

DIN ISO 21940-1

ICS 21.120.40

Ersatz für
DIN ISO 19499:2008-03**Mechanische Schwingungen –
Auswuchten von Rotoren –
Teil 1: Einführung (ISO 21940-1:2019)**

Mechanical vibration –
Rotor balancing –
Part 1: Introduction (ISO 21940-1:2019)

Vibrations mécaniques –
Équilibrage des rotors –
Partie 1: Introduction (ISO 21940-1:2019)

Gesamtumfang 39 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	6
Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich.....	9
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Grundlagen des Auswuchtens	9
4.1 Allgemeines.....	9
4.2 Unwucht einer einzelnen Scheibe.....	10
4.3 Unwuchtverteilung	12
4.4 Darstellung der Unwucht.....	13
5 Beim Auswuchten zu berücksichtigende Faktoren.....	13
5.1 Allgemeines.....	13
5.2 Rotoren mit starrem Verhalten	14
5.3 Rotoren mit nachgiebigem Verhalten	15
5.3.1 Allgemeines.....	15
5.3.2 Wellenelastisches Verhalten	15
5.3.3 Körperelastisches Verhalten	16
5.3.4 Setzungsverhalten.....	16
5.4 Beispiele für das Verhalten von Rotoren.....	16
6 Auswahl eines Auswuchtverfahrens.....	17
7 Unwuchttoleranzen	18
7.1 Allgemeines.....	18
7.2 Zulässige Restunwucht.....	18
7.2.1 Allgemeines.....	18
7.2.2 Zulässige Restunwucht bei Rotoren mit starrem Verhalten	18
7.2.3 Zulässige Restunwucht bei Rotoren mit nachgiebigem Verhalten	18
7.3 Grenzwerte für die Schwingungen	18
7.4 Einfluss von Eigenformen oberhalb der Betriebsdrehzahl	19
7.5 Faktoren mit Einfluss auf die Auswuchtverfahren.....	19
7.5.1 Allgemeines.....	19
7.5.2 Toleranzen	20
7.5.3 Drehzahl und Lagerungsbedingungen	20
7.5.4 Urunwucht.....	20
8 Auswahl einer Auswuchtmaschine.....	21
8.1 Allgemeines.....	21
8.2 Besondere Anforderungen.....	22

9	Internationale Normen über das Auswuchten.....	22
9.1	Allgemeines	22
9.2	Begriffe	23
9.2.1	ISO 21940-2 — Balancing vocabulary	23
9.2.2	ISO 2041 — Vibration and shock vocabulary.....	23
9.3	Auswuchtverfahren und -toleranzen.....	23
9.3.1	Allgemeines	23
9.3.2	ISO 21940-11 — Procedures and tolerances for rotors with rigid behaviour	23
9.3.3	ISO 21940-12 — Procedures and tolerances for rotors with flexible behaviour	23
9.3.4	ISO 21940-13 — Criteria and safeguards for the <i>in-situ</i> balancing of medium and large rotors.....	24
9.3.5	ISO 21940-14 — Procedures for addressing balancing errors.....	24
9.4	Auswuchtmaschinen	24
9.4.1	ISO 21940-21 — Description and evaluation of balancing machines	24
9.4.2	ISO 21940-23 — Enclosures and other protective measures for the measuring station of balancing machines	24
9.5	Maschinen-Auslegung für das Auswuchten	25
9.5.1	ISO 21940-31 — Susceptibility and sensitivity of machines to unbalance	25
9.5.2	ISO 21940-32 — Shaft and fitment key convention	25
	Anhang A (informativ) Mathematische und graphische Darstellung des Unwuchtzustands.....	26
	Anhang B (informativ) Beispiele für verschiedenes Rotorverhalten, dargestellt an einer typischen kraftmessenden Auswuchtmaschine	33
	Literaturhinweise	39

Nationales Vorwort

Dieses Dokument enthält die deutsche Übersetzung der Internationalen Norm ISO 21940-1:2019, 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“, dessen Sekretariat von DIN geführt wird, erarbeitet wurde.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-03-06 AA (NALS/VDI C 6) „Auswuchten und Auswuchtmaschinen“ im DIN/VDI-Normenausschusses Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS).

