

## Hintergrundinformationen zum Auswuchten

### Ziel des Auswuchtens

Beim Auswuchten wird die Masseverteilung eines Rotors geprüft und anschließend dahingehend verbessert, dass die unwuchtbedingten Kräfte und Schwingungen innerhalb zulässiger Grenzen liegen. Durch das Auswuchten wird ein schwingungsarmer Lauf einer Maschine erreicht, was zahlreiche positive Effekte in der Maschine nach sich zieht, u.a.:

- Verbesserung der Produktqualität
- Verlängerung der Lebensdauer
- Verringerung von Lärm

### Entstehung einer Unwucht

Wenn ein Rotor in Rotation versetzt wird, dann erzeugen alle Masseteilchen im Rotor eine Fliehkraft. Wenn sich die Summe aller Fliehkräfte aufhebt, wirkt keine resultierende Kraft mehr auf die Lagerung. Der Rotor ist dann voll ausgewuchtet. Wenn die Summe nicht zu Null wird, verbleibt eine resultierende Fliehkraft. Diese überträgt Schwingkräfte auf die Lager.

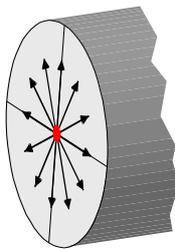


Bild 1: Alle Fliehkräfte heben sich auf. Der Rotor ist ausgewuchtet.

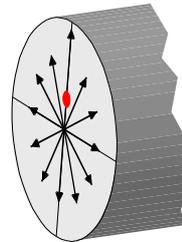


Bild 2: Die Fliehkräfte heben sich nicht auf. Es verbleibt eine resultierende Fliehkraft, die eine Unwucht erzeugt.

### Beschreibung einer Unwucht

Die Ursache für eine Fliehkraft ist eine außerhalb der Schaftachse rotierende Masse. So kann auch für die resultierende Fliehkraft eine resultierende Masse als Ursache angesehen werden. Der Betrag dieser Masse multipliziert mit dem radialen Abstand zur Schaftachse wird als Unwucht bezeichnet. Als Einheit wird oft gmm (Gramm Millimeter) verwendet. In die Unwucht fließt jedoch auch die Richtung des Radius' ein, in den die Unwucht wirkt. Somit wird die Unwucht durch einen Betrag (Masse · radialer Abstand) und eine Richtung charakterisiert. Diese Kombination wird in der Mathematik als Vektor bezeichnet. Daher zeigt VM-BAL das Messergebnis immer vektoriell in sogenannten Polarkoordinaten an: Betrag und Winkelposition der Unwucht.

**Unwuchtarten** Die folgenden Unwuchtarten werden unterschieden:

**Statische Unwucht** tritt auf, wenn die Rotorachse und die Masseachse nicht deckungsgleich sind und wenn beide Achsen parallel zueinander liegen. Dieser Fall wird auch als **Einebenen-Unwucht** bezeichnet. Die folgende Abbildung zeigt die Größe und Richtung der entstehenden Unwuchtkräfte. Die Krafteinwirkung auf beide Lager ist gleich.

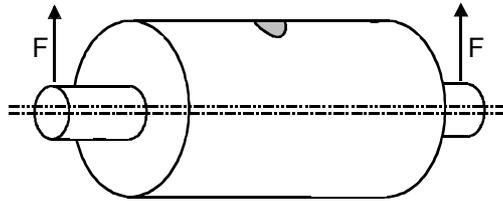


Bild 3: Statische Unwucht

**Momentenunwucht** tritt in Erscheinung, wenn die Rotorachse und die Masseachse nicht deckungsgleich sind und wenn beide Achsen sich im Masseschwerpunkt schneiden. Die entstehende Krafteinwirkung auf die Lager ist betragsmäßig gleich und richtungsmäßig um  $180^\circ$  verschieden.

