

DIN ISO 21940-11

ICS 21.120.40; 29.160.10

Ersatz für
DIN ISO 21940-11:2017-03

**Mechanische Schwingungen –
Auswuchten von Rotoren –
Teil 11: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit starrem Verhalten
(ISO 21940-11:2016 + Amd 1:2022)**

Mechanical vibration –
Rotor balancing –
Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behaviour
(ISO 21940-11:2016 + Amd 1:2022)

Vibrations mécaniques –
Équilibrage des rotors –
Partie 11: Modes opératoires et tolérances pour rotors à comportement rigide
(ISO 21940-11:2016 + Amd 1:2022)

Gesamtumfang 41 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS)

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	5
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	7
Vorwort	8
Einleitung	9
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	10
4 Wesentliche Aspekte des Auswuchtens	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Darstellung der Unwucht	10
4.3 Auswirkungen der Unwucht	11
4.4 Bezugsebenen für Unwuchttoleranzen	11
4.5 Ausgleichsebenen	14
4.5.1 Allgemeines	14
4.5.2 Rotoren, die nur eine Ausgleichsebene benötigen	14
4.5.3 Rotoren, die zwei Ausgleichsebenen benötigen	14
4.5.4 Rotoren mit mehr als zwei Ausgleichsebenen	14
4.6 Zulässige Restunwucht	15
5 Ähnlichkeitsbetrachtungen	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Zulässige Restunwucht und Rotormasse	15
5.3 Zulässige bezogene Restunwucht und Betriebsdrehzahl	16
6 Festlegung der Unwuchttoleranzen	16
6.1 Allgemeines	16
6.2 Ableitung der Unwuchttoleranzen	16
6.3 Auswucht-Gütestufe G	17
6.3.1 Klassifizierung	17
6.3.2 Sonderkonstruktionen	17
6.3.3 Zulässige Restunwucht	21
6.4 Experimentelle Ermittlung	21
6.5 Unwuchttoleranzen, die auf Lagerkräften oder Schwingungen gründen	21
6.5.1 Lagerkräfte	21
6.5.2 Schwingungen	22
6.6 Auf bewährter Erfahrung gründende Verfahren	22
7 Zuordnung der zulässigen Restunwucht zu den Toleranzebenen	22
7.1 Eine Ebene	22
7.2 Zwei Ebenen	22
7.2.1 Allgemeines	22
7.2.2 Grenzen für Innenbord-Rotoren	23
7.2.3 Grenzwerte für Außenbord-Rotoren	23
8 Zuordnung der Unwuchttoleranzen zu den Ausgleichsebenen	24
8.1 Allgemeines	24
8.2 Eine Ebene	25
8.3 Zwei Ebenen	25
9 Zusammengebaute Rotoren	25
9.1 Allgemeines	25
9.2 Auswuchten des Rotors als Zusammenbau	25
9.3 Auswuchten der einzelnen Bauteile	25
10 Berücksichtigung von Abweichungen beim Nachweis von zulässigen Restunwuchten	26
10.1 Allgemeines	26
10.2 Unwuchttoleranz	26