Dieses Dokument ersetzt DIN ISO 19499:2008-03.

Für die in diesem Dokument zitierten internationalen 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 21940-12:2016	siehe	DIN ISO 21940-12:2016-09
ISO 21940-13	siehe	DIN ISO 21940-13
ISO 21940-14	siehe	DIN ISO 21940-14
ISO 21940-21	siehe	DIN ISO 21940-21
ISO 21940-23	siehe	DIN ISO 21940-23
ISO 21940-32	siehe	DIN ISO 21940-32

Die Deutschen Normen sind in Anhang NA aufgeführt.

ISO 21940 unter dem allgemeinen Titel *Mechanical vibration — Rotor balancing* besteht aus folgenden Teilen:

- *Part 1: Introduction*¹
- *Part 2: Vocabulary*²
- *Part 11: Procedures and tolerances for rotors with rigid behaviour*³
- *Part 12: Procedures and tolerances for rotors with flexible behaviour*⁴
- *Part 13: Criteria and safeguards for the in-situ balancing of medium and large rotors*⁵

-
- 1 Überarbeitung von ISO 19499:2007, *Mechanical vibration — Balancing — Guidance on the use and application of balancing standards*
 - 2 Überarbeitung von ISO 1925:2001, *Mechanical vibration — Balancing — Vocabulary*
 - 3 Überarbeitung von ISO 1940-1:2003 + Cor.1:2005, *Mechanical vibration — Balance quality requirements for rotors in a constant (rigid) state — Part 1: Specification and verification of balance tolerances*
 - 4 Überarbeitung von ISO 11342:1998 + Cor.1:2000, *Mechanical vibration — Methods and criteria for the mechanical balancing of flexible rotors*
 - 5 Überarbeitung von ISO 20806:2009, *Mechanical vibration — Criteria and safeguards for the in-situ balancing of medium and large rotors*

- *Part 14: Procedures for assessing balance errors* ⁶
- *Part 21: Description and evaluation of balancing machines* ⁷
- *Part 23: Enclosures and other protective measures for the measuring station of balancing machines* ⁸
- *Part 31: Susceptibility and sensitivity of machines to unbalance* ⁹
- *Part 32: Shaft and fitment key convention* ¹⁰

Änderungen

Gegenüber DIN ISO 19499:2008-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aufnahme von Verweisungen auf alle Internationalen Normen der Reihe ISO 21940;
- b) Streichung der früheren Tabelle 2 „Wegweiser zu den Auswuchtverfahren“;
- c) Streichung des früheren Anhangs C „Abschätzung der Wellenelastizität eines Rotors aus seiner äußeren Form“.

Frühere Ausgaben

DIN ISO 19499: 2008-03

-
- 6 Überarbeitung von ISO 1940-2:1997, *Mechanical vibration — Balance quality requirements of rigid rotors — Part 2: Balance errors*
 - 7 Überarbeitung von ISO 2953:1999, *Mechanical vibration — Balancing machines — Description and evaluation*
 - 8 Überarbeitung von ISO 7475:2002, *Mechanical vibration — Balancing machines — Enclosures and other protective measures for the measuring station*
 - 9 Überarbeitung von ISO 10814:1996, *Mechanical vibration — Susceptibility and sensitivity of machines to unbalance*
 - 10 Überarbeitung von ISO 8821:1989, *Mechanical vibration — Balancing — Shaft and fitment key convention*

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

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

DIN ISO 21940-12:2016-09, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 12: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit nachgiebigem Verhalten (ISO 21940-12:2016)*

DIN ISO 21940-12 Beiblatt 1, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 12: Verfahren und Toleranzen für Rotoren mit nachgiebigem Verhalten — Beiblatt 1: Verfahren zum Auswuchten bei mehreren Drehzahlen*

DIN ISO 21940-13, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 13: Kriterien und Sicherheitshinweise für das Auswuchten von mittleren und großen Rotoren am Aufstellungsort*

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 21940-23, *Mechanische Schwingungen — Auswuchten von Rotoren — Teil 23: Verkleidungen und andere Schutzmaßnahmen für die Messstation 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 Normungsorganisationen (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 Themen 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.