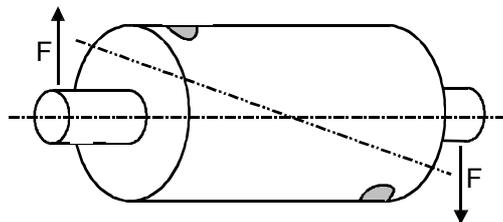


Bild 4: Momentenunwucht

**Dynamische Unwucht** nennt man den Fall, wenn die Rotorachse und die Masseachse nicht deckungsgleich sind und wenn beide Achsen sich außerhalb des Masseschwerpunkts schneiden. Man nennt diesen Fall auch Zweiebenen-Unwucht. Dynamische Unwucht ist eine Kombination aus statischer und Momentenunwucht.

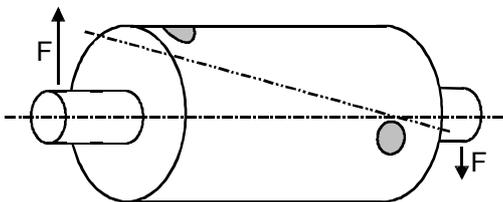


Bild 5: Dynamische Unwucht

Bei scheibenförmigen Rotoren kann der Anteil der Momentenunwucht meist vernachlässigt werden, hier genügt ein statisches Auswuchten. Alle anderen Rotoren sind vorzugsweise dynamisch auszuwuchten. VM-BAL kann sowohl statische Unwuchten als auch die Kombination aus statischer und Momentenunwucht, die dynamische Unwucht, beseitigen.

- Messverfahren**
- Die Messung mit VM-BAL ist eine Relativmessung.
  - Zuerst werden die durch die Unwucht verursachten Schwingungssignale des Rotors im Betriebszustand aufgezeichnet. Dieser Messlauf wird als Urunwuchtlauf bezeichnet.
  - Dann wird an einer Seite des Rotors eine bekannte Unwucht erzeugt. Dies geschieht durch das Anbringen einer Masse, deren Betrag und Anbringungswinkel bekannt sind. Dieser Messlauf wird Kalibrierlauf genannt.
  - Bei einer Messung in 2 Ebenen wird die bekannte Unwucht anschließend an der anderen Rotorseite erzeugt.

Aus dem Vergleich der Messsignale ohne zusätzliche Unwucht und mit Kalibriermassen errechnet VM-BAL die ursprünglich vorhandene Unwucht.

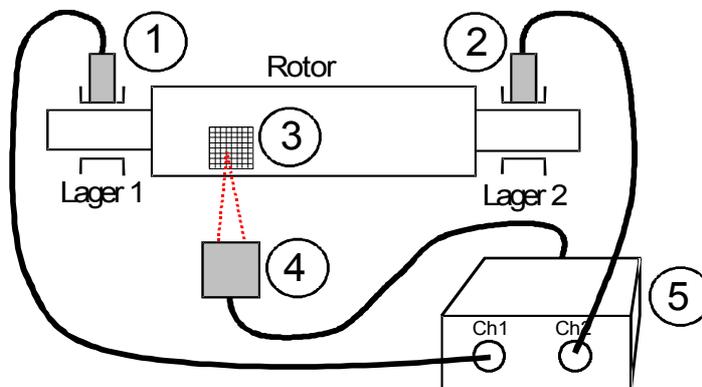
Das Messverfahren geht von einem linearen und phasentreuen Schwingungssystem aus.

- Linear bedeutet z.B.: Ein doppelter Schwingungsbetrag entspricht doppeltem Unwuchtbetrag.
- Phasentreue ist z.B.: Die Verlagerung der Kalibriermasse um 90° zieht auch eine Verlagerung im Schwingungssignal um 90° nach sich.

Leider ist dies bei den wenigsten Anordnungen der Fall, weil die betriebsmäßige Lagerung nicht so deutlich das Resonanzgebiet meidet oder auch Dämpfungen auftreten können. Beide Effekte verursachen nichtlineare Zusammenhänge zwischen Schwingungsgrößen und Unwucht. Wenn also nicht gleich nach dem ersten Ausgleich die Unwucht verschwindet, dann ist dies kein Fehler in der Messtechnik, sondern liegt in der Natur der Sache. In diesem Fall ist ein schrittweises Vorgehen mit wiederholtem Kalibrieren notwendig.