10.3	Gesamtabweichung von Unwuchtmessungen	26
10.4	Nachweis der zulässigen Restunwucht	26
10.4.1	Allgemeines	26
10.4.2	Unwuchtmesswerte innerhalb der Toleranz	27
10.4.3	Unwuchtmesswerte außerhalb der Toleranz	27
10.4.4	Bereich der Unsicherheit	27
11	 Angabe notwendiger Informationen zum Auswuchten in der Entwurfsphase	27
Anhang A	(informativ) Beispiel zum Festlegen der zulässigen Restunwucht, ausgehend von der Auswucht-Gütestufe G, und ihre Verteilung auf die Toleranzebenen	28
A.1	Angaben zum Rotor	28
A.2	Festlegen von U_{per} nach Gleichung (6)	29
A.3	Festlegen von U_{per} nach Bild 2	29
A.4	Zuordnung zu den Toleranzebenen (Lagerebenen)	31
A.5	Überprüfung der Grenzwerte für Innenbord-Rotoren nach 7.2.2	31
A.6	Ergebnis	31
Anhang B	(informativ) Festlegen der Unwuchttoleranzen, ausgehend von Grenzwerten für die Lagerkräfte	32
B.1	Allgemeines	32
B.2	Beispiel	32
B.2.1	Annahme	32
B.2.2	Berechnung	32
Anhang C	(informativ) Festlegen der Unwuchttoleranzen, ausgehend von bewährter Erfahrung	34
C.1	Allgemeines	34
C.2	Ähnliche Rotoren	34
C.2.1	Allgemeines	34
C.2.2	Extrapolation von bekannten Rotoren	34
C.2.3	Berechnung	34
C.3	Unterschiedliche Rotoren	35
Anhang D	(informativ) Regeln zur Zuordnung der Unwuchttoleranzen von den Toleranzebenen zu den Ausgleichsebenen	36
D.1	Allgemeines	36
D.2	Ausgleichsebenen zwischen den Toleranzebenen	36
D.3	Ausgleichsebenen außerhalb der Toleranzebenen	37
D.4	Komplexere Geometrie	38
Anhang E	(informativ)  Angabe von Unwuchttoleranzen in technischen Zeichnungen	39
E.1	Allgemeines	39
E.2	Beispiel	39
Literaturhinweise		41

Bilder

Bild 1	— Unterschiedliche Darstellung ein und derselben Unwucht eines Rotors mit starrem Verhalten	13
Bild 2	— Zulässige bezogene Restunwucht als Funktion der Auswucht-Gütestufe G und der Betriebsdrehzahl n (siehe 6.3)	20
Bild 3	— Innenbord-Rotor mit unsymmetrischer Lage des Massenmittelpunkts	23
Bild 4	— Außenbord-Rotor mit Massenmittelpunkt im Wellenüberhang	24
Bild A.1	— Rotormaße	28
Bild A.2	— Beispiel zur Ermittlung von e_{per} aus Bild 2	30
Bild D.1	— Zuordnung zu Ausgleichsebenen zwischen den Toleranzebenen	36
Bild D.2	— Zuordnung zu Ausgleichsebenen außerhalb der Toleranzebenen	37
Bild E.1	— Rotorskizze 	40

Tabellen

Tabelle 1 — Leitwerte für die Auswucht-Gütestufe von Rotoren mit starrem Verhalten 17

Tabelle E.1 — Notwendige Angaben zur Bestimmung der Unwuchttoleranz 39

Tabelle E.2 — Beispiel für notwendige Angaben zur Bestimmung der Unwuchttoleranz 39

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 21940-11:2016 und ISO 21940-11:2016/Amd 1:2022, die vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration, shock and condition monitoring“, Unterkomitee SC 2 „Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures“, erarbeitet wurde, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Für die deutsche Mitarbeit ist der Arbeitsausschuss NA 001-03-06 AA (NALS/VDI C 6) „Auswuchten und Auswuchtmaschinen“ im DIN/VDI-Normenausschusses Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) verantwortlich.

Der Beginn und das Ende von neuem oder geändertem Text wird durch die Änderungsmarken   angezeigt.

DIN ISO 21940 mit dem Titel *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren* besteht aus folgenden Teilen:

- Teil 1: Einführung
- Teil 2: Begriffe
- Teil 11: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit starrem Verhalten
- Teil 12: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit nachgiebigem Verhalten
- Teil 12: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit nachgiebigem Verhalten — Beiblatt 1: Verfahren zum Auswuchten bei mehreren Drehzahlen
- Teil 13: Kriterien und Sicherheitshinweise für das Auswuchten von mittleren und großen Rotoren am Aufstellungsort
- Teil 14: Verfahren zur Ermittlung von Abweichungen beim Auswuchten
- Teil 21: Beschreibung und Bewertung von Auswuchtmaschinen
- Teil 21: Beschreibung und Bewertung von Auswuchtmaschinen — Beiblatt 1: Statistische Qualitätsfähigkeitskenngrößen zur Beurteilung des Unwuchtmessprozesses
- Teil 23: Verkleidungen und andere Schutzmaßnahmen für die Messstation von Auswuchtmaschinen
- Teil 32: Behandlung von Passfederverbindungen