Eine Erläuterung zum freiwilligen Charakter von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT) berücksichtigt, enthält der folgende Link: 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 von ISO 21940-1 ersetzt ISO 19499:2007, die inhaltlich überarbeitet wurde. Die wesentlichen Änderungen sind wie folgt:

- Aufnahme von Verweisungen auf alle Internationalen Normen der Reihe ISO 21940;
- Streichung der früheren Tabelle 2 „Wegweiser zu den Auswuchtverfahren“;
- Streichung des früheren Anhangs C „Abschätzung der Wellenelastizität eines Rotors aus seiner äußeren Form“.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 21940 kann auf der ISO-Internetseite abgerufen werden.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute findet sich unter www.iso.org/members.html.

Einleitung

Durch Unwucht von Rotoren bedingte Schwingungen gehören zu den kritischsten Bereichen bei der Konstruktion und Wartung von drehenden Maschinen. Die infolge der Unwucht steigenden dynamischen Kräfte haben negative Auswirkungen sowohl auf die Maschinen als auch auf die Gesundheit und das Wohlbefinden von Menschen. Zweck dieses Dokuments ist, einen Leitfaden für die Anwendung der anderen Teile der Normenreihe ISO 21940 zur Verfügung zu stellen.

Das Auswuchten wird allgemein und unter Anwendung der speziellen Benennungen und Definitionen erläutert, um dem Leser bei der Wahl des für seine Anwendung geeigneten Auswuchtansatzes zu helfen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument stellt allgemeines Hintergrundwissen zur Auswuchttechnik, wie sie in der Normenreihe ISO 21940 angewendet wird, zur Verfügung und leitet den Leser zu den entsprechenden Teilen der Reihe, die die Begriffe, die Auswuchtverfahren und -toleranzen, die Auswuchtmaschinen und die Konstruktion von Maschinen für die Auswuchtung enthalten.

Einzelne Verfahren sind hierin nicht enthalten, weil sie in den entsprechenden Teilen von ISO 21940 zu finden sind.

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 2041, *Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary*

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 2041 und 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 Grundlagen des Auswuchtens

4.1 Allgemeines

Auswuchten ist ein Vorgang, bei dem die Massenverteilung eines Rotors (oder eines Teils eines Rotors oder einer Baugruppe) gemessen und angepasst wird, um sicherzustellen, dass die Unwuchttoleranzen eingehalten werden.

Viele Faktoren können Rotorunwuchten verursachen, z.B. inhomogene Werkstoffe, Fertigung, Montage, Verschleiß während des Betriebs, Ablagerungen oder ein Vorfall im Betrieb. Es ist wichtig, sich darüber im Klaren zu sein, dass jeder Rotor, selbst wenn er in Serienfertigung hergestellt wurde, eine einzigartige individuelle Unwuchtverteilung hat.

Neue Rotoren werden im Allgemeinen vom Hersteller auf Auswuchtmaschinen ausgewuchtet, bevor sie in ihrer Betriebsumgebung installiert werden. Nach einer Überarbeitung oder einer Reparatur können Rotoren ebenfalls in einer Auswuchtmaschine nachgewuchtet werden oder sie können, falls keine entsprechenden Einrichtungen zur Verfügung stehen, im Betriebszustand ausgewuchtet werden (Einzelheiten hierzu siehe ISO 21940-13). Für das Auswuchten im Betriebszustand wird der Rotor in seine Betriebslager und Stützstrukturen eingesetzt und in seinem betriebsmäßigen Antriebsstrang gedreht.