**Messanordnung** Die Unwucht wird nicht direkt gemessen. Gemessen werden die Auswirkungen der Unwucht, d.h. die verursachten Schwingungen. Dafür werden die Schwingungssensoren verwendet, welche am M302 angeschlossen werden. Diese werden vorzugsweise am Lagergehäuse oder wenigstens in der Nähe der Lagerebenen angebracht, wo die verursachten Schwingungen am besten abgegriffen werden können. Für das statische Messverfahren wird ein Schwingungssensor benötigt, für das dynamische Messverfahren zwei.

Neben dem Betrag der Schwingungen muss auch die Position des Schwingungswerte innerhalb einer Umdrehung zugeordnet werden. Dazu dient eine Reflexlichtschranke, welche ebenfalls direkt am M302 angeschlossen wird. Sie kann mit einem passenden Messstativ günstig positioniert werden. Die Reflexmarke wird auf den Rotor geklebt.



- 1: Beschleunigungsaufnehmer an Lager 1
- 2: Beschleunigungsaufnehmer an Lager 2
- 3: Reflexmarke
- 4: Reflexlichtschranke
- 5: M302

Bild 6: Auswuchtanordnung



**Beseitigung einer Unwucht** Die Unwuchtbeseitigung wird als Ausgleich bezeichnet. Ziel eines Ausgleichs ist es, die Masseverteilung wieder so einzustellen, dass es keine resultierenden Fliehkräfte mehr gibt. Das kann prinzipiell durch zwei Methoden geschehen:

- Entfernen von Masse an der Unwuchtposition
- Zufügen von Masse gegenüber der Unwuchtposition

Technisch wird das Entfernen von Masse z.B. durch Bohren oder Fräsen realisiert. VM-BAL berechnet bei gegebenen Werkzeug- und Rotordaten die dafür nötige Bearbeitungstiefe.

Das Zufügen von Masse kann durch verschiedene Befestigungsverfahren erreicht werden, wie z.B. Schrauben, Kleben oder Schweißen. Entscheidend ist, dass ein sicherer Halt für die zugefügte Masse auch während der Rotation im Betriebszustand gegeben ist.

Für die Positionsänderung von beweglichen Massen werden z.B. Drehringe oder Stellschrauben verwendet. Mit der Positionsänderung einher geht eine Veränderung der Masseverteilung, was Zufügen von Masse gegenüber der Unwuchtposition als auch Entfernen von Masse an der Unwuchtposition bedeuten kann. Drehringe verlagern die Winkelposition definierter Unwuchten, der Radius bleibt konstant. Stellschrauben halten dagegen den Winkel konstant und ändern den radialen Abstand von festen Massen. VM-BAL berechnet für beide Ausgleichsmethoden die notwendigen Einstellgrößen.

**Wann ist eine Unwucht ausgeglichen?** Das hängt von den selbst gesteckten Zielen ab. Manchmal wird eine maximale Unwucht als Toleranz definiert, die es zu unterschreiten gilt. Manchmal wird auch die Auswirkung von Unwuchten, d.h. die verursachte Schwingung als Erfolgskriterium angesehen. Viele Hersteller definieren z.B. maximale Schwingstärken für ihre Anlagen nach DIN ISO 10816-1. Dort wird die Schwinggeschwindigkeit als Effektivwert im Frequenzbereich von 10..1000 Hz als Kriterium angesehen. Dieser Wert lässt sich leicht mit dem Instrument VM-Meter überprüfen.

Nun ist eine Unwucht am Rotor eine Ursache für Schwingungen, jedoch nicht die alleinige. Jedes Schwingungssignal kann in einzelne Frequenzbänder zerlegt werden. Verantwortlich für die Unwucht ist allein der Frequenzanteil, der bei Drehfrequenz auftritt. Das Verschwinden dieses Frequenzanteils kann mit einem schmalbandig eingestellten VM-Meter überprüft werden. Wenn darüber hinaus noch analysiert werden soll, aus welchen anderen Frequenzanteilen sich das Spektrum zusammensetzt, wird vorzugsweise der VM-FFT eingesetzt. Dieser bildet alle Frequenzanteile grafisch ab.