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 21940-1	siehe	DIN ISO 21940-1
ISO 21940-2	siehe	DIN ISO 21940-2
ISO 21940-12	siehe	DIN ISO 21940-12
ISO 21940-14	siehe	DIN ISO 21940-14
ISO 21940-21	siehe	DIN ISO 21940-21
ISO 21940-32	siehe	DIN ISO 21940-32

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN ISO 21940-11:2017-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Änderungen aus ISO 21940-11:2016/Amd 1:2022 eingearbeitet. Durch die Änderung wurde ein neuer Abschnitt 11 „Angabe notwendiger Informationen zum Auswuchten in der Entwurfsphase“ sowie ein neuer Anhang E „Übermittlung notwendiger Informationen zum Auswuchten in der Entwurfsphase“ hinzugefügt;
- b) Dokument redaktionell überarbeitet und Übersetzung angepasst;
- c) nationales Vorwort aktualisiert;
- d) nationaler Anhang aktualisiert.

Frühere Ausgaben

DIN ISO 1940-1: 1993-12, 2004-04

DIN ISO 21940-11: 2017-03

DIN ISO 1940-1 Berichtigung 1: 2005-04

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 21940-1, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 1: Einführung*

DIN ISO 21940-2, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 2: Begriffe*

DIN ISO 21940-12, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 12: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit nachgiebigem Verhalten*

DIN ISO 21940-14, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 14: Verfahren zur Ermittlung von Abweichungen beim Auswuchten*

DIN ISO 21940-21, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 21: Beschreibung und Bewertung von Auswuchtmaschinen*

DIN ISO 21940-32, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 32: Behandlung von Passfederverbindungen*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Directives, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 108, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring*, Unterkomitee SC 2, *Measurement and evaluation of mechanical vibration and shock as applied to machines, vehicles and structures* erarbeitet.

Diese erste Ausgabe ersetzt ISO 1940-1:2003, die technisch überarbeitet wurde. Die wichtigsten Änderungen sind die Streichung von Begriffen und Definitionen, die in ISO 21940-2 überführt wurden, und eine deutlichere Erläuterung der Anwendung der zulässigen Restunwuchten für die Prozesse des Auswuchtens eines Rotors und der Überprüfung seiner Restunwucht. Festlegungen zu Unwuchttoleranzen auf der Grundlage von Schwingungsgrenzwerten wurden entfernt.

Sie enthält auch die Technische Berichtigung ISO 1940-1:2003/Cor 1:2005.

Eine Auflistung aller Teile der Reihe ISO 21940 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Einleitung

Das Auswuchten von Rotoren ist ein Verfahren, bei dem die Massenverteilung eines Rotors (oder Rotorteils oder Rotormoduls) überprüft und, sofern notwendig, korrigiert wird, um sicherzustellen, dass die Unwuchttoleranz eingehalten wird. Dieses Dokument behandelt das Auswuchten von Rotoren mit starrem Verhalten. Ein Rotor wird als starr bezeichnet, wenn seine Durchbiegung, die durch die Unwuchtverteilung erzeugt wird, hinsichtlich der vereinbarten Unwuchttoleranz bei jeder Drehzahl bis zur höchsten Betriebsdrehzahl vernachlässigt werden kann. Bei diesen Rotoren sind die resultierende Unwucht und häufig die resultierende Momentenunwucht von Interesse, die zusammengefasst die dynamische Unwucht des Rotors angeben.

