

DIN ISO 21940-21



ICS 21.120.40

Einsprüche bis 2023-11-22
Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 21940-21:2013-09

Entwurf

**Mechanische Schwingungen –
Auswuchten von Rotoren –
Teil 21: Beschreibung und Bewertung von Auswuchtmaschinen
(ISO 21940-21:2022);
Text Deutsch und Englisch**

Mechanical vibration –
Rotor balancing –
Part 21: Description and evaluation of balancing machines (ISO 21940-21:2022);
Text in German and English

Vibrations mécaniques –
Équilibrage des rotors –
Partie 21: Description et évaluation des machines à équilibrer (ISO 21940-21:2022);
Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2023-09-22 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nals@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 152 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	6
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	8
Vorwort	9
Einleitung	10
1 Anwendungsbereich	11
2 Normative Verweisungen	11
3 Begriffe	11
4 Eigenschaften und Leistungen der Auswuchtmaschine	11
4.1 Allgemeines	11
4.2 Daten für horizontale Auswuchtmaschinen	11
4.2.1 Rotormasse und Begrenzungen der Unwucht	11
4.2.2 Wirtschaftlichkeit	11
4.2.3 Rotormaße	13
4.2.4 Daten für Antriebe von Auswuchtmaschinen	15
4.2.5 Drehmoment	15
4.2.6 Art des Rotorantriebs	16
4.2.7 Bremse	16
4.2.8 Motor und Steuerung	16
4.2.9 Drehzahlregelung	16
4.2.10 Momentenunwucht-Einflussverhältnis I_{SC}	16
4.2.11 Anforderungen an die Druckluft	16
4.3 Daten für vertikale Auswuchtmaschinen	16
4.3.1 Rotormasse und Begrenzungen der Unwucht	16
4.3.2 Wirtschaftlichkeit	17
4.3.3 Rotormaße	18
4.3.4 Daten für Antriebe von Auswuchtmaschinen	19
4.3.5 Drehmoment	19
4.3.6 Art des Rotorantriebs	19
4.3.7 Bremse	19
4.3.8 Motor und Steuerung	19
4.3.9 Drehzahlregelung	19
4.3.10 Momentenunwucht-Einflussverhältnis	20
4.3.11 Anforderungen an die Druckluft	20
5 Eigenschaften der Auswuchtmaschinen	20
5.1 Arbeitsprinzip	20
5.2 Anordnung der Auswuchtmaschine	20
5.3 Messsystem	20
5.3.1 Allgemeines	20
5.3.2 Unwuchtanzeige	21
5.3.3 Zusätzliche Eigenschaften	21
5.3.4 Arbeitsweise des Messsystems	21
5.4 Ebenentrennung	22
5.4.1 Mehr-Ebenen-Auswuchtmaschinen	22
5.4.2 Horizontale oder vertikale Ein-Ebenen-Auswuchtmaschinen	22
5.5 Einstellen und Kalibrieren des Messsystems	22
5.5.1 Allgemeines	22
5.5.2 Wegmessende Auswuchtmaschinen	22
5.5.3 Kraftmessende Auswuchtmaschinen	23
6 Wirtschaftlichkeit	23
6.1 Allgemeines	23
6.2 Zeit je Auswuchtzyklus	23

6.3	Unwuchtreduziervverhältnis R_{URV}	26
7	Randbedingungen, die die Leistungsfähigkeit beeinflussen	26
8	Anforderungen an die Installation	26
8.1	Allgemeines	26
8.2	Anforderungen an die Lieferung	27
8.3	Fundament	27
9	Prüfrotoren und Testmassen	27
9.1	Allgemeines	27
9.2	Genormte Prüfrotoren	27
9.3	Nutzerdefinierte Prüfrotoren	30
9.4	Testmassen	30
9.4.1	Allgemeines	30
9.4.2	Testmassen für die U_{ker} -Prüfung	41
9.4.3	Testmassen für die R_{URV} -Prüfung	41
9.4.4	Zulässige Abweichungen bei Testmassen	42
9.4.5	Werkstoffe	43
10	Abnahmeprüfungen für Auswuchtmaschinen	43
10.1	Allgemeines	43
10.2	Anforderungen an die Leistungsbewertung bei Auswuchtmaschinen	45
10.3	Prüfdrehzahl	45
10.4	Prüfung zur Bestimmung der kleinsten erreichbaren Restunwucht U_{ker}	46
10.4.1	Allgemeines	46
10.4.2	Ersteinrichtung von Auswuchtmaschinen	46
10.4.3	Ansetzen von Unwuchten	48
10.4.4	Anzeigen	48
10.4.5	Ausgleich	49
10.4.6	Wechsel des Winkelbezugs	49
10.4.7	Ebeneneinstellung für die U_{ker} -Prüfung	49
10.4.8	Prüfläufe	49
10.4.9	Auswertung von U_{ker}	49
10.5	Prüfung des R_{URV}	50
10.5.1	R_{URV} -Prüfungen an Ein-Ebenen-Auswuchtmaschinen	50
10.5.2	R_{URV} -Prüfungen an Zwei-Ebenen-Auswuchtmaschinen	50
10.5.3	Allgemeines	50
10.5.4	Ausfüllen des Prüfdatenblatts	54
10.5.5	Ebeneneinstellung	54
10.5.6	Läufe für die R_{URV} -Prüfung	55
10.5.7	Einzeichnen der Daten der R_{URV} -Prüfung	55
10.5.8	Beurteilung	60
10.6	Prüfung des Momentenunwucht-Einflusses an Ein-Ebenen- Auswuchtmaschinen	61
10.6.1	Startpunkt	61
10.6.2	Durchführung	61
10.6.3	Beurteilung	61
10.7	Kompensationsprüfung	61
10.7.1	Startpunkt	61
10.7.2	Durchführung	61
10.7.3	Beurteilung	62
10.8	Vereinfachte Prüfungen	62
10.8.1	Allgemeines	62
10.8.2	Vereinfachte U_{ker} -Prüfung	62
10.8.3	Vereinfachte R_{URV} -Prüfung	63
Anhang A	(informativ) Informationen des Nutzers für den Hersteller der Auswuchtmaschine	64
A.1	Allgemeines	64
A.2	Auszuwuchtender Rotor	64
A.2.1	Wesentliche Rotordaten	64
A.2.2	Weitere Rotordaten	65
A.3	Weitere technische Informationen	67

A.4	Administrative Informationen	68
Anhang B	(informativ) Diagramme der R_{URV} -Grenzen	70
B.1	Basisdaten	70
B.2	Anweisungen zum Zeichnen von R_{URV} -Grenzkreis-Diagrammen	71
B.3	Andere R_{URV} -Grenzen	72
B.4	Berechnung der R_{URV} -Grenzkreise	72
Anhang C	(informativ) Wellen für Außenbord-Prüfrotoren Typ C	74
Anhang D	(informativ) Nutzerdefinierte Prüfrotoren für Sonderfälle einschließlich Verwendung eines Bauteils aus der Produktion des Nutzers	76
Anhang E	(informativ) Anpassungen der entsprechend ISO 2953 gefertigten Prüfrotoren an diesem Dokument	77
E.1	Prüfrotoren Typ A	77
E.2	Prüfrotoren Typ B	77
E.2.1	Allgemeines	77
E.2.2	Testebenen	77
E.2.3	Anschluss für Gelenkwellen	77
E.3	Prüfrotoren Typ C	77
Anhang F	(informativ) Optionale Prüfung der Wiederholpräzision	79
F.1	Prüfung der Wiederholpräzision	79
F.1.1	Allgemeines	79
F.1.2	Durchführung	79
F.1.3	Bewertung	80
Anhang G	(informativ) Optionale Prüfung des Drehzahlbereichs	81
G.1	Prüfung des Drehzahlbereichs	81
G.1.1	Allgemeines	81
G.1.2	Durchführung	81
G.1.3	Bewertung	82
Literaturhinweise		83

Bilder

Bild 1	— Beispiel einer Lagerständer-Zeichnung, mit der die Begrenzung der Rotorkontur dargestellt wird	14
Bild 2	— Beispiel des Montageanschlusses einer vertikalen Auswuchtmaschine und der Rotorkontur	19
Bild 3	— Prüfrotoren Typ A, Typ B und Typ C	29
Bild 4	— Prüfrotoren Typ A für Prüfungen an vertikalen Auswuchtmaschinen	34
Bild 5	— Prüfrotoren Typ B für Innenbord-Prüfungen an horizontalen Auswuchtmaschine	37
Bild 6	— Typ C Prüfrotoren an horizontalen Auswuchtmaschinen	40
Bild 7	— Diagramm zur Auswertung der U_{ker} -Prüfung	53
Bild 8	— R_{URV} -Auswertungs-Diagramm für die Zwei-Ebenen-Prüfung	58
Bild 9	— R_{URV} -Auswertungs-Diagramm für die Ein-Ebenen-Prüfung	60
Bild A.1	— Lasten	66
Bild A.2	— Beispiel eines Rotors für eine horizontale Auswuchtmaschine	67
Bild A.3	— Beispiel eines Rotors für eine vertikale Auswuchtmaschine	67
Bild B.1	— Graphische Bestimmung von R und γ aus $m_{stationär}$, $m_{wandernd}$ und α	72
Bild C.1	— Wellen für Prüfrotoren Typ C für Außenbord-Prüfungen an horizontalen Auswuchtmaschinen	74
Bild D.1	— Nutzerdefinierter Prüfrotor für Sonderfälle einschließlich Verwendung eines Bauteils aus Produktion des Nutzers	76

Tabellen

Tabelle 1 — Daten für horizontale Auswuchtmaschinen	12
Tabelle 2 — Parameter von Antrieben für Auswuchtmaschinen	15
Tabelle 3 — Daten für vertikale Auswuchtmaschinen	17
Tabelle 4 — Mögliches Zeitdiagramm	25
Tabelle 5 — Empfohlene Maße, Massen und Drehzahlen für Prüfstroten Typ A für vertikale Auswuchtmaschinen (siehe Bild 4)	32
Tabelle 6 — Empfohlene Maße, Massen und Drehzahlen für horizontale Auswuchtmaschine mit Innenbord-Lagern und Prüfstroten Typ B (siehe Bild 5)	35
Tabelle 7 — Empfohlene Maße, Massen und Drehzahlen für horizontale Auswuchtmaschine mit Außenbord-Lagern und Prüfstroten Typ C (siehe Bild 6)	38
Tabelle 8 — Prüfmatrix für die Abnahmeprüfung von Auswuchtmaschinen	44
Tabelle 9 — Prüfungen, die für alle Maschinenarten nach der Erstprüfung entfallen können . . .	44
Tabelle 10 — Prüfstroten und ihre Ebenen für die in Tabelle 6 beschriebenen Prüfungen	46
Tabelle 11 — Übersicht über die U_{ker} - und R_{URV} -Prüfungen mit den in Tabelle 5 beschriebenen Prüfstroten	47
Tabelle 12 — Datenblatt für das Auswuchten von Prüfstroten	50
Tabelle 13 — Datenblatt für U_{ker} -Prüfung	51
Tabelle 14 — Datenblatt für eine Zwei-Ebenen- R_{URV} -Prüfung	56
Tabelle 15 — Datenblatt für eine Ein-Ebenen- R_{URV} -Prüfung	58
Tabelle A.1 — Typische Daten für auszuwuchtende Rotoren (mit starrem Verhalten)	64
Tabelle B.1 — Daten für die R_{URV} -Grenzen des Zwei-Ebenen-Diagramms (siehe Bild 8)	70
Tabelle B.2 — Daten für die R_{URV} -Grenzen des Ein-Ebenen-Diagramms (siehe Bild 9)	70
Tabelle C.1 — Empfohlene Maße und Massen der Wellen von Prüfstroten Typ C für Außenbord-Tests an horizontalen Maschinen (siehe Bild C.1)	75
Tabelle F.1 — Beispiel für die Aufzeichnung von Daten zur Wiederholbarkeit	79
Tabelle G.1 — Beispiel für die Aufzeichnung von Daten zur Drehzahlprüfung	81

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 21940-21:2022, die vom Technischen Komitee ISO/TC 108 „Mechanical vibration, shock and condition monitoring“ erarbeitet wurde, dessen Sekretariat von ANSI (Vereinigte Staaten von Amerika) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-03-06 AA „Auswuchten und Auswuchtmaschinen“ im DIN-Normenausschuss DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Mit den Gestaltungsvorgaben, nur einzelne Buchstaben als Formelzeichen zu verwenden, wurden diese in ISO 21940-21:2022 neu definiert. Die neu in ISO 21940-21:2022 verwendeten Indizes lesen sich in der deutschen Sprache jedoch nicht eindeutig, weshalb weiterhin die bekannten bisherigen deutschen Begriffe wie „URV“ und „ker“ beibehalten werden.

DIN ISO 21940 besteht unter dem allgemeinen Titel *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren* aus den 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 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 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 21940-2	siehe	DIN ISO 21940-2
ISO 21940-11	siehe	DIN ISO 21940-11
ISO 21940-12	siehe	DIN ISO 21940-12
ISO 21940-14	siehe	DIN ISO 21940-14

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 21940-21:2013-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt „Einleitung“ hinzugefügt;
- b) Abschnitt „Normative Verweisung“ aktualisiert;
- c) Abschnitt „Anwendungsbereich“ gekürzt;
- d) Abschnitt 4.2 und Abschnitt 4.3 neu gegliedert;
- e) Tabelle 1 und Tabelle 2 inhaltlich überarbeitet;
- f) Abschnitt 5.3, Abschnitt 7.2 und Abschnitt 8 inhaltlich überarbeitet;
- g) Abschnitt 9.2 umbenannt in „Anforderungen an die Lieferungen“, inhaltlich überarbeitet und ergänzt;
- h) Abschnitt 10 inhaltlich überarbeitet, neu gegliedert und ergänzt. Empfehlungen für nutzerdefinierte Prüfrotoren hinzugefügt;
- i) in Abschnitt 11 allgemeine Informationen, eine Prüfmatrix sowie Informationen zur Mehr-Ebenen-Prüfung hinzugefügt. In Tabelle 7 die fehlerhaften Werte für $U_{\text{stationär}}$ korrigiert;
- j) Anhang D gekürzt und mit einem Bild ergänzt;
- k) Anhang G und Anhang F hinzugefügt;
- l) die in DIN ISO 21940-21:2013-09 verwendete Abkürzung „URV“ für „Unwuchtreduzierverhältnis“ (en: „unbalance reduction ratio (R_{UR})“) wurde in Anlehnung an ISO 21940-21:2022 mit der Variable R_{URV} ersetzt, um den formalen Anforderungen an Formelzeichen umzusetzen;
- m) die in DIN ISO 21940-21:2013-09 verwendete Abkürzung „ U_{ker} “ für „kleinste erreichbare Restunwucht“ (en: „minimum achievable residual unbalance (U_{mar})“) wurde entgegen ISO 21940-21:2022 beibehalten;
- n) die in DIN ISO 21940-21:2013-09 verwendete Abkürzung „ e_{ker} “ für „kleinste bezogene erreichbare Restunwucht“ (en: „minimum achievable residual specific unbalance (e_{mar})“) wurde entgegen ISO 21940-21:2022 beibehalten;
- o) die in DIN ISO 21940-21:2013-09 verwendeten Indizes „stationär“ und „s“ wurden zusammengefasst. Es wird nur noch „stationär“ verwendet;
- p) die in DIN ISO 21940-21:2013-09 verwendete Indizes „wandernd“ und „w“ wurden zusammengefasst. Es wird nur noch „wandernd“ verwendet;
- q) Literaturhinweise aktualisiert;
- r) Dokument redaktionell überarbeitet.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN ISO 21940-2, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 21: Begriffe*
(ISO 21940-2:2017)

DIN ISO 21940-11, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 21: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit starrem Verhalten* (ISO 21940-11:2016)

DIN ISO 21940-12, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 21: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit nachgiebigem Verhalten* (ISO 21940-12:2016)

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

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-Direktiven, 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.