**Tips für die Auswuchtpraxis**

- Die Messebenen sollten möglichst nahe den Lagerebenen liegen.
- Bei allen Messläufen ist die gleiche Drehzahl zu verwenden.
- Die Messanordnung muss bei allen Messläufen gleich bleiben, d.h. die Sensoren oder die Reflexfolie dürfen nicht versetzt werden.
- Wenn für die Position der Kalibriermasse 0° angegeben werden, kann diese Position gleich als Nullposition markiert werden, von der aus alle Winkel zu zählen sind.
- Die in VM-BAL angegebenen Winkel sind am Rotor immer entgegen seiner Drehrichtung zu zählen.
- Es kann ein schrittweises Vorgehen mit wiederholtem Kalibrieren notwendig sein.

- Mit VM-FFT oder auch VM-Meter kann überprüft werden, ob das Gesamtschwingungsverhalten durch eine Unwucht oder durch andere Effekte bestimmt wird.

## Beispielablauf eines einfachen Auswuchtvorganges

In diesem Beispiel wird ein länglicher Rotor in 2 Ebenen ausgewuchtet. Er besitzt einen Durchmesser von 350 mm. Die Kalibrier- und Ausgleichmassen werden jedoch an einem Durchmesser von 300 mm angebracht. Die tolerierte Unwucht beträgt 150 gmm. Der Ausgleich erfolgt über Gegenmassen, die auf der gegenüberliegenden Seite der Unwucht angesetzt werden. Ein Ausgleich ist auf dem gesamten Umfang des Rotors möglich.

### Vorbereitungen

- Schließen Sie 2 Schwingungssensoren und die Reflexionslichtschranke VM-PS an den M302 an.
- Teilen Sie dem VibroMetra die Verbindung der Schwingungssensoren mit, indem Sie den Sensor mit dem Messkanal verknüpfen.
- Es empfiehlt sich, den Messkanälen individuelle Beschreibungen zuzuweisen, wie z.B. *Ebene A / Ebene B* oder *Antriebsseite / Lagerseite*.
- Bauen Sie die Messanordnung auf.
- Starten Sie VM-BAL.

### Eingaben für ersten Lauf (Messung der Unwucht)

- Die passenden Messkanäle wurden von VM-BAL automatisch eingestellt. Falls Sie nicht mehrere M302 parallel betreiben, brauchen hier keine Einstellungen vorgenommen zu werden.



☞ Normalerweise arbeitet VM-BAL nur in einen Messbereich. In besonderen Fällen, z.B. bei Vorhandensein starker externer Vibrationen, kann es jedoch vorübergehend zu Übersteuerung kommen. Wenn die Verstärkung auf *Auto* eingestellt ist, führt dies zu einem Wechsel des Verstärkungsbereiches. Das muss verhindert werden, da ein Verstärkungswechsel das Auswuchtergebnis ungültig macht. Beobachten Sie daher während des Auswuchtvorgangs die Verstärkungsanzeige. Sollte sich der Verstärkungsbereich ändern, wählen Sie eine der festen Verstärkungen 1 / 10 / 100 / 1000.

- In der Pro Version folgt als nächste Einstellfläche die Liste mit Rotordaten. Diese kann im Moment unberücksichtigt bleiben, Sie fahren mit den Einstellungen zur Messung fort.
- Stellen Sie gemäß Messaufgabe die *Messmethode* auf 2 Ebenen ein. Damit wird sowohl die statische als auch die dynamische Unwucht beseitigt.
- Als *Messgröße* verwenden Sie die Unwucht in gmm, weil die Toleranzangabe in der Messaufgabe ebenfalls in dieser *Einheit* angegeben wurde.
- Sie wollen einen Messlauf mit möglichst konstanter Drehzahl erreichen, daher definieren Sie

die *minimale Laufruhe* auf 98%.