Die heutzutage verfügbaren Auswuchtmaschinen ermöglichen es, die Restunwuchten auf sehr niedrige Werte zu reduzieren. Deshalb ist es notwendig, für eine Auswuchtaufgabe eine Anforderung an die Auswuchtqualität festzulegen, da es in den meisten Fällen unwirtschaftlich wäre, die Unwucht auf die Grenzwerte der Auswuchtmaschine zu reduzieren.

Zusätzlich zum Festlegen einer Unwuchttoleranz ist es außerdem notwendig, die Abweichungen zu berücksichtigen, die durch den Auswuchtprozess herbeigeführt werden. Dieses Dokument berücksichtigt den Einfluss dieser Abweichungen, um eindeutig zwischen der vorgegebenen zulässigen Restunwucht und den reduzierten Werten der Restunwucht zu unterscheiden, die während des Auswuchtprozesses erreicht werden sollen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Verfahren und Unwuchttoleranzen für das Auswuchten von Rotoren mit starrem Verhalten fest. Es legt:

- a) den Betrag der zulässigen Restunwucht;
- b) die erforderliche Anzahl von Ausgleichsebenen;
- c) die Zuordnung der zulässigen Restunwucht zu den Toleranzebenen;
- d) den Umgang mit Abweichungen (Fehlern) beim Auswuchtprozess fest.

ANMERKUNG In ISO 21940-14 wird der Umgang mit Abweichungen beim Auswuchten ausführlich erörtert. Die Grundlagen des Auswuchtens von Rotoren sind in ISO 21940-1 enthalten, worin auch eine Einführung in das Auswuchten enthalten ist. ^{A1}

Dieses Dokument umfasst nicht das Auswuchten von Rotoren mit nachgiebigem Verhalten. Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit nachgiebigem Verhalten werden in ISO 21940-12 behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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 21940-2, *Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 2: Vocabulary* ^{A1}

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 21940-2.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

4 Wesentliche Aspekte des Auswuchtens

4.1 Allgemeines

Das Auswuchten von Rotoren ist ein Vorgang, durch den die Massenverteilung eines Rotors untersucht und, wenn nötig, korrigiert wird, um sicherzustellen, dass im Betriebszustand die Restunwucht oder die Schwingungen innerhalb festgelegter Grenzen liegen. Es sollte beachtet werden, dass die Schwingungen während des Betriebs auch andere Ursachen als Unwucht haben können.

Die Unwucht eines Rotors kann von der Konstruktion, dem Material, der Fertigung und dem Zusammenbau verursacht werden. Jeder Rotor hat eine individuelle Unwuchtverteilung über die Rotorlänge, sogar bei Serienfertigung.

4.2 Darstellung der Unwucht

Bei einem Rotor mit starrem Verhalten können zur Darstellung ein und derselben Unwucht unterschiedliche vektorielle Größen verwendet werden, wie in Bild 1 gezeigt.

Bild 1 a) bis Bild 1 c) zeigen verschiedene Darstellungen in Form der resultierenden Unwucht und des resultierenden Unwuchtpaars, während Bild 1 d) bis Bild 1 f) verschiedene Darstellungen in Form der dynamischen Unwucht in zwei Ebenen zeigen.

ANMERKUNG 1 Der resultierende Unwuchtvektor kann in jeder beliebigen Radialebene liegen (ohne den Betrag und den Winkel zu ändern), das zugehörige resultierende Unwuchtpaar ist jedoch von der Lage des resultierenden Unwuchtvektors abhängig.

ANMERKUNG 2 Das Unwuchtzentrum ist jener Ort der resultierenden Unwucht auf der Schaftachse, für den das resultierende Unwuchtpaar minimal ist.

Wenn Ein-Ebenen-Auswuchten ausreichend ist (siehe 4.5.2) oder wenn Überlegungen hinsichtlich der resultierenden Unwucht und des resultierenden Unwuchtpaars angestellt werden (siehe 4.5.4), ist die Darstellung in Bild 1 a) bis Bild 1 c) zu bevorzugen.