ISO 21940-21 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 zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 21940-21:2012), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

- die Einführung neuer computergestützter Technologien in Messsysteme von Auswuchtmaschinen;
- die Einführung zusätzlicher Prüfungen für Wiederholpräzision und Drehzahlbereich (siehe Anhang F und Anhang G);
- die Einführung verdeutlichter Angaben für Anwendung mit automatisierten Auswuchtmaschinen und Spezialmaschinen.

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

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Der Zweck dieser Internationalen Norm besteht in der Bereitstellung allgemeingültiger Rahmenbedingungen für die Spezifizierung, den Vergleich und die Bewertung von Auswuchtmaschinen.

Sie enthält Beschreibungen zur Art und Weise der Darstellung der grundlegenden Eigenschaften von Auswuchtmaschinen durch den Hersteller, um Nutzern einen Vergleich der Produkte verschiedener Hersteller zu ermöglichen. Zusätzlich werden Hinweise gegeben, in welcher Form die Nutzer ihre Daten und Anforderungen an einen Hersteller von Auswuchtmaschinen geben.

Dieses Dokument beschreibt die Prüfungen, die während der Abnahmeprüfung einer Auswuchtmaschine und später in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden müssen, um sicherzustellen, dass die Auswuchtmaschine in der Lage ist, die eigentlichen Auswuchtaufgaben zu bewältigen. Für die wiederkehrenden Prüfungen werden vereinfachte Verfahren festgelegt.

Festgelegt sind Verfahren und Anforderungen zur Vorbereitung von Prüfroten (es kann sich um Prüfroten Typ A, Typ B oder Typ C oder um nutzerdefinierte Prüfroten, z. B. auf der Grundlage eines nutzerdefinierten Bauteils, handeln), die die Abdeckung einer Vielzahl verschiedener Anwendungen ermöglichen.

Die Genauigkeit aller Auswuchtmaschinen ist inhärent nicht linear über ihren Masse- und Drehzahlbereich. In der üblichen Praxis wird eine kraftmessende Auswuchtmaschine im Verhältnis zu einem bestimmten Teil ihres Drehzahl- und Massebereichs kalibriert, außerhalb dessen kann jedoch nicht von ihrer Genauigkeit ausgegangen werden. Demzufolge sollte eine rotorspezifische Kalibrierung erfolgen, um die Genauigkeit der Auswuchtmaschine bei einer bestimmten Drehzahl und für einen Rotor mit einer bestimmten Masse zu ermitteln. Dies ist übliche Praxis bei wegmessenden Auswuchtmaschinen oder in Fällen, in denen der Hersteller angibt, dass eine rotorspezifische Kalibrierung durchgeführt werden sollte.

1 Anwendungsbereich

In diesem Dokument werden die Anforderungen für die Bewertung von kraft- sowie wegmessenden Auswuchtmaschinen festgelegt, die folgende Rotoren aufnehmen und antreiben:

- a) Rotoren mit bei Auswuchtdrehzahl starrem Verhalten (wie in ISO 21940-11 beschrieben);
- b) Rotoren mit wellenelastischem Verhalten, die in Übereinstimmung mit niedrigtourigen Auswuchtverfahren ausgewuchtet sind (wie in ISO 21940-12 beschrieben).

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 21940-2, *Mechanical vibration — Rotor balancing — Part 2: Vocabulary*

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:

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

4 Eigenschaften und Leistungen der Auswuchtmaschine

4.1 Allgemeines

Der Hersteller muss die Daten, wie sie in 4.2 für horizontale Auswuchtmaschinen bzw. in 4.3 für vertikale Auswuchtmaschinen aufgeführt sind, angeben. Die Informationen, die dem Hersteller der Auswuchtmaschine vom Nutzer zur Verfügung zu stellen sind, sind in Anhang A zusammengestellt.

4.2 Daten für horizontale Auswuchtmaschinen

4.2.1 Rotormasse und Begrenzungen der Unwucht

Die maximale Rotormasse m , die ausgewuchtet werden kann, muss für den Bereich der Auswuchtdrehzahlen ($n_1, n_2, \dots$) angegeben werden.

Das maximale Trägheitsmoment eines Rotors (angegeben durch $m \cdot r^2$, wobei m die Rotormasse und r der Trägheitsradius ist) um die Schaftachse, die die Auswuchtmaschine in der angegebenen Zeit beschleunigen kann, muss für den Bereich der Auswuchtdrehzahlen ($n_1, n_2, \dots$) zusammen mit der zugehörigen Zyklenzahl (siehe Tabelle 1, Anmerkung 2) angegeben werden.

4.2.2 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit (weitere Anforderungen sind in Abschnitt 7 beschrieben) ist die erforderliche Gesamtdauer der Ausführung der einzelnen Schritte, die zur Durchführung eines Unwuchtmesslaufs notwendig sind.

Die einzelnen zu messenden Schritte sind:

- a) Zeit für das Einrichten der Mechanik (s);

- b) Zeit für das Einstellen des Messsystems (s);
- c) Zeit für die Vorbereitung des Rotors (s);
- d) Beschleunigungszeit für den angegebenen Rotor (s);
- e) Zeitspanne, bis sich die Auswuchtanzeige stabilisiert hat und aufgezeichnet wurde (s);
- f) Bremszeit für den angegebenen Rotor (s);
- g) Erfassen der abgelesenen Unwuchtanzeigen (s);
- h) alle weiteren Zeitangaben, die für durchzuführende, jedoch nicht für in 4.2.2 a) bis 4.2.2 g) enthaltene Arbeitsschritte zu berücksichtigen sind (s);

Gesamtdauer je Messlauf, die sich aus der Addition der einzeln in den Schritten 4.2.2 a) bis 4.2.2 h) erfassten Zeiten ergibt (s);

Tabelle 1 — Daten für horizontale Auswuchtmaschinen

Hersteller:		Modell:				
Auswuchtdrehzahlen oder Auswuchtdrehzahlbereiche		n_1	n_2	n_3	n_4	...
Rotormasse (kg) (siehe Anmerkung 1)		maximal, $m_{\max}$				
		minimal				
Temporäre Überlastungskraft je Lagerständer (N) (siehe Anmerkung 1)						
Maximale negative Kraft je Lagerständer (N) (siehe Anmerkung 1)						
Maximales Trägheitsmoment des Rotors um die Schaftachse ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$)						
Zyklenzahl je Stunde (siehe Anmerkung 2)						
Maximale Unwucht ($\text{g}\cdot\text{mm}/\text{kg}$ oder $\text{g}\cdot\text{mm}$) (siehe Anmerkung 3)		messbar				
		zulässig				
a) Bei Innenbord-Rotoren kleinste erreichbare bezogene Restunwucht e_{ker} ($\text{g}\cdot\text{mm}/\text{kg}$) (siehe Anmerkung 4)	Rotormasse (kg) (siehe Anmerkung 1)	maximale Masse, $m_{\max}$				
		$0,2\cdot m_{\max}$				
		minimale Masse				

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Hersteller:		Modell:					
b) Bei Außenbord-Rotoren kleinste erreichbare bezogene Restunwucht e_{ker} (g·mm/kg) (siehe Anmerkung 4)	Rotormasse (kg) (siehe Anmerkung 1)	maximale Masse, m_{max}					
		$0,2 \cdot m_{max}$					
		minimale Masse					
ANMERKUNG 1 Die temporäre Überlastung wird nur für die kleinste Auswuchtdrehzahl angegeben. Sie ist die maximale Kraft je Lagerständer, die von der Auswuchtmaschine ohne sofortige Beschädigung aufgenommen werden kann. Die negative Kraft ist die aufwärts gerichtete statische Kraft, verursacht durch einen Rotor, dessen Schwerpunkt außerhalb der Lagerständer liegt. ANMERKUNG 2 Die Zyklenzahl je Stunde für eine bestimmte Auswuchtdrehzahl ist diejenige Anzahl von Starts und Stopps, die eine Auswuchtmaschine ohne Beschädigung in einer Stunde ausführen kann, wenn ein Rotor mit dem größten Trägheitsmoment ausgewuchtet wird. ANMERKUNG 3 Im Allgemeinen ist bei Rotoren mit starrem Verhalten und zwei Ebenen der angegebene Wert proportional auf jede Toleranzebene verteilt. Bei scheibenförmigen Rotoren mit nur einer Toleranzebene gilt der ganze angegebene Wert für eine Ebene.^{N1} ANMERKUNG 4 Dies ist die Fähigkeit einer Auswuchtmaschine, die kleinste Unwucht eines Rotors zu messen (siehe 5.5.3).							

4.2.3 Rotormaße

Geliefert werden müssen Zeichnungen zur allgemeinen Anordnung der Lagerständer und anderer Hindernisse (z. B. der Bandantriebsmechanik, der Halterungen für Abdeckungen, der Axialgegenhalter und der Verbundstangen), damit der Nutzer ermitteln kann, welche maximale Rotorkontur aufgenommen werden kann und welches Zubehör oder welche Adapter für die Aufnahme und den Antrieb des Rotors erforderlich sind.

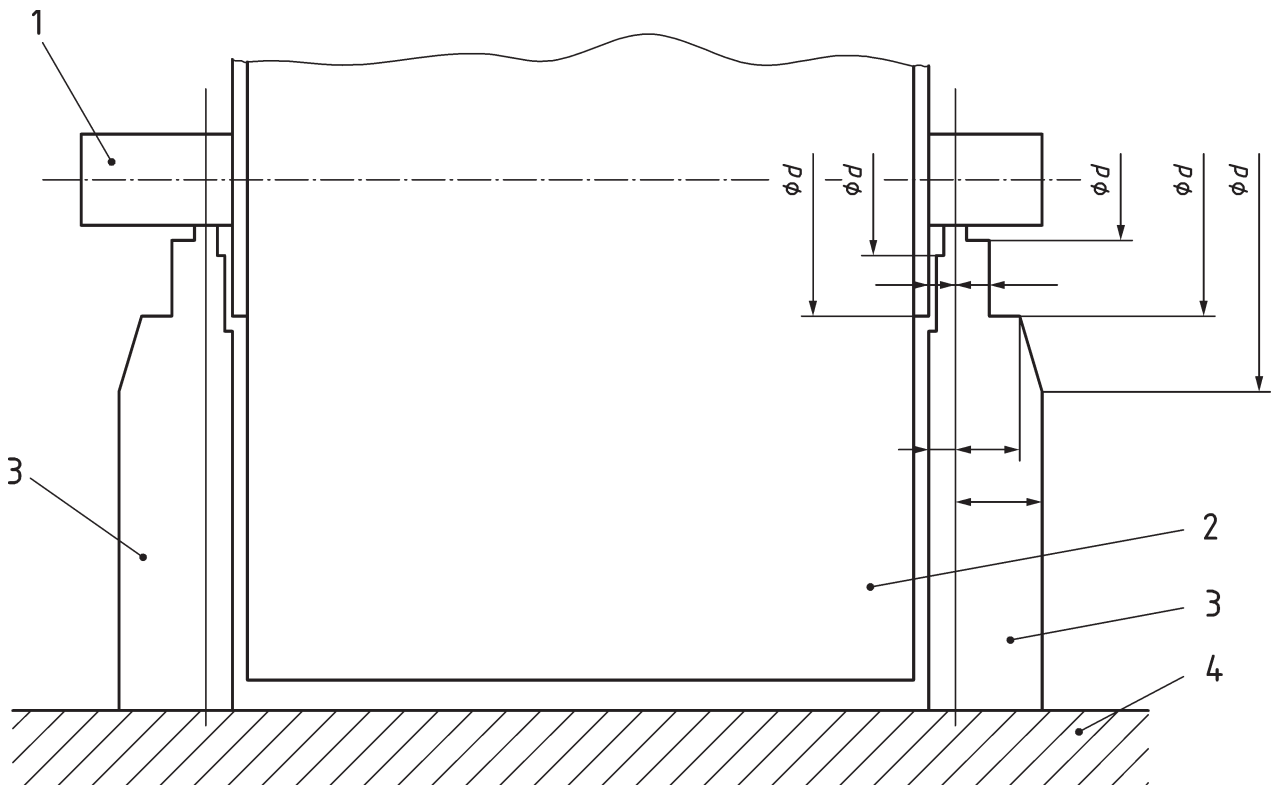
Eine Kombination von einem großen Lagerzapfendurchmesser mit einer hohen Auswuchtdrehzahl kann zu einer übermäßigen Umfangsgeschwindigkeit des Lagerzapfens führen. Die maximale Umfangsgeschwindigkeit des Lagerzapfens muss angegeben werden.

Falls ein Bandantrieb geliefert wird, müssen die Auswuchtdrehzahlen für den maximalen und den minimalen Durchmesser angegeben werden, über den der Bandantrieb den Rotor antreiben kann.

Der Hersteller muss angeben, ob die axiale Position des Antriebs angepasst werden kann.

Die Begrenzung der Rotorkontur muss angegeben werden (siehe Bild 1).

N1 Nationale Fußnote: In DIN ISO 21940-11 wird die gesamte zulässige Restunwucht nicht auf die beiden Ausgleichsebenen, sondern auf zwei Toleranzebenen aufgeteilt. Diese Toleranzebenen werden auch hier zugrunde gelegt.



Legende

- 1 Welle
- 2 Rotor
- 3 Lagerständer
- 4 Bett
- d Durchmesser

Bild 1 — Beispiel einer Lagerständer-Zeichnung, mit der die Begrenzung der Rotorkontur dargestellt wird

Wenn der linke Lagerständer kein Spiegelbild des rechten Lagerständers ist, müssen die Maße jeweils getrennt angegeben werden. Alle maximalen Rotordurchmesser müssen zusammen mit den Breiten des Lagerständers bemessen werden, wie am rechten Lagerständer dargestellt.

Ggf. muss das Profil des Bandantriebs gezeigt werden.