- Die geforderte Laufruhe soll mindestens 3 Sekunden anstehen, damit sich die automatische Verstärkungseinstellung optimal anpassen kann (*Minimale Laufruhedauer* = 3 sec).
- Für ein genaues Ergebnis verwenden Sie 100 *Umdrehungen für den Messlauf*.
- Sollte nach der Berechnung der Ausgleichmaßnahmen sich rechnerisch eine *Restunwucht* ergeben, die mehr als 5% der gemessenen Unwucht beträgt, wollen Sie eine Warnmeldung erhalten. Dies kann bei der gewählten Ausgleichmethode durch Gegenmasse praktisch nur dann eintreten, wenn die Unwucht größer ist, als wir mit der maximal anbringbaren Gegenmasse ausgleichen können.

Signal	Rotorliste	Messung	Rotor	Kalibrierung	Offsets	Unwuchtausgleich
Messmethode		2 Ebenen (dynamisch)		Minimale Laufruhe [%]	98	
Messgröße (auch für Eingaben)		Unwucht (Masse x Radius)		Minimale Laufruhedauer [s]	3	
Einheit		gmm		Umdrehungen für Messlauf	100	
				Meldung bei Restunwucht ab [%]	5	

- Wechseln Sie zu den Rotoreinstellungen.
- Als *Toleranz* geben Sie die geforderten 150 gmm ein.
- Der *Durchmesser* beträgt laut Messaufgabe 300 mm. Als Durchmesser muss hier unbedingt der *Wert* angegeben werden, auf dem die Kalibriermassen sitzen werden und bei dem der Ausgleich vorgenommen werden wird. Das kann der eigentliche Rotordurchmesser sein, muss es aber nicht.
- Die *Materialdichte* ist an dieser Stelle nicht interessant, weil Sie keinen Ausgleich durch abtragende Verfahren, wie Bohren oder Fräsen vornehmen.
- *Festorte* sind keine vorhanden, Sie können bei jedem beliebigen Winkel auf dem Rotorumfang ausgleichen.

Signal	Rotorliste	Messung	Rotor	Kalibrierung	Offsets	Unwuchtausgleich
Toleranz [gmm]		10.0		Toleranz [gmm]	10.0	
Durchmesser [mm]		300.0		Durchmesser [mm]	300.0	
Materialdichte [kg/m³]		7800		Materialdichte [kg/m³]	7800	
<input checked="" type="checkbox"/> Gleichmäßige Festortverteilung				<input checked="" type="checkbox"/> Gleichmäßige Festortverteilung		
Anzahl Festorte		0		Anzahl Festorte	0	
Startwinkel [°]		0		Startwinkel [°]	0	

## Messung der Urunwucht

- Nun können Sie VM-BAL einschalten.
- Das Statusfenster empfängt Sie mit Anweisungen für die nächsten Schritte.
- Falls von einem vorherigen Messvorgang noch Kalibriermassen vorhanden sind, werden diese entfernt. Danach ist das Messobjekt in Rotation zu versetzen.

**Messung der Urunwucht**

- Alle Kalibriermassen entfernen.
- Rotation starten.

- Sobald die Rotation startet, erfasst die Reflexionslichtschranke die vorbei rotierende Reflex-

ionsmarke. Die Reflexionslichtschranke hat eine Kontrollleuchte, welche aufleuchtet, wenn die Reflexionsmarke gerade erfasst wird. Somit sollte die Kontrollleuchte nun mit Drehfrequenz blinken.