Bei typischen Zwei-Ebenen-Überlegungen ist die Darstellung in Bild 1 d) bis Bild 1 f) vorteilhafter.

4.3 Auswirkungen der Unwucht

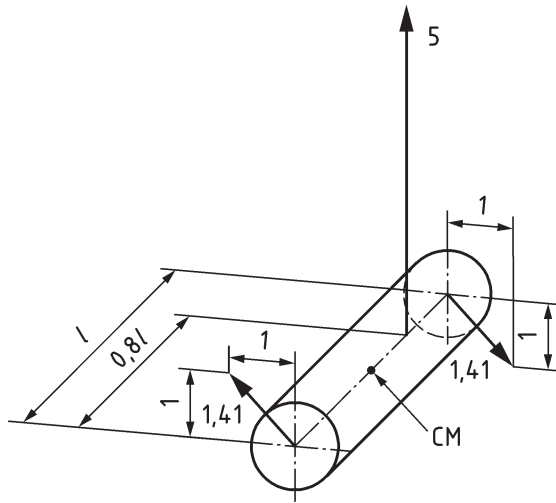
Die resultierende Unwucht und die resultierende Momentenunwucht (letztere kann auch als resultierendes Unwuchtpaar ausgedrückt werden) haben unterschiedliche Auswirkungen auf die Lagerkräfte und auf die Maschinenschwingungen. Daher werden diese beiden Unwuchtarten in der Praxis häufig getrennt betrachtet. Auch wenn die Unwucht als dynamische Unwucht in zwei Ebenen angegeben wird, sollte beachtet werden, dass in den meisten Fällen die Auswirkungen unterschiedlich sind, je nachdem ob die Unwucht vornehmlich eine resultierende Unwucht oder eine resultierende Momentenunwucht darstellt.

4.4 Bezugsebenen für Unwuchttoleranzen

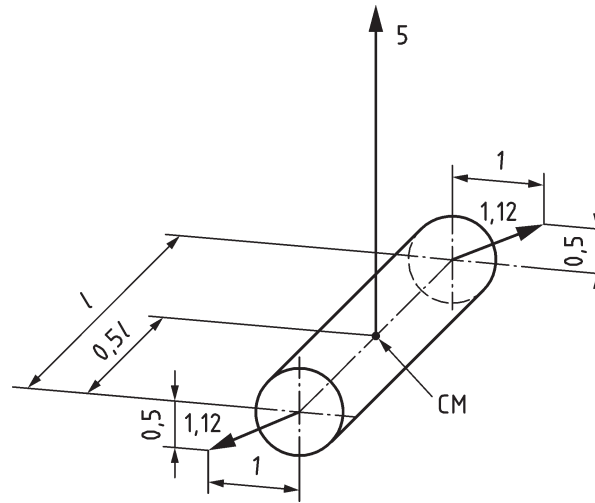
Es wird empfohlen, zur Angabe der Unwuchttoleranzen Bezugsebenen zu verwenden. Für diese Ebenen muss nur der Betrag jeder Restunwucht innerhalb der jeweiligen Unwuchttoleranz bleiben, wie auch immer die Winkellage sein mag.

Das Ziel des Auswuchtens ist in der Regel, die über die Lager in die Umgebung übertragenen Schwingungen und Kräfte zu verringern. Zu diesem Zweck werden in diesem Dokument die Lagerebenen als Bezugsebenen für die Unwuchttoleranzen verwendet. Diese Verwendung der Lagerebenen ist jedoch nicht immer möglich.