Zusätzlich müssen diese Maße aufgezeichnet werden:

- a) maximaler Durchmesser über dem Bett (mm);
- b) maximaler Durchmesser, den das Band antreiben kann (mm);
- c) minimaler Durchmesser, den das Band antreiben kann (mm);
- d) Abstand zwischen den Mitten der Lagerzapfen:
 - 1) Maximum (mm);
 - 2) Minimum (mm);
 - 3) maximaler Abstand vom Kupplungsflansch zur Mittellinie des entferntesten Lagers (mm);

- 4) minimaler Abstand vom Kupplungsflansch zur Mittellinie des nächsten Lagers (mm);
- e) Durchmesser des Lagerzapfens:
 - 1) Maximum (mm);
 - 2) Minimum (mm);
- f) maximal zulässige Umfangsgeschwindigkeit des Lagerzapfens ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$);
- g) Begrenzung der Lage der Ausgleichsebenen (in Übereinstimmung mit den Anforderungen in 5.4);
- h) Ausgleichsebenen-Einflussverhältnisse (in Übereinstimmung mit den Anforderungen in 5.4 und in Verbindung mit dem verwendeten Prüfroter).

4.2.4 Daten für Antriebe von Auswuchtmaschinen

Die Parameter von Antrieben für Auswuchtmaschinen sind wie in Tabelle 2 gezeigt aufzuzeichnen.

Tabelle 2 — Parameter von Antrieben für Auswuchtmaschinen

Auswuchtdrehzahl min^{-1}		Nenndrehmoment am Motor $\text{N}\cdot\text{m}$
n_1		
n_2		
n_3		
n_4		
n_5		
n_6		
n_7		
n_8		
	oder stufenlos veränderbar	oder stufenlos veränderbar
von		
bis		

4.2.5 Drehmoment

Die aufzuzeichnenden Drehmomentparameter der Auswuchtmaschine sind:

- a) Losbrechmoment (% des Nennmoments am Rotor);
- b) einstellbares Anfahrmoment (von% bis% des Nennmoments am Rotor);
- c) Drehmoment Spitze (% des Nennmoments am Rotor).

Meistens wird das größte Drehmoment für die Beschleunigung des Rotors benötigt. Im Fall eines Rotors mit hohem Ventilationsverlust oder Reibungsverlust kann jedoch das größte Drehmoment bei der Auswuchtdrehzahl erforderlich sein. Falls ein Axial Schub auftritt, muss er durch entsprechende Vorkehrungen berücksichtigt werden.

4.2.6 Art des Rotorantriebs

Die Art des Rotorantriebs muss aufgezeichnet werden (z. B. stirnseitiger Antrieb mit Band, Bandantrieb, Magnetfeld, angetriebene Tragrollen, Druckluftstrahl).

Zusätzlich müssen diese Parameter des Antriebsmotors aufgezeichnet werden:

- a) Nennleistung (kW);
- b) Motordrehzahl (min^{-1});
- c) Anschlussdaten, Spannung (V), Frequenz (Hz) und Phase (einphasig oder dreiphasig).

4.2.7 Bremse

Diese Bremsenparameter sind aufzuzeichnen:

- a) Art der Bremse;
- b) einstellbares Bremsmoment (von% bis% des Nennmoments am Rotor);
- c) ob die Bremse als Feststellbremse genutzt werden kann.

4.2.8 Motor und Steuerung

Es muss aufgezeichnet werden, welche Normen bei der Herstellung und Prüfung des Antriebsmotors und seiner Steuerung herangezogen wurden.

4.2.9 Drehzahlregelung

Es muss aufgezeichnet werden, ob eine Drehzahlregelung integriert ist und falls ja, wie diese festgelegt ist (innerhalb von% min^{-1} bis% min^{-1} oder konstant bei% min^{-1}).

4.2.10 Momentenunwucht-Einflussverhältnis I_{SC}

Das Momentenunwucht-Einflussverhältnis ($\text{g}\cdot\text{mm}/(\text{g}\cdot\text{mm}^2)$) muss aufgezeichnet werden.

ANMERKUNG Dieser Wert gilt nur für Ein-Ebenen-Auswuchtmaschinen. Er beschreibt den Einfluss eines Unwuchtpaares eines Rotors auf die Anzeige der resultierenden Unwucht.

4.2.11 Anforderungen an die Druckluft

Die Anforderungen an die Druckluft für die Auswuchtmaschine müssen in Pa aufgezeichnet werden und der Volumenstrom in $\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$.

4.3 Daten für vertikale Auswuchtmaschinen

4.3.1 Rotormasse und Begrenzungen der Unwucht

Die maximale Masse m eines Rotors, der ausgewuchtet werden kann, muss für den Bereich der Auswuchtdrehzahlen ($n_1, n_2, \dots$) der Auswuchtmaschine angegeben werden.

Das maximale Trägheitsmoment eines Rotors (angegeben durch $m\cdot r^2$, wobei m die Rotormasse und r der Trägheitsradius ist) um die Schaftachse, die die Auswuchtmaschine in der angegebenen Zeit beschleunigen kann, muss für den Bereich der Auswuchtdrehzahlen ($n_1, n_2, \dots$) zusammen mit der zugehörigen Zyklenzahl (siehe Tabelle 3) angegeben werden.

Tabelle 3 — Daten für vertikale Auswuchtmaschinen

Hersteller:		Modell:				
Auswuchtdrehzahlen oder Auswuchtdrehzahlbereiche		n_1	n_2	n_3	n_4	...
Rotormasse (kg) (siehe Anmerkung 1)	maximal, $m_{\max}$					
	minimal					
Temporäre Überlastungskraft je Lagerständer (N) (siehe Anmerkung 1)						
Maximales Trägheitsmoment des Rotors um die Schaftachse ($\text{kg}\cdot\text{m}^2$) (siehe Anmerkung 2)						
Zyklenzahl je Stunde (siehe Anmerkung 2)						
Maximale Unwucht ($\text{g}\cdot\text{mm}/\text{kg}$ oder $\text{g}\cdot\text{mm}$) (siehe Anmerkung 3)	messbar					
	zulässig					
ANMERKUNG 1 Die temporäre Überlastung wird nur für die kleinste Auswuchtdrehzahl angegeben. Sie ist die maximale Kraft je Lagerständer, die von der Auswuchtmaschine ohne sofortige Beschädigung aufgenommen werden kann. ANMERKUNG 2 Die Zyklenzahl je Stunde für eine bestimmte Auswuchtdrehzahl ist diejenige Anzahl von Starts und Stopps, die eine Auswuchtmaschine ohne Beschädigung je Stunde ausführen kann, wenn ein Rotor mit dem größten Trägheitsmoment ausgewuchtet wird. ANMERKUNG 3 Im Allgemeinen ist bei Rotoren mit starrem Verhalten und zwei Ebenen der angegebene Wert proportional auf jede Toleranzebene verteilt. Bei scheibenförmigen Rotoren mit nur einer Toleranzebene gilt der ganze angegebene Wert für eine Ebene.^{N2} ANMERKUNG 4 Dies ist die Fähigkeit einer Auswuchtmaschine, die kleinste Unwucht eines Rotors zu messen (siehe 5.5.3).						

4.3.2 Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit (weitere Anforderungen sind in Abschnitt 6 beschrieben) ist die erforderliche Gesamtdauer der Ausführung der einzelnen Schritte, die zur Durchführung eines Unwuchtmesslaufs erforderlich sind.

Die einzelnen zu messenden Schritte sind:

- jedes benötigte Einrichten der Auswuchtmaschine einschließlich Antrieb, Zubehör oder Adapter;
- Vorbereitung aller weiteren benötigten Geräte und Systeme;
- Einstellen des Messsystems;
- Vorbereitung des Rotors auf den Messlauf;
- Beschleunigungszeit für den Messlauf;
- Zeit für die Messung (d. h. die Gesamtzeit zwischen dem Ende der Beschleunigungsphase und dem Beginn des Abbremsens);
- Bremszeit;

N2 Nationale Fußnote: In DIN ISO 21940-11 wird die gesamte zulässige Restunwucht nicht auf die beiden Ausgleichsebenen, sondern auf zwei Toleranzebenen aufgeteilt. Diese Toleranzebenen werden auch hier zugrunde gelegt.

- h) Zeit für alle notwendigen Arbeitsschritte, um die gewonnenen Anzeigen dem auszuwuchtenden Rotor zuzuordnen;
- i) Be- und Entladezeiten;
- j) Zeit für alle weiteren durchzuführenden relevanten Arbeitsschritte (z. B. Sicherheitsmaßnahmen).

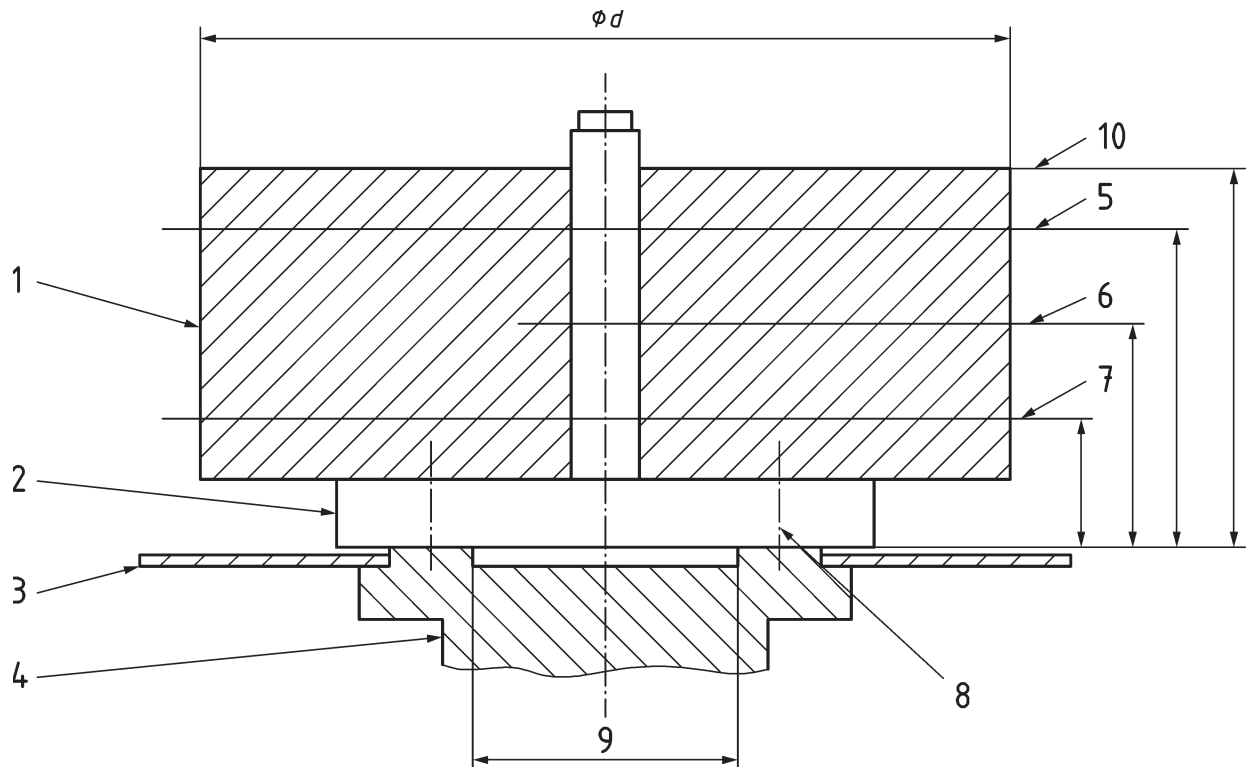
4.3.3 Rotormaße

Wenn die Auswuchtmaschine über zwei oder mehr Drehzahlen verfügt, müssen die Rotormaße für jede Drehzahl angegeben werden. Falls die Auswuchtmaschine mit einer stufenlos regelbaren Auswuchtdrehzahl ausgestattet ist, muss diese Information in Form einer Tabelle, einer Gleichung oder eines Diagramms dargestellt werden.

Geliefert werden müssen Zeichnungen der Anschlussfläche der Spindel oder Aufnahmeplatte und für andere Hindernisse (z. B. Bohrköpfe und Schaltschränke), die oberhalb der Aufnahmeplatte liegen, damit der Nutzer ermitteln kann, welche maximale Rotorkontur aufgenommen werden kann und welches Zubehör oder welche Adapter erforderlich sind.

Zusätzlich müssen diese Rotormaße aufgezeichnet werden:

- a) maximaler Durchmesser (mm);
- b) Rotorhöhe:
 - 1) maximale Gesamthöhe (mm);
 - 2) maximale Höhe des Schwerpunkts (mm):
 - i) bei 100 % der maximalen Masse (mm);
 - ii) bei 50 % der maximalen Masse (mm);
 - iii) bei 25 % der maximalen Masse (mm);
- c) Begrenzung der Rotorkontur (auch durch Maschinenspindel und Aufnahmeplatte (siehe Bild 2)) und
- d) Begrenzung der Lage der Ausgleichsebenen (in Übereinstimmung mit den Anforderungen in 5.4).



Legende

- | | | |
|-----------------|--|-----------------------------|
| 1 Rotor | 5 obere Ausgleichsebene | 9 Zentrierdurchmesser |
| 2 Aufnahme | 6 Schwerpunktsebene | 10 Maximale Höhe über der |
| 3 Skalenscheibe | 7 untere Ausgleichsebene | Spindel (nicht dargestellt) |
| 4 Spindel | 8 Befestigungsbohrungen für die Aufnahme | d Durchmesser |

Bild 2 — Beispiel des Montageanschlusses einer vertikalen Auswuchtmaschine und der Rotorkontur

4.3.4 Daten für Antriebe von Auswuchtmaschinen

Die Parameter von Antrieben für Auswuchtmaschinen müssen wie in Tabelle 2 gezeigt, aufgezeichnet werden.

4.3.5 Drehmoment

Siehe 4.2.5

4.3.6 Art des Rotorantriebs

Siehe 4.2.6

4.3.7 Bremse

Siehe 4.2.7

4.3.8 Motor und Steuerung

Siehe 4.2.8

4.3.9 Drehzahlregelung

Siehe 4.2.9

4.3.10 Momentenunwucht-Einflussverhältnis

Siehe 4.2.10

4.3.11 Anforderungen an die Druckluft

Siehe 4.2.11

5 Eigenschaften der Auswuchtmaschinen

5.1 Arbeitsprinzip

Das Arbeitsprinzip der Auswuchtmaschine muss beschrieben werden (z. B. das Messen der Bewegung, das Messen der Kraft).

5.2 Anordnung der Auswuchtmaschine

Der Hersteller muss die Auslegung der Auswuchtmaschine und ihre wesentlichen Auslegungseigenschaften beschreiben (z. B. horizontale oder vertikale Drehachse, wegmessendes oder kraftmessendes Stützsystem).

Soweit anwendbar muss der Hersteller zusätzlich Angaben zu Folgendem machen:

- a) Komponenten, die den Rotor tragen, z. B.:
 - 1) Prismenlager;
 - 2) Tragrollen;
 - 3) Gleitlager-Halbschalen;
 - 4) geschlossene Kugellager, Rollenlager oder Gleitlager;
 - 5) Vorrichtungen, mit denen Rotoren mit ihren Betriebslagern aufgenommen werden können;
 - 6) Vorrichtungen, mit denen komplette Aggregate aufgenommen werden können.
- b) Anforderungen an die Lagerschmierung;
- c) nur bei horizontalen Auswuchtmaschinen: mechanische Anordnung und Arbeitsweise der Hilfsmittel zur Aufnahme des Axialschubs des Rotors;
- d) Art(en) der Aufnehmer, die zum Messen der Unwuchtwirkung verwendet werden;
- e) die Antriebsart und die Steuerung des Antriebs.