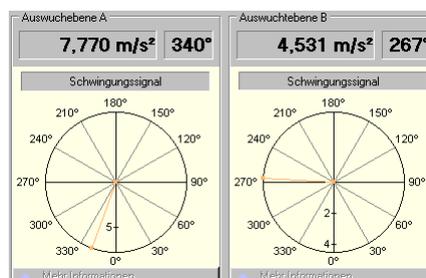
- VM-BAL erkennt automatisch den Beginn der Messung. Beim Hochlauf informiert Sie das Statusfenster über die aktuell gemessene Drehzahl und die erreichte Drehzahlstabilität. Die angezeigte Drehzahl dient dem Kontrollvergleich mit der erwarteten Drehzahl des Rotors. Wenn gemessene und im Antrieb vorgegebene Drehzahl nicht übereinstimmen, dann gibt es Probleme mit der Drehzahlerfassung durch die Reflexionslichtschranke. Die Positionierung von Reflexionslichtschranke und Reflexionsmarke ist zu überprüfen.

```
Messung der Unwucht
— Hochlauf —
Drehzahl: 1212 1/min
Leufruhe: 67 %
```

- Sobald die Drehzahl stabil ist, wechselt VM-BAL automatisch in den Messmodus. Er teilt nun zusätzlich den Fortschritt der Messung mit.

```
Messung der Unwucht
— Messung —
Umdrehungen: 43
Drehzahl: 1207 1/min
Leufruhe: 99 %
```

- Der erfahrene Auswucher beobachtet während der Messung auch die gemessenen Schwingungswerte in der numerischen oder der grafischen Anzeige. Wenn sich die Messwerte als bald stabilisieren und sich zum Schluss kaum noch ändern, kann von einer erfolgreichen Messung einer signifikanten Unwucht ausgegangen werden. Wechselt der Auswuchtzeiger jedoch abrupt seine Position, dann können Messprobleme aufgrund zu geringer Unwucht oder ungünstiger Positionierung der Sensoren vorhanden sein.



- Wurden die zur Messung erforderlichen Umdrehungen absolviert, signalisiert VM-BAL, dass die Messung beendet werden soll. Der Rotor ist nun auf Stillstand abzubremsen.

```
Messung der Unwucht
— Abbremsen —
Die erforderlichen 100 Umdrehungen wurden eingelesen.
Rotation beenden.
Drehzahl: 1202 1/min
```

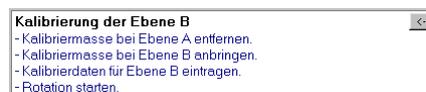
**Zweiter Lauf  
(Kalibrierung  
Ebene A)**

- Wenn der Stillstand erkannt wurde, gibt das Statusfenster die Anweisungen für den nächsten Schritt aus.
- Wechseln Sie in die Kalibriereinstellungen.



- Die Wahl der *Kalibriermasse* setzt eine gewisse Erfahrung voraus. Ihr Maß sollte eine Unwucht hervorrufen, die eine signifikante Änderung der Schwingungswerte gegenüber der Ur-unwuchtmessung zur Folge hat, aber auch keine Änderung in Größenordnungen. Optimal wäre in etwa eine Verdopplung. Aber auch Erhöhungen um ein Drittel bis zu Faktor 5 sind annehmbar. Orientieren Sie sich, wenn keine Erfahrungen vorliegen, zunächst an der vorgegebenen Toleranz. In unserem Fall beträgt sie 150 gmm. Die tolerierte Masse, die auf dem Auswuchtdurchmesser sitzen kann, beträgt also  $150 \text{ gmm} / (300 \text{ mm} / 2) = 1 \text{ Gramm}$ . Wir verwenden im ersten Durchgang eine Kalibriermasse von 5 Gramm, um in der erwarteten Größenordnung zu bleiben.
- Als *Position* ist eine Angabe von  $0^\circ$  günstig. In diesem Fall beziehen sich alle Winkel auf die Position der angebrachten Kalibriermasse. Wenn eine andere Nullposition gewählt werden soll, dann muss die Winkeldifferenz zwischen Kalibriermasse und Nullposition angegeben werden. Von der gewünschten Nullposition ist dabei entgegen der Drehrichtung zu zählen, bis die Position der Kalibriermasse erreicht ist.
- Die Position der Reflexionsmarke spielt keine Rolle. Diese Position braucht nicht berücksichtigt zu werden. Relevant ist nur die Position der Kalibriermasse. Allerdings darf die Position der Reflexionsmarke während des gesamten Auswuchtvorgangs nicht verändert werden.
- Wenn die Daten eingegeben wurden und die Kalibriermasse sicher befestigt wurde, kann die Rotation gestartet werden. Die automatische Erkennung und der Messablauf funktionieren wieder, wie in *Messung der Unwucht* beschrieben worden ist.
- Wenn der Stillstand erkannt wurde, gibt das Statusfenster die Anweisungen für den nächsten Schritt aus.