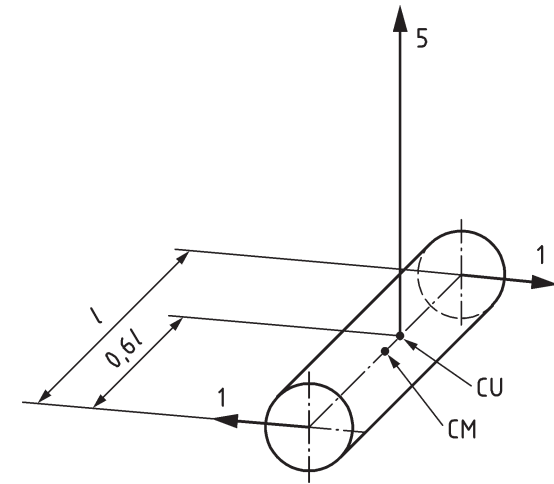
ANMERKUNG Bei einem Bauteil ohne Welle (z. B. einem scheibenförmigen Bauteil), bei dem aber die endgültige Lageranordnung bekannt ist (oder abgeschätzt werden kann), können diese Ebenen verwendet werden.



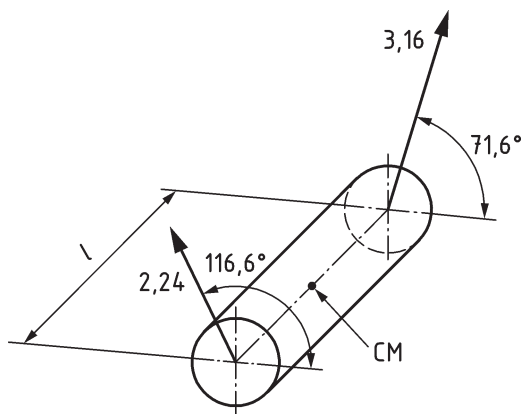
a) Vektor der resultierenden Unwucht mit einem zugehörigen Unwuchtpaar in den Endebenen



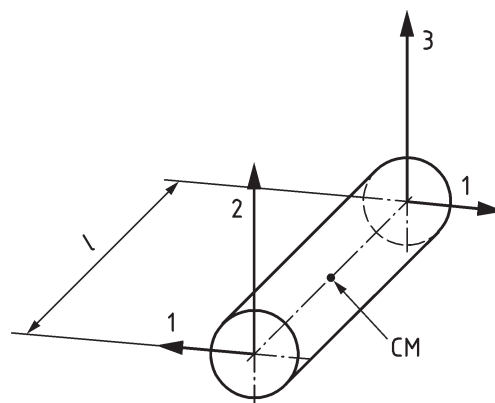
b) Sonderfall von a): Vektor der resultierenden Unwucht im Massenmittelpunkt CM (statische Unwucht) mit einem zugehörigen Unwuchtpaar in den Endebenen



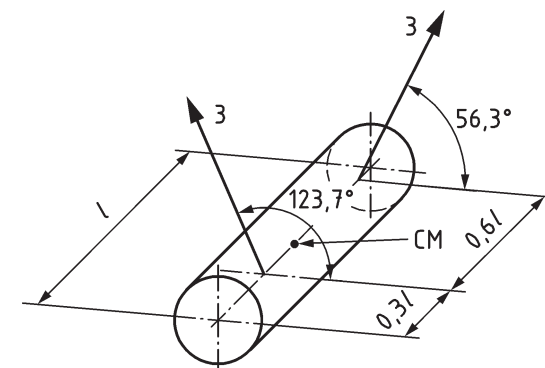
c) Sonderfall von a): Vektor der resultierenden Unwucht im Unwuchtzentrum CU



d) Ein Unwuchtvektor in jeder Endebene



e) Zwei 90°-Unwucht Komponenten in jeder Endebene



f) Je ein Unwuchtvektor in zwei beliebigen anderen Ebenen

Legende

CM Massenmittelpunkt

CU Unwuchtzentrum

l Rotorlänge

ANMERKUNG Zu Bild 1 c): Das zugehörige Unwuchtpaar ist ein Minimum und liegt in einer Ebene senkrecht zum Vektor der resultierenden Unwucht.

Bild 1 — Unterschiedliche Darstellung ein und derselben Unwucht eines Rotors mit starrem Verhalten