5.3 Messsystem

5.3.1 Allgemeines

Eine Auswuchtmaschine muss die Fähigkeit haben, den Betrag der Unwucht und ihre Winkellage zu ermitteln.

Der Hersteller der Auswuchtmaschine muss das Messsystem seiner Auswuchtmaschine beschreiben, z. B.:

- a) ob es computergestützt ist (einschließlich Typ und Art der verwendeten optischen Anzeige, Verfahren zur Dateneingabe, Software-Architektur und Software-Kommunikation sowie kompatible Betriebssysteme und PC-Mindestanforderungen);

- b) ob es elektronikgestützt ist;
- c) die Anzahl der Messkanäle und der Phasen- oder Encodereingänge und
- d) die Art der Unwucht-Signalaufnahme und des ausgegebenen Signals.

5.3.2 Unwuchtanzeige

Der Hersteller muss beschreiben, wie Betrag und Winkel der Unwucht ausgegeben werden, z. B. mittels

- a) einer Anzeige die Vektoren in Polarkoordinaten anzeigt,
- b) einer digitalen Anzeige mit Anzahl der Dezimalstellen und signifikanten Stellen,
- c) Anzeige der Position und des Umfangs der erforderlichen Unwuchtausgleiche (z. B. die Position, Tiefe oder Form des zu entfernenden Materials oder die Position und Menge des hinzuzufügenden Materials) und
- d) die Möglichkeit zur Anzeige des erforderlichen Ausgleichs für Zubehör (z. B. Befestigungseinrichtung für den Rotorprüfling).

5.3.3 Zusätzliche Eigenschaften

Zusätzliche Eigenschaften, die die Funktionsfähigkeit der Auswuchtmaschine beeinflussen, müssen beschrieben werden.

Zur Information sind einige zusätzliche Eigenschaften aufgeführt, die eine Auswuchtmaschine aufweisen kann:

- a) ob ein beliebiges Koordinatensystem verwendet wird (z. B. geometrische Zentrierung);
- b) eine Unwuchtanzeige, zerlegt in Komponenten (die in mehr als zwei Ausgleichsebenen liegen können);
- c) angebrachte Ausgleichseinheiten;
- d) Geräte zur Anzeige der Position und/oder des Umfangs der am Rotor vorzunehmenden Ausgleichs;
- e) Vorhandensein eines geeigneten Ausgangs zum Anschluss an einen Computer, ein Netzwerk, einen Drucker oder andere Peripheriegeräte;
- f) installierte Fehlernachweissysteme.

5.3.4 Arbeitsweise des Messsystems

Der Hersteller muss den Ablauf beschreiben, wie Anzeigen erhalten werden, indem mindestens Folgendes berücksichtigt wird:

- a) wie viele Messabläufe benötigt werden, um die Unwuchtmessungen zu erhalten;
- b) wie die Unwuchtmessungen angezeigt werden;
- c) ob die Messungen nach dem Messlauf gespeichert werden und ob Messungen aus vorherigen Messläufen erneut abgerufen werden können;
- d) ob Messungen in Echtzeit während des Messlaufs durchgeführt werden können und ob über die Zeit gemittelt angezeigt werden;
- e) ob Messungen angezeigt werden können und ob sie gemittelt angezeigt werden, nachdem mehrere Messläufe durchgeführt wurden;

f) wie die Addition oder Subtraktion des Unwuchtwinkels ausgewählt wird.

5.4 Ebenentrennung

5.4.1 Mehr-Ebenen-Auswuchtmaschinen

Der Hersteller muss angeben, ob eine Ebenentrennung vorhanden ist und falls ja, mindestens die folgenden Einzelheiten:

- a) wie sie für einzelne Rotoren eines Typs gehandhabt wird, der vorher noch nicht ausgewuchtet wurde;
- b) wie sie für einzelne Rotoren einer Serie mit identischen Maßen und Massen gehandhabt wird;
- c) die Grenzen der Rotorgeometrie, bis zu der die Ebenentrennung wirksam ist, müssen durch eine Wirksamkeitsangabe definiert werden, die auf dem Ausgleichsebenen-Einflussverhältnis basiert. Dabei muss angegeben werden:
 - 1) das Verhältnis von Lagerabstand zu Ebenenabstand, für das die Ebenentrennung wirksam ist;
 - 2) ob eine oder beide Ausgleichsebenen zwischen oder außerhalb der Lager liegen können;
 - 3) ob der Schwerpunkt zwischen oder außerhalb der beiden gewählten Ausgleichsebenen oder den Lagern liegen kann.
- d) ob das Messsystem auch für die direkte Messung der resultierenden Unwucht und der Unwuchtpaare genutzt werden kann.

5.4.2 Horizontale oder vertikale Ein-Ebenen-Auswuchtmaschinen

Der Hersteller muss angeben, in welchem Maße die Auswuchtmaschine die Auswirkungen der Momentenunwucht unterdrücken kann (siehe 10.6).

5.5 Einstellen und Kalibrieren des Messsystems

5.5.1 Allgemeines

Der Hersteller muss die Möglichkeiten zum Einstellen und Kalibrieren seiner Auswuchtmaschine angeben und wie dies ausgewertet werden muss.

Der Hersteller muss angeben, ob die Anzeige der Auswuchtmaschine auf jede gewünschte Einheit eingestellt werden kann, gleichgültig ob SI-Einheiten oder Unwuchteinheiten.

Der Hersteller muss die Anzahl der Läufe angeben, die zum Kalibrieren der Auswuchtmaschine erforderlich sind, und zwar:

- a) für das Ein-Ebenen-Auswuchten;
- b) für das Zwei-Ebenen-Auswuchten;
- c) für das Drei- oder Mehr-Ebenen-Auswuchten.

Der Hersteller muss die maximal zulässige Änderung der Drehzahl während Kalibrierung und Betrieb angeben.

5.5.2 Wegmessende Auswuchtmaschinen

Der Hersteller muss angeben, wie die Kalibrierung und die Eliminierung von Einflüssen zwischen den Ebenen beim ersten Rotor mit einer bestimmten Masse und Auslegung zu erreichen ist, ob bei einer Änderung der Aus-

wuchtdrehzahl eine vollständige oder teilweise Rekalibrierung erforderlich ist, und ob die Kalibrierfaktoren im Messsystem gespeichert werden und erneut abgerufen werden können.

5.5.3 Kraftmessende Auswuchtmaschinen

Der Hersteller muss angeben, ob die Auswuchtmaschine dauerhaft kalibriert ist und auf den auszuwuchtenden Rotor eingestellt werden kann, ob sie vom Nutzer für unterschiedliche Auswuchtdrehzahlen, Rotormassen und Rotormaße erneut kalibriert werden muss, und ob diese Kalibrierfaktoren im Messsystem gespeichert werden und erneut abgerufen werden können.

Die kleinste erreichbare bezogene Restunwucht e_{ker} , die auf der Auswuchtmaschine erreicht werden kann, muss als bezogene Unwucht (g·mm/kg) angegeben werden. Der Wert von e_{ker} muss für den gesamten Bereich der Rotormassen und der Auswuchtdrehzahlen der Auswuchtmaschine angegeben werden.

Um die angegebene bezogene kleinste Restunwucht e_{ker} zu erreichen, muss der Hersteller überlegen, ob die Abweichungen von

- a) Betragsanzeige,
- b) Winkelanzeige,
- c) Ebenentrennung und
- d) Antrieb, Lagerung

für die bestimmungsgemäße Verwendung der Auswuchtmaschine angemessen sind.

Es sollte beachtet werden, dass sich der Wert der angegebenen kleinsten erreichbaren Restunwucht e_{ker} auf die Auswuchtmaschine im Lieferzustand bezieht. Weitere Variablen, die die kleinste erreichbare Restunwucht beeinflussen können und möglicherweise berücksichtigt werden müssen, sind:

- e) unrunde Lagerzapfen;
- f) übermäßig schwere oder lose Adapter;
- g) jegliches andere durch den Nutzer verwendete Zubehör.

6 Wirtschaftlichkeit

6.1 Allgemeines

Unter Wirtschaftlichkeit wird die Fähigkeit der Auswuchtmaschine verstanden, Bediener so zu unterstützen, dass ein Rotor innerhalb der kürzest möglichen Zeit auf eine vorgegebene Restunwucht ausgewuchtet werden kann. Die Wirtschaftlichkeit muss mit einem Prüfroter oder wahlweise mit einem durch den Nutzer festgelegten Prüfroter überprüft werden.

Um die Wirtschaftlichkeit (d. h. Stück je Stunde oder der reziproke Wert der Boden-Boden-Zeit) für einen bestimmten Rotor zu ermitteln, müssen die Zeit für jeden Messlauf, die Anzahl von Läufen und die Zeiten für Beladen, Entladen und dem Ausgleich der Unwucht berücksichtigt werden. Die erforderliche Anzahl von Läufen hängt von der durchschnittlichen Unwucht, der festgelegten Unwuchttoleranz und dem R_{URV} ab.

6.2 Zeit je Auswuchtzyklus

Für den Prüfroter oder für vom Nutzer benannte Rotoren (z. B. Serienbauteile) muss das zu verwendende Verfahren detailliert beschrieben werden. Gegebenenfalls muss die benötigte mittlere Zeit für jeden der Arbeitsschritte angegeben werden.

Jeder vom Bediener durchgeführte Arbeitsschritt muss notiert und jede erforderliche Ausgleichszeit muss als Durchschnitts- oder spezifisches Kriterium angegeben werden (z. B. basierend auf der Anzahl, Maß und Tiefe von Bohrungen).

Bei der Ermittlung der Wirtschaftlichkeit müssen mindestens die folgenden Punkte berücksichtigt werden:

- a) jedes Einrichten der benötigten Auswuchtmaschine einschließlich Antrieb, Zubehör oder Adapter;
- b) Vorbereitung aller weiteren benötigten Geräte und Systeme;
- c) Einstellen des Messsystems;
- d) Vorbereitung des Rotors auf den Messlauf;
- e) Beschleunigungszeit des Auswuchtzyklusses;
- f) Zeit für die Messung (d. h. die Gesamtzeit zwischen dem Ende der Beschleunigungsphase und dem Beginn des Abbremsens);
- g) Bremszeit;
- h) Zeit für alle notwendigen Arbeitsschritte, um die gewonnenen Anzeigen dem auszuwuchtenden Rotor zuzuordnen;
- i) Be- und Entladezeiten und
- j) Zeit für alle weiteren durchzuführenden relevanten Arbeitsschritte (z. B. Sicherheitsmaßnahmen).

Falls besondere Hilfsmittel benötigt werden, um einen Rotor aufzunehmen, die nicht Teil des Standardlieferumfangs sind, müssen sie genau beschrieben werden (z. B. Lagereinsätze, Kupplungen für Antriebswellen und Rotorabdeckungen).

Bei automatisierten Auswuchtmaschinen mit zahlreichen Arbeitsschritten, die nicht nacheinander ausgeführt werden können, darf ein Zeitdiagramm (z. B. wie in Tabelle 4 dargestellt) verwendet werden, um einzelne Arbeitsschritte und Gesamtzeiten aufzuzeichnen. Zeitmessungen, die aufgrund von nicht steuerbaren Einflüssen variieren, müssen hervorgehoben und kommentiert werden (z. B. menschliches Eingreifen).

- Entwurf -

Tabelle 4 — Mögliches Zeitdiagramm

Arbeitsschritt	Zeit für den Arbeitsschritt s	Kriterien	Gesamtdauer																
			s																
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	usw.
Bediener lagert Rotor ein und startet Zyklus	4	Mensch																	
Bauteil einspannen	1	Maschine																	
Bauteildurchmesser und Rundlauffehler messen	4	Maschine																	
Beschleunigen	3	Maschine																	
Unwucht messen	4	Maschine																	
Abbremsen	1	Maschine																	
Eindreihen auf Ausgleichswinkel	1	Maschine																	
Einspannen für Fräsausgleich	1	Maschine																	
Auf Tiefe fräsen	3	3 mm																	
Fräsausgleich durchführen	6	120°																	
Drehtisch von Spindel lösen	1	Maschine																	
Beschleunigen	1	Maschine																	
Messen	4	Maschine																	
Abbremsen	1	Maschine																	
Spindel für nächstes Bauteil ausrichten	1	Maschine																	
Lösen	1	Maschine																	
Bediener entlädt Bauteil	4	Mensch																	

6.3 Unwuchtreduziervverhältnis R_{URV}

Der Hersteller muss R_{URV} für die Auswuchtmaschine angeben sowie den R_{URV} -Prozentsatz für Innbord- und Außenbord-Rotoren.

Bei der Angabe von R_{URV} wird angenommen, dass das Ansetzen oder Abnehmen von Massen fehlerfrei nach der Betriebsanleitung der Auswuchtmaschine durchgeführt wird.

In ISO 21940-2 wird R_{URV} definiert als das Verhältnis der Abnahme der Unwucht infolge eines einzelnen Ausgleichs zur Urunwucht, dargestellt wie in Gleichung (1):

$$R_{URV} = \frac{U_1 - U_2}{U_1} = 1 - \frac{U_2}{U_1} \quad (1)$$

Dabei ist

U_1 der Betrag der Urunwucht; und

U_2 der Betrag der Unwucht, der nach einem einzelnen Ausgleich verbleibt.

7 Randbedingungen, die die Leistungsfähigkeit beeinflussen

Der Hersteller muss die Bereiche der Randbedingungen angeben, innerhalb deren die Auswuchtmaschine die zugesicherte Leistungsfähigkeit erreichen kann, z. B.:

- a) Temperatur;
- b) Luftfeuchte;
- c) Veränderung der Auswuchtdrehzahl und
- d) Schwankung der Spannung und der Frequenz des Stromnetzes.

Der Hersteller muss auch angeben:

- e) ob die Leistungsfähigkeit der Auswuchtmaschine durch die Verwendung von Kugellagern in den Rotorzapfen erheblich verändert wird und
- f) ob die Unwuchtanzeige für den Rotor erheblich beeinflusst wird, wenn die Fläche des Rotors, die den Axial Schub aufnimmt, nicht rechtwinklig zur Rotorachse ist.

8 Anforderungen an die Installation

8.1 Allgemeines

In Bezug auf die Platzierung der Auswuchtmaschine, muss der Hersteller angeben, welche Vorsichtsmaßnahmen mindestens zu beachten sind, um eine zufriedenstellende Leistungsfähigkeit zu erreichen:

- a) Fremdschwingungen;
- b) elektromagnetische Strahlung;
- c) Kondensation, Sauberkeit und alle weiteren relevanten Rand- und Umgebungsbedingungen (wie z. B. in Abschnitt 7 aufgeführt).

8.2 Anforderungen an die Lieferung

Auswuchtmaschinen müssen mit Eingangsanschlüssen ausgestattet sein, die, sofern zutreffend, mindestens mit Angaben zu Folgendem klar gekennzeichnet sind

- a) benötigte Netzspannung und Frequenz;
- b) ob die Auswuchtmaschine einen Dreileiter- oder Vierleiter-Netzanschluss erfordert;
- c) Druck (Pa) und Volumenstrom ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) der erforderlichen Druckluftversorgung;
- d) Druck (Pa) und Volumenstrom ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) der erforderlichen Hydraulikversorgung;
- e) Druck (Pa), Volumenstrom ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) und Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) der erforderlichen Wasserversorgung.

