Planlaufabweichung im Sitz von Rotorteilen am Rotor oder an der Hilfswelle (siehe 5.3);
- e) Mittenversatz zwischen Lagerzapfen und der Lauf-fläche zum Auswuchten;
- f) Rundlauf- und Planlaufabweichung von Wälz-lagern, die nicht die Betriebslager sind und nur zur Lagerung des Rotors in der Auswuchtmaschine ver-wendet werden;
- g) Rundlauf- und Planlaufabweichung der umlaufen-den Ringe (und ihrer Wälzbahnen) von Betriebswälz-lagern, die nach dem Auswuchten aufgesetzt werden;
- h) auf Paßfedern und Nuten zurückzuführende Unwucht;
- i) Restmagnetismus im Rotor oder in einer Hilfs-welle;
- j) durch Wiederzusammenbau verursachte Abwei-chungen;
- k) durch Auswuchtgeräte und Meßinstrumente verur-sachte Abweichungen;
- l) unterschiedliche Durchmesser von Hilfswelle und Betriebswelle;
- m) Beschädigungen an den Kreuzgelenken der Gelenkwelle;
- n) bleibende Biegung im Rotor nach dem Auswuch-ten.

4.2 Zufällige Abweichungen

Folgendes sind Beispiele von Ursachen von zufälligen Abweichungen:

- a) locker sitzende Teile;
- b) eingeschlossene Flüssigkeiten oder Festkörper;
- c) Verformung aufgrund von thermischen Einflüssen;
- d) Auswirkung von Luftströmungen;
- e) Kupplungen mit Spiel als Antriebselement;
- f) zeitweilige Verbiegung in einem horizontalen Rotor zufolge Schwerkraft bei Rotorstillstand.

4.3 Skalare Abweichungen

Folgendes sind Beispiele von Ursachen von skalaren Abweichungen:

- a) Spiel an Fügestellen, die nach dem Auswuchten getrennt werden;
- b) zu großes Spiel in den Kreuzgelenken der Gelenk-welle;
- c) zu großes Spiel an der Hilfswelle oder der Welle;
- d) Konstruktions- und Fertigungs-Toleranzen;
- e) Rundlaufabweichungen von Auswuchtmaschinen-Tragrollen, falls ihre Durchmesser und die Rotor-Lagerzapfendurchmesser gleich oder etwa gleich sind oder ein ganzzahliges Verhältnis haben.

5 Ermittlung der Abweichungen

5.1 Allgemeines

In einigen Fällen sind Rotoren schon von der Konstruktion her im Wuchtzustand ausgeglichen, gleichförmig im Material und mit so engen Toleranzen bearbeitet, so daß sie nach der Fertigung nicht mehr ausgewuchtet werden müssen. Meistens übersteigt die ursprüngliche Unwucht der Rotoren jedoch die zulässigen Grenzwerte nach ISO 1940-1, so daß diese Rotoren ausgewuchtet werden müssen. In den Abschnitten 5.2 bis 5.6 werden die Abwei-chungen vom ausgeglichenen Wuchtzustand behandelt, die dieser Prozeß möglicherweise mit sich bringt.

5.2 Auf Auswuchteinrichtungen und Meßinstrumente zurückzuführende Abweichungen

Auf Auswuchteinrichtungen und Meßinstrumente zurück-zuführende Abweichungen im Wuchtzustand nehmen möglicherweise mit der jeweils vorhandenen Unwucht zu. Stets sollte deshalb versucht werden, einen Rotor symme-trisch zu konstruieren. Wenn darüber hinaus die Ursachen der Unwucht in der Konstruktionsphase berücksichtigt werden, können einige gänzlich beseitigt werden, z. B. durch Kombination mehrerer Bauteile zu einem einzigen, oder sie können verringert werden durch engere Passun-gen. Die Kosten engerer Toleranzen müssen gegenüber dem Nutzen der verringerten Ursachen der Unwucht abgewogen werden. Wenn solche Ursachen nicht besei-tigt oder auf ein vernachlässigbares Maß gesenkt werden können, sollten sie rechnerisch abgeschätzt werden.