### Dritter Lauf (Kalibrierung Ebene B)



- Entfernen Sie also die Kalibriermasse an der ersten Ebene, setzen Sie diese an der zweiten Ebene an und führen Sie die übrigen Schritte wie bei der Kalibrierung der Ebene A durch.

**Auswertung** Nach dem Kalibrieren der Ebene B errechnet VM-BAL sofort die tatsächliche Unwucht sowie Betrag und Position der Gegenmasse, die für einen Ausgleich der Unwucht notwendig ist. Betrag und Position der Unwucht werden sofort angezeigt.

Der grüne Toleranzkreis markiert die tolerierte Unwucht von 150 gmm. Der rote Unwuchtzeiger signalisiert die Überschreitung des Toleranzkreises und zeigt maßstabsgerecht Betrag und Position der Unwucht an.





Um die Ausgleichdaten abzulesen, ist in das Einstellfeld *Ausgleich* zu wechseln. In der Grafik wird nun neben der Unwucht auch der Ausgleich eingeblendet. Die Position wird mit einem hellblauen Punkt markiert.



Ein blaues Textfeld informiert numerisch über die Auswuchtmaßnahmen. Ihnen stehen bis zu 6 Ausgleichmethoden zur Verfügung.

Wählen Sie die Methode *Gegenmasse*. Das blaue Textfeld zeigt nun den Betrag der Ausgleichmasse, den Durchmesser für die Anbringung und die Winkelposition der Ausgleichmasse.

Bei einem Auswuchten in 2 Ebenen muss der Ausgleich immer für beide Ebenen durchgeführt werden, da die Ausgleichmaßnahmen einander ergänzen. Wird nur eine Seite ausgeglichen, kann nicht damit gerechnet werden, dass nur an dieser Seite die Unwucht verschwindet und an der anderen nicht. Vielmehr wird es so sein, dass an beiden Seiten die Unwucht nicht optimal beseitigt wird.



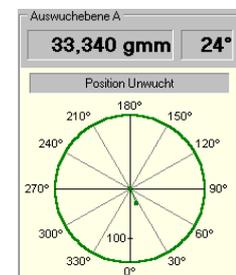
Ein häufiger Fehler ist es, beim Ausgleich das Abnehmen der Kalibriermasse vom letzten Kalibrierverlauf zu vergessen. Dies muss aber zwingend durchgeführt werden. Das Statusfenster gibt daher eine entsprechende Anweisung heraus.



## Testlauf

Nach dem Ausgleich wird ein Kontrolllauf durchgeführt. Dieser soll die Wirksamkeit der Ausgleichmaßnahmen bestätigen. Es sollte sich hierbei eine signifikant verringerte Unwucht einstellen, welche die Toleranzvorgaben einhält.

Aufgrund der in der Praxis vorkommenden Nichtlinearitäten im Aufbau wird sich bei der Kontrollmessung keine Unwucht von 0 gmm einstellen. Wichtig ist, dass die Unwucht innerhalb der Toleranz bleibt. Wenn das bei der Kontrollmessung nicht der Fall ist, dann sollte die Prozedur mit Unwuchtmessung und Kalibrierung wiederholt werden. Da sich aufgrund des ersten Ausgleichs die Unwucht bereits verringert hat, sollten auch verringerte Kalibriermassen eingesetzt werden.