8.3 Fundament

Der Hersteller muss die Gesamtmaße der Auswuchtmaschine und ihre Masse angeben, außerdem die Art und Maße der für sie erforderlichen Fundamentierung, durch die die angegebene Leistungsfähigkeit sichergestellt ist (z. B. ob die Installation der Auswuchtmaschine auf Betonblöcken oder einer Werkbank erforderlich ist).

9 Prüfroten und Testmassen

9.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt beschreibt die technischen Anforderungen an eine Reihe von Prüfroten, die für die Prüfung von Auswuchtmaschinen verwendet werden. Er spezifiziert Rotormassen, Werkstoffe, Maße, Grenzwerte, Gewindebohrungen sowie die Anforderungen an das Auswuchten und Details der Testmassen für genormte Prüfroten (siehe 9.2). Das Ausmaß und die Kosten der erforderlichen Prüfungen ebenso wie die zu verwendenden Rotormaße dürfen zwischen Hersteller und Nutzer der Auswuchtmaschine ausgehandelt werden.

Im Fall von Spezialmaschinen und von auf die Prüfung bestimmter Bauteile ausgelegter Auswuchtmaschinen darf ein spezieller Prüfroter (siehe Anhang D) anstelle eines genormten Prüfroters verwendet werden, vorausgesetzt, der Produktionsrotor kann in Übereinstimmung mit den Grundsätzen des genormten Prüfroters vorbereitet werden.

9.2 Genormte Prüfroten

Zur Bewertung und zum Vergleich der Leistungsfähigkeit von Auswuchtmaschinen ist es möglich, einen Prüfroter mit ähnlicher Bauform, Masse und ähnlichem Trägheitsmoment herzustellen, um die Vielfalt der auszuwuchtenden Rotoren zu simulieren.

Prüfroten können auch zur Maschinenkalibrierung verwendet werden.

Der Hersteller muss angeben, ob mit der Auswuchtmaschine ein Prüfroter geliefert wird.

ANMERKUNG Die Lieferung von Prüfroten an den Nutzer richtet sich nach den jeweiligen Vereinbarungen.

Prüfroten müssen aus Stahl hergestellt werden und für vertikale Auswuchtmaschinen den Beschreibungen in Tabelle 3 und Bild 4, für horizontale Auswuchtmaschinen (Innenbord-Rotoren) den Beschreibungen in Tabelle 6 und Bild 5 oder für horizontale Auswuchtmaschinen (Außenbord-Rotoren) den Beschreibungen in Tabelle 7 und Bild 6 gleich sein.

Prüfroten mit nur 8 Bohrungen je Ebene dürfen verändert werden, um den Anforderungen dieses Dokuments zu entsprechen (siehe Anhang D).

Für Auswuchtmaschinen, auf die Anforderungen dieses Dokuments zutreffen, muss der Hersteller Prüfroten zur Verfügung haben, mit denen die Leistungsfähigkeit jeder Auswuchtmaschine vor ihrer Auslieferung bestätigt werden kann.

Wenn eine horizontale Auswuchtmaschine für das Auswuchten von Außenbord-Rotoren (oder Innenbord-Rotoren mit einseitig überhängenden Ebenen) verwendet wird, müssen zusätzliche Prüfungen vereinbart werden (siehe Abschnitt 10), die die Verwendung eines Prüfroters vom Typ C oder eines nutzerdefinierten Prüfroters erfordern.

An jedem Prüfroter müssen deutliche und dauerhafte Winkelmarkierungen mit einer Teilung von 10° und einer Beschriftung für jedes 30° -Intervall angebracht sein. Es dürfen zwei solcher Skalen angebracht sein, eine mit Beschriftung im Uhrzeigersinn, eine mit Beschriftung entgegen dem Uhrzeigersinn.

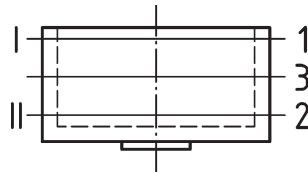
Bei Auswuchtmaschinen, die über ihren gesamten Massebereich verwendet werden, müssen zwei Prüfroten verwendet werden; einer mit einer Masse im unteren Drittel des Massebereichs der Auswuchtmaschine und einer mit einer Masse im oberen Drittel des Massebereichs der Auswuchtmaschine.

Nach der erfolgreichen Durchführung einer Leistungsbewertung der Auswuchtmaschine (z. B. nach der Installation) und falls vereinbart ist es jedoch annehmbar, die Maschinenleistung (z. B. durch Ausführung einer jährlichen Bewertung) erneut zu bewerten und dabei lediglich einen Prüfroter mit einer beliebigen Masse aus dem Massebereich der Auswuchtmaschine zu verwenden. Nach einer ersten erfolgreichen Bewertung der Leistungsfähigkeit einer Auswuchtmaschine wird häufig ein Prüfroter mit einer Masse im unteren Drittel des Massebereichs der Auswuchtmaschine verwendet.

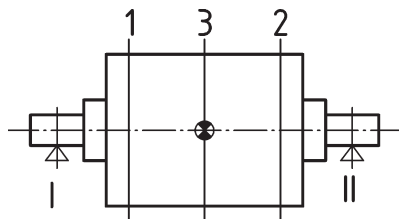
Bei Auswuchtmaschinen, die lediglich über einen bestimmten Teil ihres Massebereichs verwendet werden, muss ein einzelner Prüfroter mit einer Masse verwendet werden, die im mittleren Bereich der zu prüfenden Rotormassen liegt.

Jeder Prüfortyp hat drei Ebenen für das Ansetzen von Testmassen. Falls die mittlere Ebene praktisch nicht verfügbar ist, können geeignete Massensätze in zwei Ebenen hinzugefügt werden, um die U_{ker} -Prüfung durchzuführen.

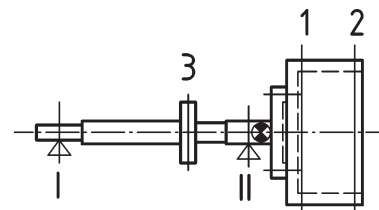
Für Prüfungen in einer oder zwei Ebenen müssen derselbe Prüfroter und dieselben Testmassen verwendet werden.



a) Prüfroter ohne Lagerzapfen — Typ A



b) Innenbord-Prüfroter mit Lagerzapfen — Typ B



c) Außenbord-Prüfroter mit Lagerzapfen — Typ C

Legende

1, 2 Ausgleichsebenen

1, 2, 3 Testebenen

I, II angenommene Lager Ebenen

ANMERKUNG Der Schwerpunkt liegt bei Typ A und Typ B zwischen den Lagern, aber bei Typ C außerhalb (Welle plus Prüfroter Typ A).

Bild 3 — Prüfrotern Typ A, Typ B und Typ C

Die Prüfrotertypen, die den Anforderungen dieses Dokuments unterliegen, sind:

- a) **Typ A:** Rotoren ohne Lagerzapfen, die auf einer vertikalen Auswuchtmaschine (oder auf einer horizontalen Auswuchtmaschine mit Spindel) in einer oder zwei Ausgleichsebenen ausgewuchtet werden (siehe Bild 3 a)).

Die Ebenen der Betriebslager dürfen beliebig angeordnet sein (d.h. eine an jedem Ende oder beide auf derselben Seite des Rotor-Hauptteils). Für die in diesem Dokument beschriebenen Prüfungen wird jedoch angenommen, dass sich ein Lager an jedem Ende des Rotors befindet.

- b) **Typ B:** Innenbord-Rotoren mit Lagerzapfen, die auf einer horizontalen Auswuchtmaschine ausgewuchtet werden, meistens mit zwei Ausgleichsebenen zwischen den Lagern (siehe Bild 3 b)).

Die Betriebslager liegen an beiden Enden des Rotors.

- c) **Typ C:** Außenbord-Rotoren mit Lagerzapfen, die auf einer horizontalen Auswuchtmaschine ausgewuchtet werden, mit zwei Ausgleichsebenen in überhängender Lage (siehe Bild 3 c)).

Die Betriebslager liegen gleich wie bei dem Prüfroter.

ANMERKUNG 1 Der Prüfroter Typ C ist aus einer Welle und einem darauf angebrachten Prüfroter des Typs A zusammengesetzt.

ANMERKUNG 2 Bei der Berechnung von U_{ker} für einen Prüfroter des Typs C wird die Gesamtmasse zugrunde gelegt (Welle und Prüfroter Typ A).

9.3 Nutzerdefinierte Prüfroten

Nutzerdefinierte Prüfroten werden verwendet, um die Anforderungen einer spezifischen Anwendung zu erfüllen oder falls ein Rotor von Typ A, Typ B oder Typ C nicht geeignet ist. Der nutzerdefinierte Prüfröter muss in Masse, Geometrie und Trägheit dem auszuwuchtenden Rotor entsprechen, kann hergestellt werden, um einem typischen auszuwuchtenden Rotor zu entsprechen oder kann ein modifizierter Produktionsrotor sein.

Wenn der nutzerdefinierte Rotor in einem Gehäuse angebracht ist, muss die Rotormasse ähnlich der des Vorbilds sein, ebenso wie die Masse des gesamten, nicht rotierenden Gehäuses ähnlich der Masse seines Vorbilds sein muss.

Falls die Möglichkeit einer Verschlechterung des Zustands des nutzerdefinierten Rotors während der Prüfung besteht, muss der Rotor gehärtete und geschliffene Passflächen aufweisen. Die Ausführung der Oberflächen und Rundheit aller Lagerzapfen muss eine Güte aufweisen, die es ermöglicht, dass die Auswuchtmaschine die in diesem Dokument beschriebenen Prüfungen besteht.

Es muss die Möglichkeit gegeben sein, Testmassen so am nutzerdefinierten Rotor anzubringen, dass die in diesem Dokument beschriebenen Prüfungen zur Bewertung der Auswuchtmaschine durchgeführt werden können. Testmassen werden üblicherweise mittels Gewindebohrungen und Schrauben oder Gewindestiften und Muttern am Rotor angebracht, es können jedoch auch andere Möglichkeiten angewendet werden (z. B. Festklemmen einer Testmasse am Rotor oder eine Bohrung zum Einsetzen einer nicht verrastenden Testmasse). Die Radien, an denen die Testmassen angebracht werden, müssen mit ausreichender Fehlergrenze gemessen werden, um das Bestehen der in diesem Dokument beschriebenen Prüfungen zu ermöglichen (üblicherweise $\pm 0,025$ mm).

Für das Anbringen der Testmassen müssen 12 Positionen mit gleichem Abstand zueinander bestimmt werden, sofern nicht anderslautend zwischen dem Hersteller der Auswuchtmaschine und dem Nutzer vereinbart. Falls eine solche Vereinbarung besteht, müssen die Bewertungsunterlagen entsprechend geändert werden. Die Grenzabweichung der Winkelposition muss so sein, dass das Bestehen der in diesem Dokument beschriebenen Prüfungen ermöglicht wird (üblicherweise $\pm 0,1^\circ$).

Soweit praktikabel, müssen Testmassen in Übereinstimmung mit den Anforderungen in 9.4 hergestellt werden. Wenn ein Rotor mit einem weiteren Bauteil des Antriebsstrangs (z. B. Zubehör) verbunden ist, müssen diese zusätzlichen Massen des Antriebsstrangs bei der Berechnung der Testmasse mit einbezogen werden.

9.4 Testmassen

9.4.1 Allgemeines

Testmassen werden verwendet, um definierte Unwuchten in den Testebenen des Prüfroters zu erzeugen.

Weil die Testpositionen als Gewindebohrungen ausgeführt sind, dürfen Bolzen und Schrauben als Testmassen verwendet werden. Eine mögliche Lösung verwendet Stehbolzen, die dauerhaft alle Positionen zur Befestigung von Testmassen besetzen und über die Rotoroberfläche mit einer festgelegten Länge überstehen sowie Testmassen, die auf diese Stehbolzen fixiert werden. In diesem Fall sind die Testmassen Ringe, deren genaue Schwerpunktslage (Radius) einfach ermittelt werden kann.

Die Unwuchtgröße einer Testmasse wird stets in Einheiten von U_{ker} ausgedrückt (z. B. in Vielfachen von e_{ker}).

Falls U_{ker} je Ebene anzugeben ist, wird U_{ker} nach Gleichung (2) berechnet.

$$U_{\text{ker}} = 2 \cdot U_{\text{ker}} \text{ je Ebene} \quad (2)$$

Wenn e_{ker} angegeben ist, wird U_{ker} nach Gleichung (3) berechnet.

$$U_{\text{ker}} = e_{\text{ker}} \cdot n \quad (3)$$

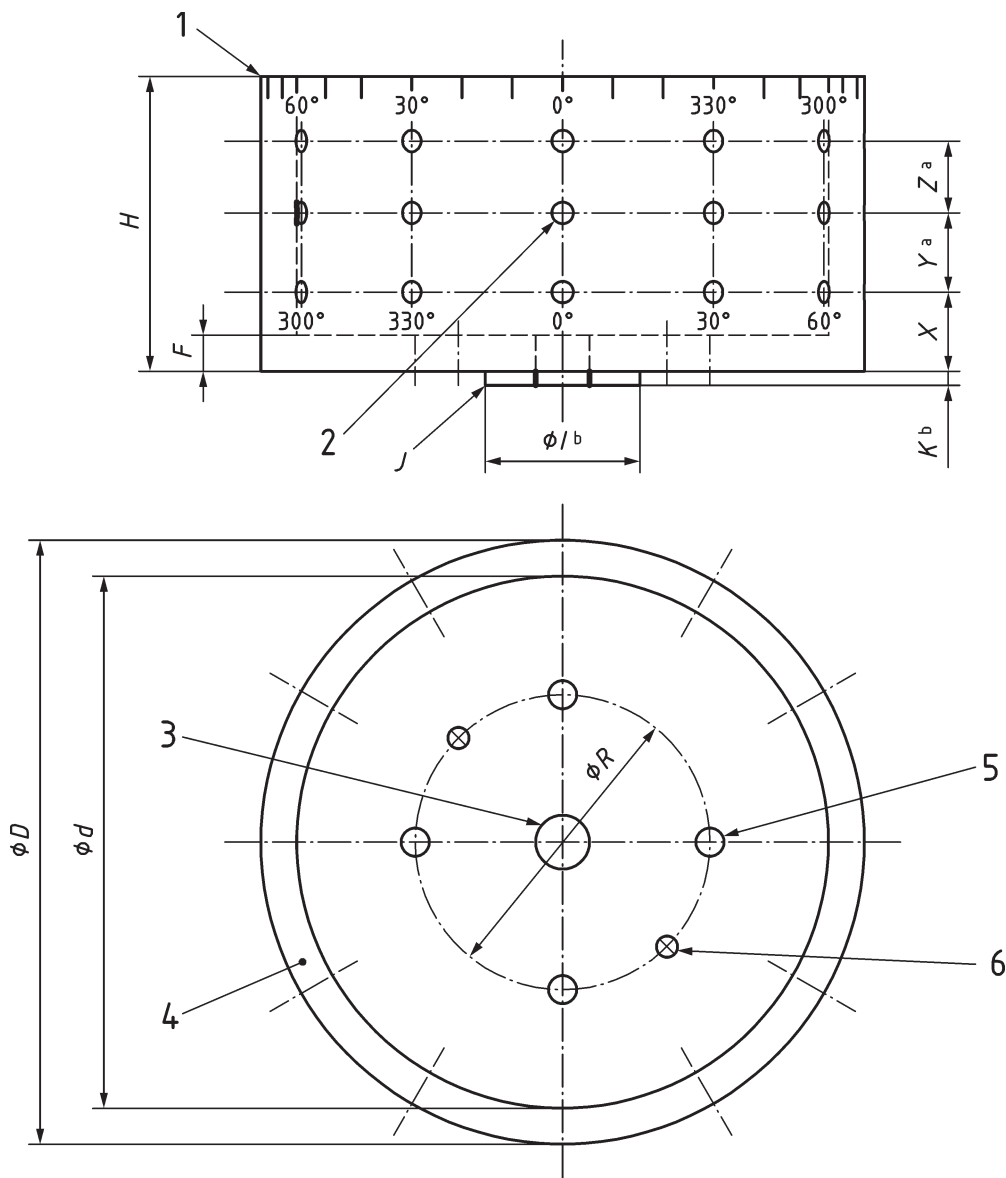
dabei sind n Vielfache.