5.3 Durch Rundlauf- oder Planlaufabweichung von Bauteilsitzen verursachte Unwuchtabweichungen

Wenn ein vollkommen ausgewuchtetes Rotorbauteil exzentrisch zur Rotorscheftachse montiert ist, gleicht die Größe der daraus resultierenden statischen Unwucht U_s der Masse m des Bauteils, multipliziert mit der Exzentrizi-tät e

$$U_s = m \cdot e \quad (1)$$

Ein zusätzliches Unwuchtmoment ergibt sich, wenn das Bauteil in einer anderen Ebene als der Massenmittel-punktebene des Rotors exzentrisch montiert ist. Je größer der Abstand dieser Ebenen ist, desto größer ist das erzeugte Unwuchtmoment.

Wenn ein vollkommen ausgewuchtetes Bauteil so mon-tiert ist, daß seine Hauptträgheitsachse zur Rotor-schaftachse geneigt ist, sein Massenmittelpunkt jedoch auf der Schaftachse liegt, entsteht ein Unwuchtmoment. Für kleine Neigungswinkel $\Delta\gamma$ zwischen den beiden

Achsen ist das Unwuchtmoment D_c gleich der Differenz zwischen dem Massenträgheitsmoment I_x um eine Querachse durch den Massenmittelpunkt des Bauteils und seinem Massenträgheitsmoment I_z um die Schaftachse, multipliziert mit dem Winkel $\Delta\gamma$ in Bogenmaß

$$D_c \approx (I_x - I_z) \cdot \Delta\gamma \quad (2)$$

Diese Gleichung gilt nur für den Fall, daß das Bauteil rotationssymmetrisch gestaltet ist, sie ist deshalb besonders beim Auswuchten von scheibenförmigen Rotoren auf langen Wellenschäften anzuwenden.

Wenn sowohl eine Rundlauf- als auch eine Planlaufabweichung des Bauteils auftritt, können die Abweichungen getrennt für die jeweiligen Lagerebenen oder Ausgleichsebenen berechnet und dann vektoriell addiert werden (siehe auch Bild 1 von ISO 1940-1 : 1986).

5.4 Ermittlung von Abweichungen beim Auswuchtvorgang

Ziel des Auswuchtvorgangs ist es, daß die Restunwucht des Rotors innerhalb festgelegter Grenzen liegt. Um sicherzustellen, daß die Grenzen eingehalten werden, müssen die Abweichungen kontrolliert und bei der Messung der Restunwucht berücksichtigt werden.

Wenn eine Auswuchtmaschine verwendet wird, gibt es verschiedene Ursachen für Abweichungen, nämlich die Art des auszuwuchtenden Rotors, die Hilfseinrichtungen zur Lagerung oder zum Antrieb des Rotors, die Lagerung der Auswuchtmaschine (Maschinenlager, Rahmen usw.), die Meßaufnehmer der Auswuchtmaschine, die elektronische Signalverarbeitung und die Anzeigegeräte. Jedes oder alle diese Elemente können zu Abweichungen beim Auswuchten beitragen. Die Kenntnis der Art der meisten dieser Abweichungen ermöglicht es, ihre Ursachen zu bestimmen, um sie entweder zu beseitigen, zu verringern oder sie bei der Bestimmung der Restunwucht in ihrer Wirkung zu berechnen und damit zu berücksichtigen.

Die Auswuchtmaschine sollte ISO 2953 entsprechen, so daß alle ihre systematischen Abweichungen eliminiert oder korrigiert sind und ihre zufälligen Abweichungen auf ein einziges U_{mar} begrenzt sind, wie in ISO 2953 beschrieben. Wenn die Ermittlung mit der Auswuchtmaschine vorgenommen wird und sich die Masse des Rotors oder die Lage der Meßebenen signifikant von jenem Prüfrotor unterscheidet, der bei der Prüfung der Auswuchtmaschine verwendet wurde, sollten weitere Messungen mit dem betrachteten Rotor durchgeführt werden, um das Minimum der erreichbaren Restunwucht in den auf dem Rotor festgelegten Meßebenen zu bestimmen.