Beim Drehen verursacht die Unwucht Kräfte, die entweder direkt durch in die Stützstruktur der Lagerung eingebaute Kraftaufnehmer oder indirekt durch Messung der Bewegung des Lagers oder der Welle gemessen werden können. Anhand dieser Messungen kann der Unwuchtvektor berechnet und der Ausgleich mittels Ansetzen, Abnehmen oder Bewegen von Ausgleichsmassen am Rotor durchgeführt werden. Abhängig von der Auswuchtaufgabe wird der Massenausgleich in einer, zwei oder mehr Ausgleichsebenen durchgeführt.

Trägheitskräfte aufgrund von Unwuchten oder während des Ausgleichsvorgangs angesetzter Ausgleichsmassen führen zu einer Anregung des Rotors und des Stützsystems, die sich als umlaufrfrequente Schwingung beobachten lässt. Umlaufrfrequente Schwingungen und Schwingungen anderer Frequenzen können auch von anderen Wirkungen, wie z.B. von asymmetrischer Steifigkeit und magnetischen oder hydraulischen Kräften, angeregt werden, durch das Auswuchten können jedoch nur die umlaufrfrequenten Wirkungen ausgeglichen werden. Darüber hinaus können nichtlineare Systeme Ursache für andere als die drehzahlsynchronen Frequenzen sein; jedoch haben diese üblicherweise einen untergeordneten Einfluss.

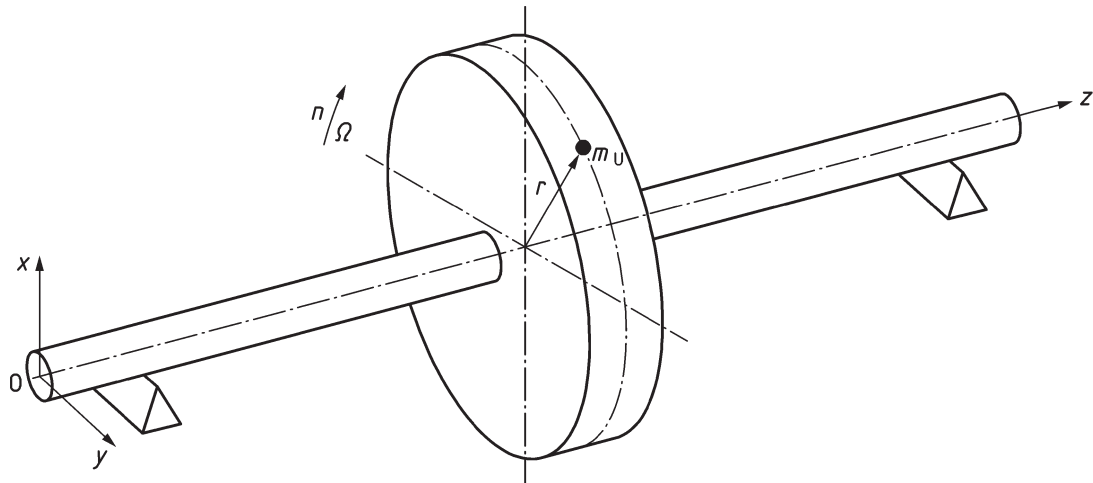
Die Theorie des Auswuchtens ist in der Fachliteratur ausführlich beschrieben (siehe z.B. die Literaturhinweise [11], [12]), weswegen im vorliegenden Dokument nur die Grundlagen dargelegt werden, um dem Leser zu helfen, die in den Auswuchtnormen verwendeten Begriffe zu verstehen und ihm zu ermöglichen, die für ihn zutreffenden Teile von ISO 21940 zu ermitteln.