Der erforderliche Betrag einer bestimmten Testmasse wird von der erforderlichen Unwucht und dem Radius ihres Schwerpunktes abgeleitet, mit dem sie am Prüfroter angebracht ist.

- Entwurf -

Tabelle 5 — Empfohlene Maße, Massen und Drehzahlen für Prüfroten Typ A für vertikale Auswuchtmaschinen (siehe Bild 4)

Metrische Werte															
Rotor Nr.	Rotor- masse <i>m</i> kg	Außen- durch- messer <i>D</i> mm	Innen- durch- messer <i>d</i> $\approx 0,9 \cdot D$ mm	Höhe <i>H</i> $\approx 0,5 \cdot D$ mm	$X \approx 0,075 \cdot D$ mm	$Y^a \approx 0,175 \cdot D$ mm	$Z^a \approx 0,175 \cdot D$ mm	$F \approx 0,06 \cdot D$ mm	<i>G</i>	l^b mm	j^b mm	k^b mm	R^b mm	<i>T</i> mm	Höchs- te Prüf- dreh- zahl ^c min ⁻¹
1	1,1	110	99	55	8	20	20	6,5	M3	50,8	0,4 × 45°	4,2	76,2	6,6	20 000
2	3,5	160	144	80	12	30	30	9,5	M4	50,8	0,4 × 45°	4,2	76,2	6,6	14 000
3	11	230	206	127	19	45	45	13	M5	114,3	0,4 × 45°	4,2	133,35	10,3	10 000
4	35	345	310	170	25	60	60	20	M6	114,3	0,4 × 45°	4,2	133,35	10,3	6 000
5	110	510	460	255	38	90	90	30	M8	114,3	0,4 × 45°	4,2	133,35	10,3	4 000
Inch-pound-Werte															
Rotor Nr.	Rotor- masse <i>m</i> lb	Außen- durch- messer <i>D</i> in	Innen- durch- messer <i>d</i> $\approx 0,9 \cdot D$ in	Höhe <i>H</i> $\approx 0,5 \cdot D$ in	$X \approx 0,075 \cdot D$ in	$Y^a \approx 0,175 \cdot D$ in	$Z^a \approx 0,175 \cdot D$ in	$F \approx 0,06 \cdot D$ in	<i>G</i>	l^b in	j^b in	k^b in	R^b in	<i>T</i> in	Höchs- te Prüf- dreh- zahl ^c min ⁻¹
1	2,5	4,3	3,875	2,2	0,375	0,75	0,75	0,250	Nr. 5 UNF	2	0,015 × 45°	0,165	3	0,266	20 000
2	8	6,3	5,650	3,2	0,5	1,125	1,125	0,375	Nr. 8 UNF	2	0,015 × 45°	0,165	3	0,266	14 000
3	25	9	8,125	5	0,75	1,75	1,75	0,510	Nr. 10 UNF	4,5	0,015 × 45°	0,165	5,25	0,406	10 000
4	80	13,5	12,125	7	1	2,375	2,375	0,800	1/4 UNC	4,5	0,015 × 45°	0,165	5,25	0,406	6 000
5	250	20	18	10	1,5	3,5	3,5	1,186	5/16 UNC	4,5	0,015 × 45°	0,165	5,25	0,406	4 000
Alle Toleranzen und die Restunwucht müssen den Prüfzielen entsprechen.															
Prüfroten nach SAE ARP 4162A [6] mit veränderten Testmassen dürfen anstelle der in diesem Dokument beschriebenen verwendet werden, um den in diesem Dokument beschriebenen durchzuführenden Prüfungen zu genügen.															
^a Die Maße dürfen mit Ausnahme von <i>Y</i> und <i>Z</i> variiert werden. ^b Die Maße der Passung müssen mit den Anforderungen an Prüfroten nach SAE ARP 4162A [6] übereinstimmen (Rotoren Nr. 2 bis Nr. 5). ^c Bezieht sich auf die Rotoren: die Ausführung der Testmassen kann die höchste Drehzahl begrenzen.															



Legende

- 1 36 gleiche Teilungen je 10°, alle 30° beschriftet, im Uhrzeigersinn, entgegen dem Uhrzeigersinn
- 2 12 gleichmäßig verteilte Gewindebohrungen *G* in jeder der drei Testebenen (siehe Tabelle 5)
- 3 Gewindebohrung für Ringschraube
- 4 Bohrungen in dieser Fläche zum Auswuchten des Rotors (optional)
- 5 vier gleichmäßig verteilte Durchgangslöcher *T* (siehe Tabelle 5)
- 6 zwei gleichmäßig verteilte Gewindebohrungen *G* (siehe Tabelle 5)

Alle Toleranzen und die Restunwucht müssen den Prüfzielen entsprechen.

Prüfrotoren nach SAE ARP 4162A [6] mit veränderten Testmassen dürfen anstelle der in diesem Dokument beschriebenen verwendet werden, um den in diesem Dokument beschriebenen durchzuführenden Prüfungen zu genügen.

ANMERKUNG Zu den Maßen siehe Tabelle 5.

^a Die Maße dürfen mit Ausnahme von *Y* und *Z* variiert werden.

^b Die Maße der Passung müssen mit den Anforderungen an Prüfrotoren nach SAE ARP 4162A [6] übereinstimmen (soweit vorhanden).

Bild 4 — Prüfrotoren Typ A für Prüfungen an vertikalen Auswuchtmaschinen

- Entwurf -

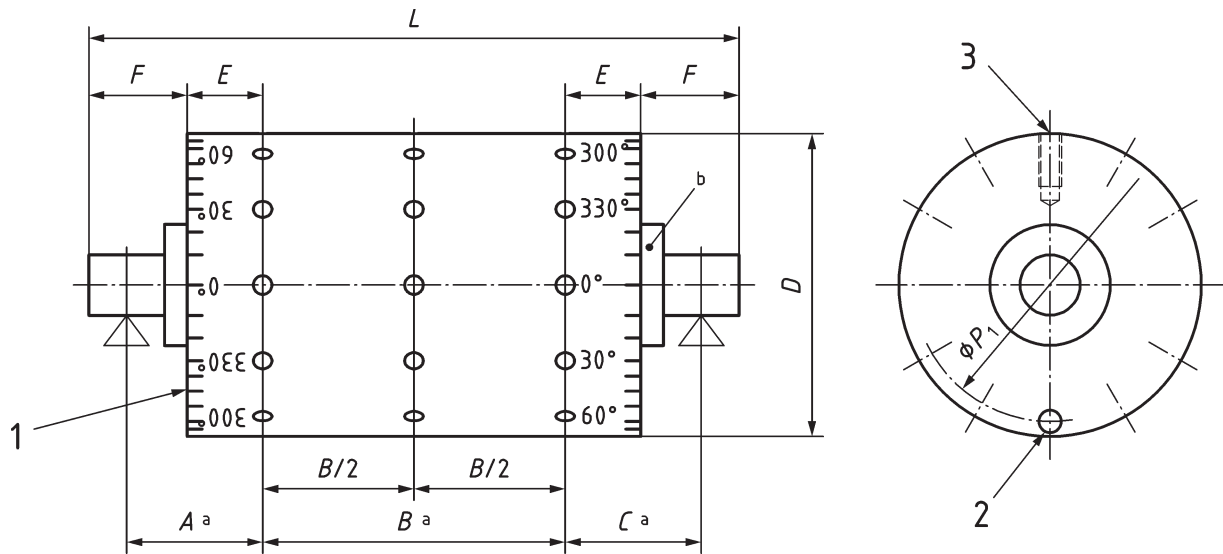
Tabelle 6 — Empfohlene Maße, Massen und Drehzahlen für horizontale Auswuchtmaschine mit Innenbord-Lagern und Prüftrotoren Typ B (siehe Bild 5)

Metrische Werte																
	Rotor- mas- se <i>m</i>	Außen- durch- messer <i>D</i>	Gesamt- länge <i>L</i> » 2,5· <i>D</i>	Wellen- durch- messer <i>D</i> » 0,3· <i>D</i> ^b	Lager- abstand <i>A + B + C</i> » 2· <i>D</i>	<i>A</i> ^a , <i>C</i> ^a » 0,5· <i>D</i>	<i>B</i> ^a » <i>D</i>	<i>E</i> » 0,25· <i>D</i>	<i>F</i> » 0,5· <i>D</i>	<i>P</i> ₁	<i>H</i> ^b	<i>K</i> ^b	<i>P</i> ₂ ^b	<i>N</i>	Resonanz- drehzahl ^c » 7 600 000/ <i>D</i>	Höchste Prüfdreh- zahl ^d » 760 000/ <i>D</i>
Rotor Nr.	kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		min ⁻¹	min ⁻¹
1	0,5	38	95	11	76	19	38	9,5	19	31	—	—	—	M2	200 000	20 000
2	1,6	56	140	17	112	28	56	14	28	46	—	—	—	M3	140 000	14 000
3	5	82	205	25	164	41	82	20,5	41	72	—	—	—	M4	95 000	9 500
4	16	120	300	36	240	60	120	30	60	108	4	7	30	M5	65 000	6 500
5	50	176	440	58	352	88	176	44	88	160	1,4	30	47	M6	45 000	4 500
6	160	260	650	78	520	130	260	65	130	240	1,8	42	62	M8	30 000	3 000
7	500	380	950	114	760	190	380	95	190	350	2,2	57	84	M10	20 000	2 000
Inch-pound-Werte																
	Rotor- mas- se <i>m</i>	Außen- durch- messer <i>D</i>	Gesamt- länge <i>L</i> » 2,5· <i>D</i>	Wellen- durch- messer <i>D</i> » 0,3· <i>D</i> ^b	Lager- abstand <i>A + B + C</i> » 2· <i>D</i>	<i>A</i> ^a , <i>C</i> ^a » 0,5· <i>D</i>	<i>B</i> ^a » <i>D</i>	<i>E</i> » 0,25· <i>D</i>	<i>F</i> » 0,5· <i>D</i>	<i>P</i> ₁	<i>H</i> ^b	<i>K</i> ^b	<i>P</i> ₂ ^b	<i>N</i>	Resonanz- drehzahl ^c » 7 600 000/ <i>D</i>	Höchste Prüfdreh- zahl ^d » 760 000/ <i>D</i>
Rotor Nr.	lb	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in	in		min ⁻¹	min ⁻¹
1	1,1	1,5	3,75	0,433	3	0,75	1,5	0,375	0,75	1,25	—	—	—	Nr. 2 UNF	200 000	20 000
2	3,5	2,2	5,5	0,669	4,4	1,1	2,2	0,55	1,1	1,8	—	—	—	Nr. 5 UNF	140 000	14 000
3	11	3,2	8	0,984	6,4	1,6	3,2	0,8	1,6	2,8	—	—	—	Nr. 8 UNF	95 000	9 500
4	35	4,8	12	1,417	9,6	2,4	4,8	1,2	2,4	4,25	0,157	0,276	1,181	Nr. 10 UNF	65 000	6 500
5	110	7	17,5	2,283	14	3,5	7	1,75	3,5	6,25	0,05	1,181	1,850	1/4 UNC	45 000	4 500
6	350	10,2	25,5	3,071	20,4	5,1	10,2	2,55	5,1	9,25	0,071	1,654	2,441	5/16 UNC	30 000	3 000

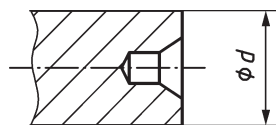
- Entwurf -

Tabelle 6 (fortgesetzt)

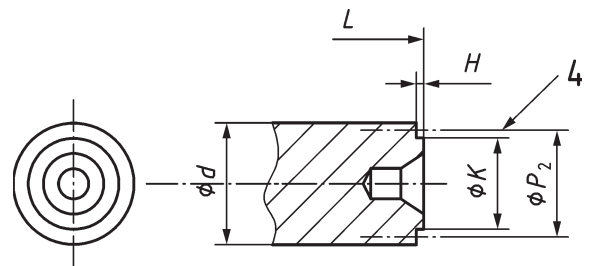
7	1 100	15	37,5	4,488	30	7,5	15	3,75	7,5	13,75	0,087	2,244	3,307	3/8 UNC	20 000	2 000
Alle Toleranzen und die Restunwucht müssen den Prüfzielen entsprechen. Prüfrotoren nach SAE ARP 4162A [6] mit veränderten Testmassen dürfen anstelle der in diesem Dokument beschriebenen verwendet werden, um den in diesem Dokument beschriebenen durchzuführenden Prüfungen zu genügen.																
^a Die Maße A, B und C dürfen variiert werden, vorausgesetzt: $A \approx B/2$, $C \approx B/2$. ^b Die Anschlüsse für Gelenkwellenantriebe passen zu typischen Gelenkwellen. ^c Die Resonanzdrehzahlen sind für Rotoren gerechnet, die in starren Lagern laufen. ^d Bezieht sich auf die Rotoren: die Ausführung der Testmassen kann die höchste Drehzahl begrenzen.																



a) Prüfroter Typ B



b) Einzelheiten des Wellenendes bei Rotoren für Bandantrieb



c) Einzelheiten des Wellenendes bei Rotoren für Gelenkwellenantrieb

Legende

- 1 36 gleiche Teilungen je 10°, alle 30° beschriftet, im Uhrzeigersinn, entgegen dem Uhrzeigersinn
2 12 gleichmäßig verteilte Gewindebohrungen N (siehe Tabelle 6) an jedem Ende zum Nachwuchten
3 12 gleichmäßig verteilte Gewindebohrungen N (siehe Tabelle 6) in jeder der drei Testebenen
4 Anzahl und Maße der Gewindebohrungen

Die Anschlüsse für den Gelenkwellenantrieb müssen zu denen der verwendeten Gelenkwelle passen.

Alle Toleranzen und die Restunwucht müssen den Prüfzielen entsprechen.