## Wie VM-BAL den Ausgleich berechnet und optimiert

Nach der Berechnung der Unwucht wird sofort die Berechnung der Ausgleichsmaßnahmen durchgeführt. Der Ausgleich kann mit 6 unterschiedlichen Methoden realisiert werden. Der Ablauf ist wie folgt:

- Zuerst werden die vorgegebenen Parameter für den Ausgleich auf Plausibilität überprüft. Die maximale Bohrtiefe darf z.B. nicht größer als der Radius des Rotors sein. Werden unplausible Werte erkannt, erfolgt eine Information darüber, welche Unplausibilität aufgetreten ist. Dazu wird die Taste zum Einblenden erweiterter Informationen aktiviert.
- Danach unterscheidet sich die Berechnung dadurch, ob der Ausgleich an einer beliebigen Position stattfinden darf oder Festorte vorgegeben wurden. In jedem Fall wird bei der Berechnung des Ausgleichs überprüft werden, ob die Anwendung des maximal möglichen Ausgleichs die Unwucht tatsächlich beseitigen wird. Wenn die Unwucht so groß ist, dass sie trotz Anwendung maximaler Ausgleichsmaßnahmen rechnerisch nicht beseitigt werden kann, dann wird ebenfalls die Taste zum Einblenden erweiterter Informationen aktiviert.

**Ausgleich an** Merkmale:

- beliebigen Positionen**
- Die Anzahl der Festorte ist kleiner als 4.

VM-BAL errechnet den Einstellparameter für die gewählte Ausgleichsmethode innerhalb der vorgegebenen Eingabeparameter.

**Einheitlicher** Merkmale:

- Ausgleich auf Festorten**
- Die Anzahl der Festorte ist größer als 3.
  - Im Ausgleichsbereich ist die Option *Festorte unterschiedlich ausgleichen* deaktiviert.

Für Ausgleichsmethoden mit stufenloser Einstellbarkeit (Gegenmasse, Bohren, Fräsen, Stellschrauben) optimiert VM-BAL den Ausgleich so, dass an möglichst wenig Festorten Ausgleichsmaßnahmen durchgeführt werden müssen.

Die Ausgleichsmethoden Masseliste und Drehringe lassen keine stufenloser Einstellbarkeit zu. Hier optimiert VM-BAL den Ausgleich so, dass die Unwucht möglichst zu 100 % ausgeglichen wird und damit die zulässige Restunwucht unterschritten wird.

**Individueller** Merkmale:

- Ausgleich auf Festorten**
- Nur in Pro Version verfügbar.
  - Die Anzahl der Festorte ist größer als 3.
  - Im Ausgleichsbereich ist die Option *Festorte unterschiedlich ausgleichen* aktiviert.

Beim Einsatz von unterschiedlichen Ausgleichsmethoden betrachtet VM-BAL jede Methode einzeln. Die Reihenfolge der Anwendung von Ausgleichsmethoden ist fest vorgegeben und so optimiert, dass zuerst die Methoden untersucht werden, die einen schnellen Ausgleich erlauben. Dies sind allerdings auch die Methoden, die keinen stufenlosen Ausgleich zulassen.



- |                   |  |
|-------------------|--|
| 1. Drehringe      | u.U. grobe aber schnelle Einstellbarkeit |
| 2. Masseliste     |  |
| 3. Stellschrauben |  |
| 4. Bohren         | ↓  |
| 5. Fräsen         |  |
| 6. Gegenmasse     | feine aber langwierige Einstellbarkeit   |

Damit die Ausgleichmethode für den Ausgleich berücksichtigt wird, muss sich jeweils ein Festort mit dieser Ausgleichmethode links und rechts im wirksamen 90°-Bereich von der Unwucht befinden.

Die Optimierung innerhalb der Ausgleichmethoden wird durchgeführt wie im Abschnitt zuvor erläutert:

- Für Ausgleichmethoden mit stufenloser Einstellbarkeit optimiert VM-BAL auf die Verwendung von möglichst wenig Festorten.
- Für die anderen Ausgleichmethoden optimiert VM-BAL auf die Minimierung der Restunwucht.