4.2 Unwucht einer einzelnen Scheibe

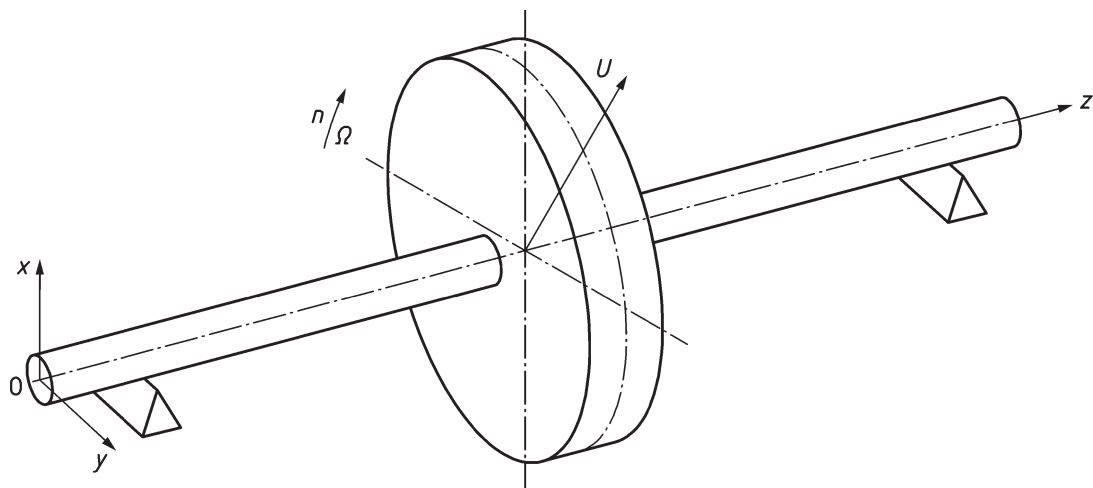
Das einfachste mechanische Modell eines Rotors besteht aus einer einzelnen Scheibe, die über eine masselose Welle auf zwei Lagern aufliegt, wie in Bild 1 dargestellt. Eine Unwuchtmasse m_U auf der Scheibe mit einem radialen Abstand r zur Schaftachse erzeugt den Unwuchtvektor $\mathbf{U}$ mit $\mathbf{U} = m_U \mathbf{r}$. Der Unwuchtvektor $\mathbf{U}$ wird in der Einheit Masse mal Länge angegeben, üblicherweise $\text{kg} \cdot \text{m}$, in der Praxis werden jedoch in der Regel kleinere Einheiten verwendet, z. B. $\text{kg} \cdot \text{mm}$, $\text{g} \cdot \text{mm}$ oder bei sehr kleinen Unwuchten $\text{mg} \cdot \text{mm}$.

ANMERKUNG Fett geschriebene Formelzeichen zeigen Vektorgrößen an.

Bei einer Drehzahl n (Winkelgeschwindigkeit Ω) verursacht die Unwucht eine Zentrifugalkraft $\mathbf{F} = \mathbf{U} \Omega^2$. Bei Angabe der Unwucht $\mathbf{U}$ in $\text{kg} \cdot \text{m}$ und der Winkelgeschwindigkeit Ω in rad/s ergibt sich $\mathbf{F}$ in Newton N.



a) Unwucht einer Scheibe als Unwuchtmasse m_U im Radius r



b) Unwucht einer Scheibe als Unwuchtvektor U

Bild 1 — Unwucht einer Scheibe

Die Unwucht U kann als Exzentrizität e der Scheibenmasse M von der Schaftachse entsprechend dem Ausdruck $U = M e$ angegeben werden, siehe Bild 2.