Prüfrotoren nach SAE ARP 4162A [6] mit veränderten Testmassen dürfen anstelle der in diesem Dokument beschriebenen verwendet werden, um den in diesem Dokument beschriebenen durchzuführenden Prüfungen zu genügen.

Prüfrotoren der alten Ausführung mit nur 8 Bohrungen je Ebene dürfen geändert werden, um den Anforderungen dieses Dokuments zu entsprechen (siehe 9.4.4.2).

ANMERKUNG Zu den Maßen siehe Tabelle 6.

- a Die Maße A , B und C dürfen variiert werden, vorausgesetzt: $A \approx B/2$, $C \approx B/2$.
- b Wenn die Wellen als Sitze für Wälzlager verwendet werden, sollte eine Planfläche zur Verfügung gestellt werden, damit die Lager rechtwinklig zur Rotorachse und in der vorgeschriebenen axialen Position sind.

Bild 5 — Prüfroten Typ B für Innenbord-Prüfungen an horizontalen Auswuchtmaschine

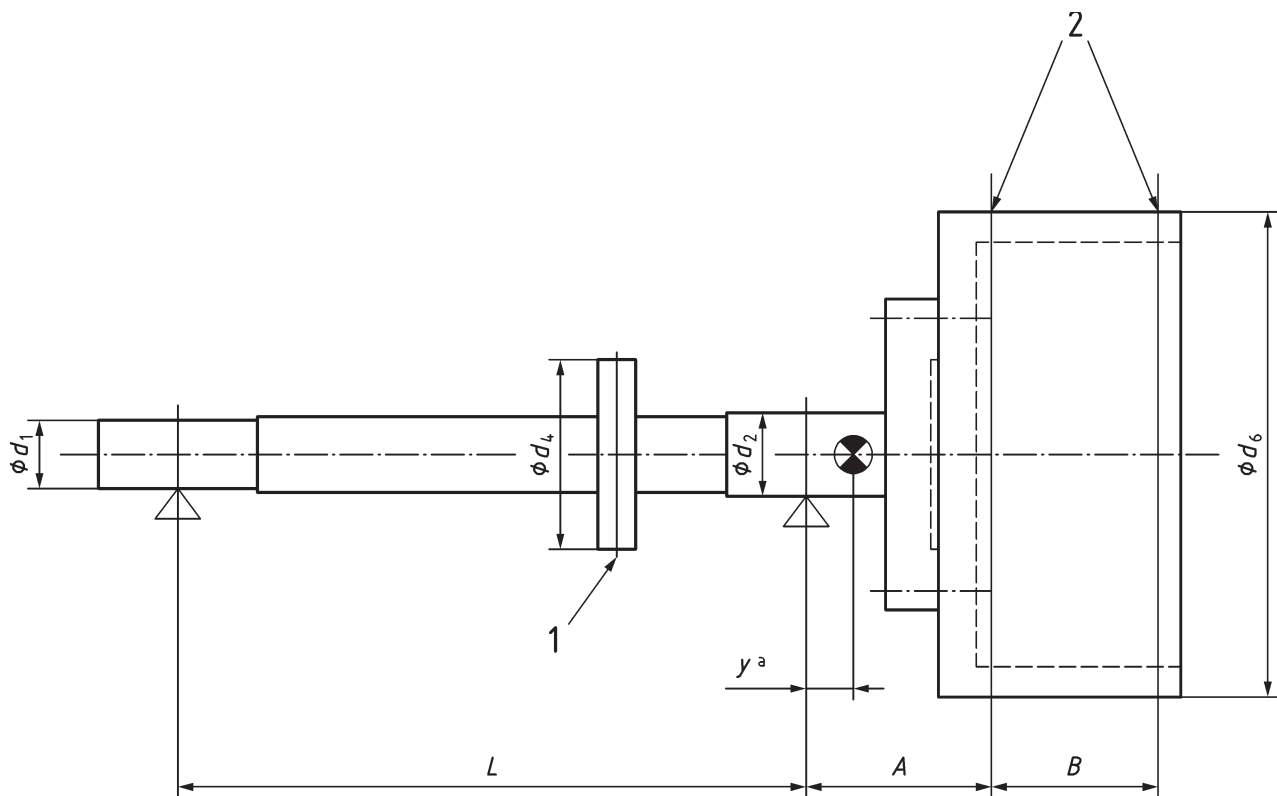
- Entwurf -

Tabelle 7 — Empfohlene Maße, Massen und Drehzahlen für horizontale Auswuchtmaschine mit Außenbord-Lagern und Prüfroten Typ C (siehe Bild 6)

			Metrische Werte													
Wel- le Nr.	Prüfrotor Typ A Nr.	Nr.	Masse <i>M</i>	Lagerkraft auf Rotor ^a		<i>y</i> ^a	<i>d</i> ₁ ^c	<i>d</i> ₂	<i>d</i> ₄	<i>N</i> ^b	Außen- durch- messer <i>d</i> ₆	Lager- abstand <i>L</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	Resonanz- drehzahl ^d	Höchste Prüf- drehzahl ^e
			kg	Linkes Lager N	Rechtes Lager N	mm	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	min ⁻¹	min ⁻¹
1	1	1	2,2	-3	24	20	17	21	50	M3	110	164	41	40	25 000	4 000
2	2	2	6,2	-8	70	30	25	30	72	M4	160	240	62 ^f	60	17 000	2 800
3	3	3	19,5	-25	220	45	36	45	106	M5	230	352	93 ^f	90	14 500	1 900
4	4	4	60	-75	670 ^f	65	58	65	156	M6	345	520	140	120	8 000	1 300
5	5	5	190	-230	2 100	95	78	95	230	M8	510	760	203	180	5 500	900
			Inch-pound-Werte													
Wel- le Nr.	Prüfrotor Typ A Nr.	Nr.	Masse <i>M</i>	Lagerkraft auf Rotor ^a		<i>y</i> ^a	<i>d</i> ₁ ^c	<i>d</i> ₂	<i>d</i> ₄	<i>N</i> ^b	Außen- durch- messer <i>d</i> ₆	Lager- abstand <i>L</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	Resonanz- drehzahl ^d	Höchste Prüf- drehzahl ^e
			lb	lbf	lbf	in	in	in	in		in	in	in	in	min ⁻¹	min ⁻¹
1	1	1	5	-0,6	5,6	0,8	0,67	0,83	2	Nr. 5 UNF	4,3	6,4	1,68	1,5	25 000	4 000
2	2	2	14	-1,8	16	1,2	0,98	1,2	2,8	Nr. 8 UNF	6,3	9,6	2,45	2,25	17 000	2 800
3	3	3	45	-6	51	1,75	1,42	1,8	4,2	Nr. 10 UNF	9	14	3,68 ^f	3,5	14 500	1 900
4	4	4	135	-17	150	2,55	2,28	2,55	6,2	1/4 UNC	13,5	20,4	5,55	4,75	8 000	1 300

Tabelle 7 (*fortgesetzt*)

5	5	5	430	-54	480	3,75	3,07	3,7	9	5/16 UNC	20	30	8	7	5 500	900
Alle Toleranzen und die Restunwucht müssen den Prüfzielen entsprechen. Alternativ zu Prüfstroten Typ A dürfen Prüfstroten nach SAE ARP 4162A [6] mit veränderten Testmassen verwendet werden, um den Anforderungen der in diesem Dokument beschriebenen Prüfungen zu genügen.																
^a Für die Zuordnung siehe Bild C.1. ^b Die Maße dürfen variiert werden, vorausgesetzt, der Schwerpunkt bleibt außerhalb und behält sein Überhang y, und die Position der Bohrungen N zwischen den Lagern bleibt erhalten. ^c Die Anschlüsse für den Gelenkwellenantrieb von Nr. 3 bis Nr. 5 stimmen mit den beschriebenen Anforderungen an Prüfstroten Typ B, Nr. 4 bis Nr. 6 überein. ^d Die Resonanzdrehzahlen sind für Rotoren gerechnet, die in starren Lagern laufen. ^e Bezieht sich auf die Rotoren: die Ausführung der Testmassen kann die höchste Drehzahl begrenzen. ^f Zahl angepasst.																



Legende

- 1 12 gleichmäßig verteilte Gewindebohrungen N (siehe Tabelle 7). Die axiale Position muss zwischen den Lagern liegen.
- 2 12 gleichmäßig verteilte Gewindebohrungen N (siehe Tabelle 7).

Die Anschlüsse für den Gelenkwellenantrieb von Nr. 3 bis Nr. 5 (siehe Tabelle 7) stimmen mit den Prüfroren Typ B, Nr. 4 bis Nr. 6 überein.

Alle Toleranzen und die Restunwucht müssen den Prüfzielen entsprechen.

Alternativ zu einem Prüfror Typ A darf ein Prüfror nach SAE ARP 4162A [6] mit veränderten Testmassen verwendet werden, um den Anforderungen der Prüfungen und den Anforderungen dieses Dokuments zu genügen.

ANMERKUNG 1 Zu den Maßen siehe Tabelle 7. Der Abstand des Schwerpunktes vom rechten Lager wird durch y^a angegeben.

ANMERKUNG 2 Prüfroren Typ C sind zusammengesetzt aus einer Welle (siehe Bild C.1 und Tabelle C.1) und einem Prüfror Typ A.

ANMERKUNG 3 Die empfohlenen Maße der Wellen (für Gelenkwellenantrieb), passend zu den Prüfroren Typ A, sind in Anhang C genannt.

ANMERKUNG 4 Die Maße der Passungen stimmen mit den Prüfroren Typ A überein.

^a Die Maße dürfen variiert werden, vorausgesetzt, der Schwerpunkt bleibt außerhalb und behält seinen Überhang und die Position der Bohrungen N zwischen den Lagern bleibt erhalten.

Bild 6 — Typ C Prüfroren an horizontalen Auswuchtmaschinen

9.4.2 Testmassen für die U_{ker} -Prüfung

9.4.2.1 Allgemeines

Für die U_{ker} -Prüfung (siehe 10.4) ist eine Testmasse von $10 \cdot U_{\text{ker}}$ für Ebene 3 erforderlich (siehe Tabelle 6).

Für Typ A oder Typ B können stattdessen Testmassen von jeweils $5 \cdot U_{\text{ker}}$ für die Ebene 1 und Ebene 2 verwendet werden. Für Prüfmotoren Typ C gibt es keine empfohlene Alternative.

9.4.2.2 Prüfmotoren Typ A und Typ B

Für Prüfmotoren Typ A und Typ B muss U_{ker} in Übereinstimmung mit den in Abschnitt 9 enthaltenen Anforderungen berechnet werden. Dabei werden die folgenden Werte verwendet:

- a) aus Tabelle 5 für vertikale Auswuchtmaschinen und für horizontale Auswuchtmaschinen mit integrierten Spindeln (Typ A) oder
- b) aus Tabelle 6 für horizontale Auswuchtmaschinen für Innenbord-Rotoren (Typ B).

BEISPIEL Horizontale Auswuchtmaschine, Prüfmotor Typ B wie in Tabelle 6, Nr. 5 wobei $m = 50 \text{ kg}$.

Angegeben in Tabelle 1: $e_{\text{ker}} = 0,5 \text{ g} \cdot \text{mm}/\text{kg}$.

Berechnung entsprechend den Anforderungen in 10.4: wenn $U_{\text{ker}} = 0,5 \text{ g} \cdot \text{mm}/\text{kg}$ und $m = 50 \text{ kg}$, dann ist $U_{\text{ker}} = 25 \text{ g} \cdot \text{mm}$.

Die U_{ker} -Testmasse muss $10 \cdot U_{\text{ker}} = 250 \text{ g} \cdot \text{mm}$ ergeben.

9.4.2.3 Prüfmotoren Typ C

Bei Prüfmotoren Typ C auf horizontalen Auswuchtmaschinen wird für Außenbord-Prüfungen für U_{ker} dieselbe Berechnung wie in 9.4.1, jedoch unter Verwendung der Werte in Tabelle 7 angewandt.

ANMERKUNG Dies führt zu anderen Testmassen als beim Innenbord-Test, denn:

- a) die Masse eines Prüfmotors Typ C unterscheidet sich von der eines Prüfmotors Typ B;
- b) der in Tabelle 1 für e_{ker} angegebene Wert für Innenbord-Rotoren kann sich von demjenigen für Außenbord-Rotoren unterscheiden;
- c) die Masse wird an einem anderen Rotordurchmesser befestigt und hat dadurch einen anderen Wirkradius.

BEISPIEL Horizontale Auswuchtmaschine, Außenbord-Prüfmotor Typ C wie in Tabelle 7, Nr. 3 und $m = 19,5 \text{ kg}$.

Angegeben in Tabelle 1: $e_{\text{ker}} = 2 \text{ g} \cdot \text{mm}/\text{kg}$.

Berechnung entsprechend den Anforderungen in 9.4.2.2: $U_{\text{ker}} = 2 \text{ g} \cdot \text{mm}/\text{kg}$ und $m = 19,5 \text{ kg}$, dann ist $U_{\text{ker}} = 39 \text{ g} \cdot \text{mm}$.

Die U_{ker} -Testmasse muss $10 \cdot U_{\text{ker}} = 390 \text{ g} \cdot \text{mm}$ ergeben.

9.4.3 Testmassen für die R_{URV} -Prüfung

9.4.3.1 Allgemeines

Für die R_{URV} -Prüfung (siehe 10.5) werden zwei Testmassen (eine stationäre und eine wandernde Masse) je Testebene benötigt.

9.4.3.2 Prüfmotoren Typ A und Typ B

Für Prüfmotoren Typ A und Typ B sind die Testmassen:

- a) eine (für eine Ein-Ebenen-Prüfung) oder zwei (für eine Zwei-Ebenen-Prüfung) stationäre Massen $U_{\text{stationär}}$, die jeweils $20 \cdot U_{\text{ker}}$ bis $60 \cdot U_{\text{ker}}$ ergeben müssen;
- b) eine (für eine Ein-Ebenen-Prüfung) oder zwei (für eine Zwei-Ebenen-Prüfung) wandernde Massen U_{wandernd} , die jeweils die 5-fache Unwucht der stationären Massen ergeben müssen.

BEISPIEL Wenn ein gleicher Prüfroter und derselbe angegebene Wert von e_{ker} wie im Beispiel in 9.4.2.3 verwendet werden und die stationären Testmassen das 30-Fache von U_{ker} ergeben, führt dies zu Folgendem:

Die stationären R_{URV} -Testmassen müssen $U_{\text{stationär}} = 30 \cdot U_{\text{ker}} = 30 \times 25 \text{ g} \cdot \text{mm} = 750 \text{ g} \cdot \text{mm}$ ergeben.

Die wandernden R_{URV} -Testmassen müssen $U_{\text{wandernd}} = 5 \cdot U_{\text{stationär}} = 3\,750 \text{ g} \cdot \text{mm}$ ergeben.

9.4.3.3 Prüfroten Typ C

Für Prüfroten Typ C wird dieselbe Berechnung wie in 9.4.3.2 beschrieben durchgeführt. Um jedoch dasselbe Diagramm zur Auswertung der R_{URV} -Prüfungen verwenden zu können, ist $U_{\text{stationär}} = 60 \cdot U_{\text{ker}}$ bis $U_{\text{stationär}} = 100 \cdot U_{\text{ker}}$.