5.5 Experimentelle Ermittlung zufälliger Abweichungen

Wenn signifikante zufällige Abweichungen vermutet werden, ist es notwendig, mehrere Meßläufe durchzuführen, um die Größe der Abweichungen zu ermitteln.

Dabei ist es wichtig sicherzustellen, daß sich die zufälligen Abweichungen zwischen den Meßläufen auf unsystematische Weise zufällig ergeben (z. B. indem sichergestellt wird, daß die Winkelstellung des Rotors zu Beginn jedes Meßlaufes verschieden ist).

Die Abweichung läßt sich quantitativ ermitteln, indem statistische Standardverfahren auf die erhaltenen Ergebnisse angewandt werden. In den meisten Fällen wird jedoch folgendes Näherungsverfahren ausreichen.

Die Vektoren der gemessenen Restunwuchten werden graphisch dargestellt und der Vektor $\vec{OA}$ als Mittelwert aller Meßläufe bestimmt (siehe Bild 1). Dann wird um den Mittelpunkt A der kleinste Kreis gezogen, der sämtliche Punkte einschließt. Der Vektor $\vec{OA}$ stellt einen Schätzwert für die Restunwucht dar, und der Radius des Kreises gibt überschlägig die größtmögliche Abweichung der einzelnen Meßergebnisse an. Die Ergebnisunsicherheit wird gewöhnlich durch Erhöhen der Anzahl der Messungen verringert.

ANMERKUNG: In manchen Fällen, insbesondere wenn sich ein einzelner Punkt signifikant von den anderen unterscheidet, kann die aus der Abschätzung gewonnene Abweichung unangemessen groß sein. In diesem Fall ist zur Bestimmung der Abweichungen eine genauere Untersuchung erforderlich.

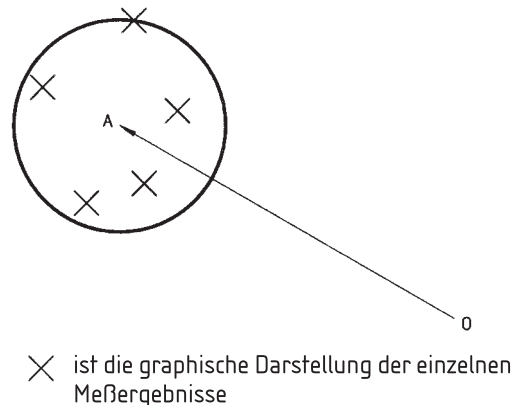


Bild 1: Graphische Darstellung der Vektoren gemessener Restunwuchten (zufällige Abweichungen)

5.6 Experimentelle Ermittlung systematischer Abweichungen

Die meisten systematischen Abweichungen können in vielen Fällen durch Auswuchten auf Umschlag (Index Balancing) bestimmt werden. Dazu ist folgendermaßen vorzugehen:

Der Rotor ist zunächst in der Winkelstellung 0° und danach versetzt um 180° relativ zu dem Teil zu montieren, das die Ursache einer bestimmten Abweichung ist. Die jeweilige Unwucht ist in beiden Lagen mehrmals zu messen. Wenn die Vektoren $\vec{OA}$ und $\vec{OB}$ wie in Bild 2 die mittleren Unwuchtvektoren des in der Winkelstellung 0° bzw. 180° montierten Rotors darstellen, kann für jede Meßebene ein Diagramm erstellt werden, wobei C der Mittelpunkt der Strecke AB ist. Der Vektor $\vec{OC}$ stellt die jeweilige systematische Abweichung dar, und die Vektoren $\vec{CA}$ und $\vec{CB}$ geben die Restunwucht des Rotors in der Winkelstellung 0° bzw. 180° an.

ANMERKUNG: In diesem Fall wurde angenommen, daß der Rotor gegenüber dem Referenzpunkt des Phasenwinkelgebers gedreht wurde. Wenn dagegen der Referenzpunkt des Phasenwinkelgebers in fester Lage zum Rotor steht, zeigt der Vektor $\vec{OC}$ die Restunwucht des Rotors an, und die Vektoren $\vec{CA}$ und $\vec{CB}$ stellen die jeweilige systematische Abweichung bei 0° bzw. 180° relativ zum Referenzpunkt des Phasenwinkelgebers dar.