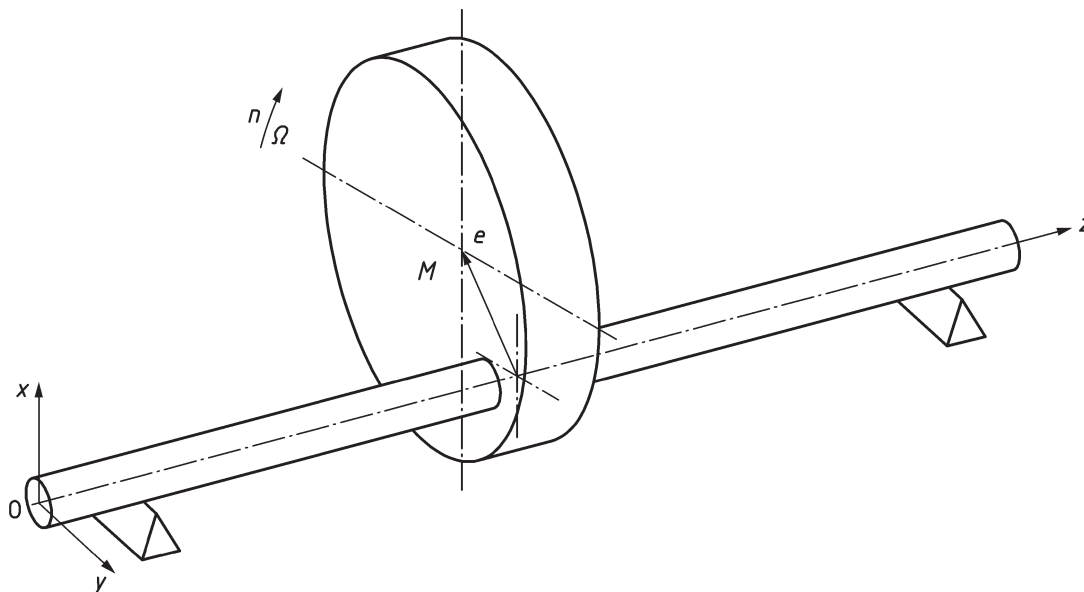


Bild 2 — Unwucht einer Scheibe, angegeben als Exzentrizität des Massenmittelpunkts von der Schaftachse

4.3 Unwuchtverteilung

Bei einem allgemeinen Rotor mit einer gewissen axialen Länge besteht die Unwucht aus einer unendlichen Anzahl von entlang der Schaftachse verteilten Unwuchtvektoren. Wenn zur Simulation des Rotorverhaltens ein Mehrmassen-Modell verwendet wird, kann die Unwucht durch eine endliche Anzahl von Unwuchtvektoren unterschiedlicher Länge und Winkelrichtung dargestellt werden, wie in Bild 3 dargestellt.

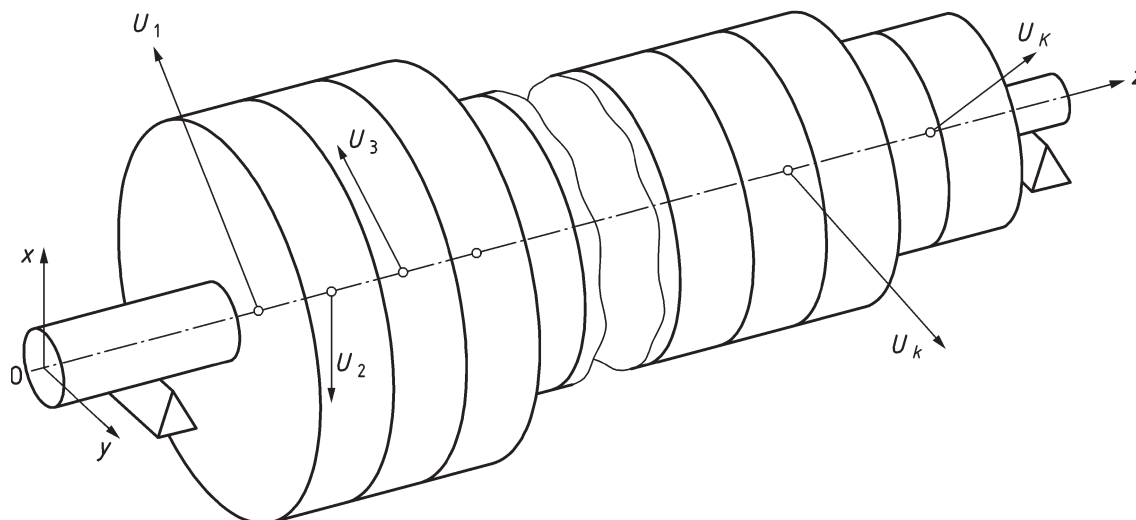


Bild 3 — Unwuchtverteilung eines Rotors, der mit K Scheibenelementen modelliert ist, die senkrecht auf der z -Achse stehen