ANMERKUNG Die Testmassen unterscheiden sich von denjenigen für Prüfroten Typ A.

Bei Prüfroten Typ C (Außenbord) kann die R_{URV} -Prüfung alternativ auch mit Testmassen durchgeführt werden, die eine resultierende Unwucht oder ein Unwuchtpaar bilden.

Basierend auf den Anforderungen von ISO 21940-11 für resultierende Testmassen wird Folgendes verwendet:

- a) eine stationäre Masse, die $U_{\text{res stationär}} = 20 \cdot U_{\text{ker}}$ bis $60 \cdot U_{\text{ker}}$ ergibt und
- b) eine wandernde Masse, die $U_{\text{res wandernd}} = 5 \cdot U_{\text{res stationär}}$ ergibt.

Für das Unwuchtpaar werden verwendet:

- c) zwei stationäre Massen, die jeweils $U_{\text{c stationär}} = 4 \cdot U_{\text{res stationär}}$ ergeben und
- d) zwei wandernde Massen, die jeweils $U_{\text{c wandernd}} = 5 \cdot U_{\text{c stationär}}$ ergeben.

9.4.4 Zulässige Abweichungen bei Testmassen

9.4.4.1 Allgemeines

Die zulässige Abweichung der Testmassen steht in direktem Verhältnis zur durchzuführenden Aufgabe und darf das Prüfergebnis um nicht mehr als $\pm 10\%$ beeinflussen.

Für die U_{ker} -Prüfung ist die zulässige Abweichung $\pm 1\%$.

Für die R_{URV} -Prüfung steht die zulässige Abweichung der Masse (in Prozent) in direktem Verhältnis zum angegebenen R_{URV} -Wert und ist durch $\pm 0,1 \cdot (100\% - R_{\text{URV}})$ gegeben.

BEISPIEL Für eine Prüfung mit einem angegebenen R_{URV} von 95% ist die zulässige Abweichung $\pm 0,1 \cdot (100\% - 95\%) = \pm 0,5\%$.

9.4.4.2 Position

Montagepositionen für die Testmassen müssen in jeder Ebene in Schritten von 30° vorhanden sein.

Prüfroten der alten Ausführung mit nur 8 Bohrungen je Ebene dürfen verändert werden, um den Anforderungen in diesem Teil von ISO 21940 zu entsprechen (siehe Anhang E).

Der 0°-Bezug muss in jeder Ebene in derselben Winkelrichtung liegen (in derselben Ebene durch die Rotationsachse).

Die Montagepositionen für die Testmassen müssen in allen drei Richtungen mit diesen zulässigen Abweichungen von der Solllage übereinstimmen:

- a) in axialer Richtung: mit demselben Prozentsatz, wie er in 9.4.4.1 bei der Massentoleranz für die R_{URV} -Prüfung (z. B. $\pm 0,5 \%$) ermittelt wurde, jedoch auf den Ebenenabstand angewendet;
- b) in der radialen Position: mit demselben Prozentsatz wie in 9.4.4.2 a) gezeigt (z. B. $\pm 0,5 \%$), jedoch auf den Radius angewendet und
- c) in der Winkellage: mit demselben Prozentsatz wie in 9.4.4.2 a) gezeigt, jedoch auf die Winkleinheit ($1 \text{ rad} = 57,3^\circ$) angewendet (z. B. $\pm 0,5 \%$ entspricht $\pm 0,3^\circ$).

Um die Prüfungen mit den Prüfroten Typ B und Typ C zu vereinfachen, ist es empfehlenswert, das Bohrungsmuster für den Gelenkwellenantrieb auf die 0°-Position des Prüfroters auszurichten.

9.4.5 Werkstoffe

Für einige Prüfroten können Testmassen wegen ihrer geringen Maße schwierig zu gestalten und mühsam zu handhaben sein. In diesen Fällen ist es vorzuziehen, die Testmassen aus Werkstoffen geringer Dichte zu fertigen (z. B. aus Aluminium oder Kunststoff) um sicherzustellen, dass ihre geringeren Maße die Handhabung erleichtert.

10 Abnahmeprüfungen für Auswuchtmaschinen

10.1 Allgemeines

Dieser Abschnitt beschreibt die Prüfungen, die zur Bewertung der Leistungsfähigkeit von Auswuchtmaschinen, abhängig von der Maschinenart, durchgeführt werden müssen:

- a) als Prüfung beim Hersteller vor der Auslieferung (vor der Lieferung an den Nutzer);
- b) nach der Installation beim Nutzer;
- c) wenn Maschinenteile (z. B. solche, die mit der Leistungsfähigkeit der Auswuchtmaschine oder der Auswuchtmessung in Verbindung stehen) bei einer bereits installierten Auswuchtmaschine ausgetauscht worden sind.

Die durchzuführenden Prüfungen sind in Tabelle 8 aufgeführt. Allerdings sind die Prüfungen

- d) der Wiederholpräzision und
- e) des Drehzahlbereichs durchzuführen.

Die zur Prüfung der Wiederholpräzision und des Drehzahlbereichs zu verwendenden Prüfverfahren sind in Anhang F beschrieben.

Die Prüfungen, die speziell an einer bereits installierten, unveränderten Auswuchtmaschine durchzuführen sind, unterliegen der Vereinbarung zwischen dem Hersteller der Auswuchtmaschine und dem Nutzer. Um die Anforderungen dieses Dokuments zu erfüllen und als Mindestanforderung müssen jedoch die in Tabelle 9 aufgeführten U_{ker} - und R_{URV} -Prüfungen durchgeführt werden.

Tabelle 8 — Prüfmatrix für die Abnahmeprüfung von Auswuchtmaschinen

Maschinenart	Durchzuführende Prüfung					
	U_{ker}	R_{URV}	I_{sc}	Kompensations-einrichtung	Wiederhol-präzision (siehe F.1)	Drehzahlbereich (siehe G.1)
Horizontal, mit Gelenkwellenantrieb, zwei Ebenen	X	X		A	0	0
Horizontal, mit Bandantrieb, zwei Ebenen	X	X		A	0	0
Horizontal, mit Doppelantrieb, zwei Ebenen	X	X		X	0	0
Horizontal, mit Eigenantrieb oder anderem Antrieb, eine Ebene	X	X	X	A	0	0
Horizontal, mit Eigenantrieb oder anderem Antrieb, mehrere Ebenen	X	X		A	0	0
Vertikal, eine Ebene	X	X	X	A	0	0
Vertikal, zwei Ebenen	X	X		X	0	0
Vertikal, mit Eigenantrieb oder anderem Antrieb	X	X	A	X	0	0
Nicht drehende Auswuchtmaschine	X	X	X	X	0	
Horizontal, mit überhängender Lagerung, eine Ebene	X	X	X	X	0	0
Horizontal, mit überhangender Lagerung, zwei Ebenen	X	X		X	0	0
Für Gelenkwellen	X	X		X	0	0
Für Achsen	X	X		X	0	0
Spezialmaschine, eine Ebene	X	X	X	A	0	0
Spezialmaschine, mehrere Ebenen	X	X		A	0	0
Legende X Diese Prüfung muss durchgeführt werden. A Diese Prüfung muss durchgeführt werden, falls die Auswuchtmaschine diese Möglichkeit bietet und die Funktion zu verwenden ist. 0 Diese Prüfung muss mit Zustimmung aller interessierten Parteien durchgeführt werden.						

Tabelle 9 — Prüfungen, die für alle Maschinenarten nach der Erstprüfung entfallen können

Prüfung	Durchzuführende Prüfung					
	U_{ker}	R_{URV}	I_{sc}	Kompensations-einrichtung	Wiederhol-präzision (siehe Anhang F)	Drehzahlbereich (siehe Anhang G)
Prüfung beim Hersteller	Nein	Nein	A	Ja	Nein	0
Prüfung beim Nutzer	Nein	Nein	0	0	Nein	0
Prüfung zur Qualitätssicherung mit beiderseitiger Zustimmung	Nein	Nein	0	0	0	0
Legende A Diese Prüfung muss durchgeführt werden, falls die Auswuchtmaschine diese Möglichkeit bietet und die Funktion zu verwenden ist. 0 Diese Prüfung muss mit der Zustimmung aller interessierten Parteien durchgeführt werden.						

10.2 Anforderungen an die Leistungsbewertung bei Auswuchtmaschinen

Zur Bewertung der angegebenen Leistungsfähigkeit der Auswuchtmaschine müssen die in 10.4 bis 10.5 beschriebenen Prüfungen vom Hersteller in seinem Werk und nach der Installation beim Nutzer durchgeführt werden:

- a) die U_{ker} -Prüfung;
- b) die R_{URV} -Prüfung;
- c) die I_{sc} -Prüfung (Prüfung des Einflusses der Momentenunwucht auf die Anzeige der resultierenden Unwucht). Wird nur bei Ein-Ebenen- Auswuchtmaschinen benötigt;
- d) die Prüfung der Kompensationseinrichtung, die beim Auswuchten auf Umschlag verwendet wird.

Die Prüfungen müssen während der Abnahmeprüfung der Auswuchtmaschine und in regelmäßigen Abständen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass die Auswuchtmaschine die aktuellen Auswuchtaufgaben im Rahmen der Produktion bewältigen kann. Falls die Auswuchtmaschine sowohl Gelenkwellen- als auch Bandantriebe aufweist, müssen alle Prüfungen mit jedem Antrieb durchgeführt werden. Dies kann jedoch auf die Antriebsart beschränkt werden, die üblicherweise am häufigsten eingesetzt wird, oder wenn dies im Fall von unverändert installierten Auswuchtmaschinen zwischen dem Prüfenden und dem Nutzer vereinbart wurde.

Die Prüfroten Typ A und Typ B werden entsprechend der Art der zu prüfenden Auswuchtmaschine gewählt (siehe 9.2). Prüfroten Typ C dürfen nur verwendet werden, wenn Außenbord-Rotoren auf einer horizontalen Auswuchtmaschine ausgewuchtet werden und eine Vereinbarung zwischen dem Hersteller und dem Nutzer vorliegt. Ein nutzerdefinierter Prüfroter kann verwendet werden, falls ein Prüfroter Typ A, Typ B oder Typ C den üblicherweise ausgewuchteten Rotoren hinsichtlich deren Masse und Geometrie nicht entspricht.

ANMERKUNG Tabelle 5 und Tabelle 6 geben einen Überblick über die U_{ker} - und R_{URV} -Prüfungen mit den Prüfroten Typ A, Typ B und Typ C.

Die in 10.2 a) bis 10.2 d) beschriebenen Prüfungen stellen das Minimum an Anforderungen dar, um die Übereinstimmung mit den Anforderungen dieses Abschnitts herzustellen. Diese Prüfverfahren weisen jedoch weder die Übereinstimmung mit allen Anforderungen über die ganze Bandbreite der Variablen nach, noch geben sie den genauen Grund an, falls die Auswuchtmaschine die Übereinstimmung verfehlt.

Wenn eine Auswuchtmaschine eine Prüfung nicht besteht, muss die gesamte Prüfung nach dem Richten der Auswuchtmaschine wiederholt werden.

Die Auswuchtmaschine muss dann die Anforderungen aller erforderlichen Prüfungen erfüllen, um als annehmbar zu gelten.

Allerdings unterliegt die Durchführung

- a) der Prüfung der Wiederholpräzision und
- b) der Prüfung des Drehzahlbereichs bei einer neuen oder einer bereits installierten, unveränderten Auswuchtmaschine der Vereinbarung zwischen dem Hersteller der Auswuchtmaschine und dem Nutzer.

Die zur Prüfung der Wiederholpräzision und des Drehzahlbereichs zu verwendenden Prüfverfahren sind in Anhang G und Anhang F beschrieben.

10.3 Prüfdrehzahl

Die beim Antreiben des Prüfroters zu verwendende Prüfdrehzahl muss zwischen Hersteller und Nutzer vereinbart werden und muss entweder (siehe Tabelle 1):

- a) eine typische Drehzahl der Auswuchtmaschine in Übereinstimmung mit der Maschinenspezifikation sein, oder
- b) 10 % bis 20 % der höchsten zulässigen Drehzahl des Prüfrotors (siehe Tabelle 5, Tabelle 6 und Tabelle 7) betragen, falls diese Drehzahl innerhalb des Drehzahlbereichs der Auswuchtmaschine liegt, oder
- c) eine typische Drehzahl sein, bei der der Nutzer Rotoren auswuchten verwenden will, oder
- d) die für einen Rotor des Nutzers vorgesehene Auswuchtdrehzahl sein, falls dieser nutzerdefinierte Rotor als Prüffrotor verwendet wird.

10.4 Prüfung zur Bestimmung der kleinsten erreichbaren Restunwucht U_{ker}

10.4.1 Allgemeines

U_{ker} ist der kleinste Betrag der Restunwucht (in g·mm), den eine Auswuchtmaschine unter gegebenen Bedingungen erzielen.

Diese Prüfung hat das Ziel, die Fähigkeit der Auswuchtmaschine zu prüfen, einen Rotor auf U_{ker} auszuwuchten.

Eine Zwei-Ebenen-Prüfung wird im Detail beschrieben und Abänderungen für eine Ein-Ebenen-Prüfung werden erwähnt.

Ein Überblick über die U_{ker} - und R_{URV} -Prüfungen mit den in Tabelle 5 beschriebenen Prüfroten ist in Tabelle 11 dargestellt.

10.4.2 Ersteinrichtung von Auswuchtmaschinen

10.4.2.1 Einstellen der Ebenen zum Auswuchten

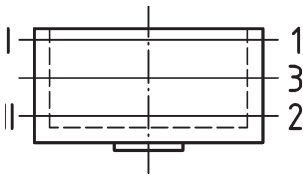
Für den jeweiligen in Betracht gezogenen Rotor wird die Mechanik der Auswuchtmaschine eingerichtet. Die Kalibrierung oder die Einstellung erfolgt für die Auswuchtebene(n), die nicht die Testebenen sind, siehe Tabelle 5 und Tabelle 6.

Die Testebenen für Prüfroten Typ A, Typ B und Typ C sind in Tabelle 10 beschrieben, die in Verbindung mit Tabelle 6 gelesen werden sollte.

10.4.2.2 Urunwucht

Es ist sicherzustellen, dass die Unwucht in jeder Ebene des Prüfrotors kleiner ist als das 5-Fache der angegebenen U_{ker} (das 10-Fache bei einer Ein-Ebenen-Prüfung). Diese Unwuchten sind zu korrigieren, falls erforderlich. Dazu werden Positionen verwendet, die sich nicht störend auf die durchzuführenden Prüfungen auswirken (z. B. Ausgleichsebenen an einem Prüffrotor Typ B oder an den Stirnflächen (siehe Legende 2 in Bild 5)).

Tabelle 10 — Prüfroten und ihre Ebenen für die in Tabelle 6 beschriebenen Prüfungen

Achse der Auswuchtmaschine	Schwerpunktslage	Prüffrotor (siehe 9.2)	Art der Prüfung
Vertikal	—	 Typ A	eine Ebene → zwei Ebenen →