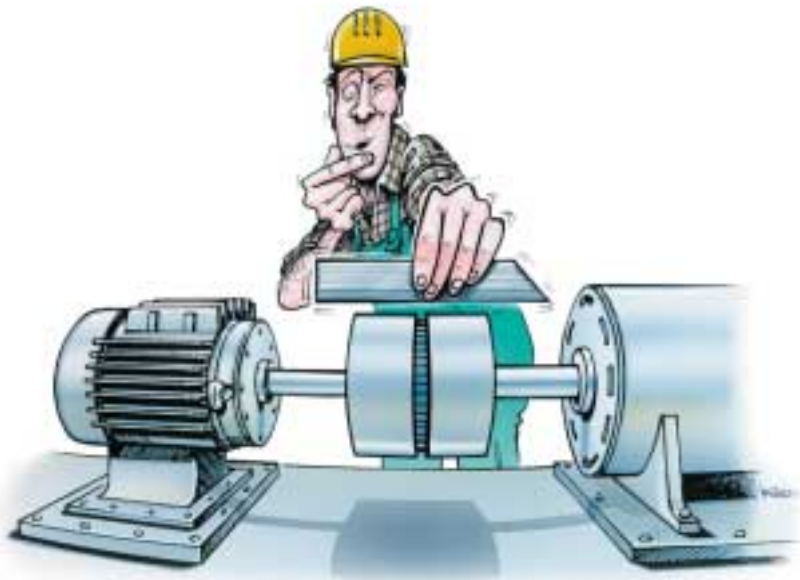


Wellenausrichten leicht gemacht



Inhalt

- 5 Was ist Wellenausrichten?
- 6 Ausrichtgrößen
- 8 Parallelversatz und Winkelversatz
- 10 Fehlausrichtung ausdrücken
- 16 Folgen der Fehlausrichtung
- 20 Gute Ausrichtung = Geld auf dem Konto
- 25 Ausrichtmethoden im Vergleich
- 27 Genauigkeit von Messuhren
- 30 Messuhrausrichten nach dem
Radial-Axial-Verfahren
- 35 Das Doppelradial-Messuhrverfahren
- 38 Wellenausrichten mit dem Laser
- 40 Das OPTALIGN® PLUS System
- 44 Vorbereitungen: Maschinenbeweglichkeit
- 49 Installation der Maschinen:
- 50 Kippfuß
- 52 Ausrichttoleranztabellen
- 55 Thermische Ausdehnung

Dieses Büchlein soll dem interessierten Leser das Thema Wellenausrichten näherbringen und ihn mit einem Grundwissen über die Voraussetzungen und Vorteile einer präzisen Maschinenausrichtung ausstatten.

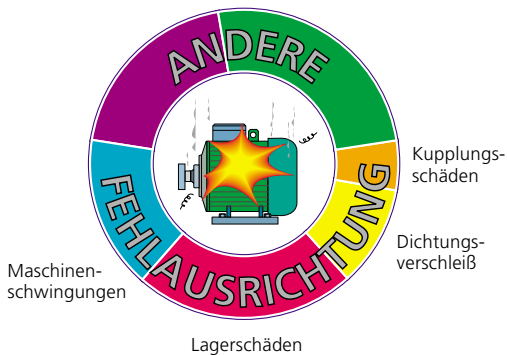
Hier werden einfache Richtlinien zur Einführung einer soliden Ausrichtpraxis, Hintergrundwissen zu Ausrichtmethoden sowie die aktuelle Terminologie erläutert.

Diese Büchlein versteht sich nicht als vollständiges Werk zum Thema Wellenausrichten. Die Leser, die mehr über das richtige Wellenausrichten erfahren möchten, verweisen wir auf die einschlägige Literatur.

Über 50% aller vorzeitig auftretenden Maschinenschäden sind auf eine mangelhafte Ausrichtung zurückzuführen. Dieser Prozentsatz mag denjenigen überhöht vorkommen, die glauben, dass herkömmliche Ausrichtmethoden wie Haarli-

neale, Fühlerleeren oder Messuhren bereits erfolgreich in ihrem Werk eingesetzt werden. Aber die Fehler, die mit solchen Methoden verbunden sind, können zu kostspieligen Maschinenstillstandzeiten führen.

Es ist wahrscheinlich, dass ein Mitarbeiter innerhalb der nächsten Tage in Ihrer Anlage eine Maschine ausrichten wird. Egal, ob die Ausrich-



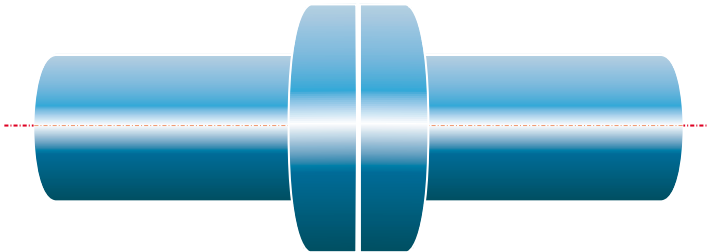
Ursachen von Maschinenschäden

Bestellnummer ALI 9.659D

© Copyright 2002 PRÜFTECHNIK AG; Alle Rechte vorbehalten.

Die Ausrichtung von Wellen wird heute oft visuell oder mittels Haarlineal, Fühlerleeren, Messuhren oder Laser durchgeführt, sie soll eine möglichst hohe Genauigkeit erzielen. Die ungenaue Aufstellung neuer oder neu instandgesetzter Maschinen ist nutzlos. Ersatzkosten für Dichtungen, Lager, Kupplungen und Wellen, dazu der zusätzliche Stromverbrauch und die Produktionsausfälle, die mit einer schlechten Wellenausrichtung einhergehen, können jeden profitablen Betrieb unrentabel werden lassen.

In der heutigen durch Wettbewerb geprägten Wirtschaft werden rotierende Maschinen mit immer höheren Geschwindigkeiten angetrieben und mit erhöhter Last gefahren, während gleichzeitig der moderne Maschinenbau zu leichteren Bauweisen und ausgereizten Konstruktionsreserven tendiert. Dies alles führt dazu, dass Maschinen für die Folgen von Fehlausrichtungen immer anfälliger werden und unterstreicht die Notwendigkeit wirkungsvoller Ausrichtmethoden.



Rotierende Achsen müssen
während des Betriebs kollinear ausgerichtet sein

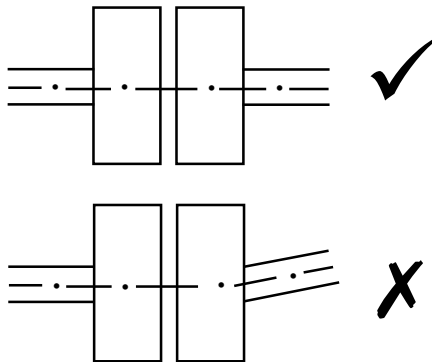
Was ist Wellenausrichten?

Beim Wellenausrichten werden zwei oder mehrere Maschinen (z. B. ein Motor und eine Pumpe) so positioniert, dass die projizierte Mittellinie der Wellen eine gemeinsame Gerade bilden, wenn die Maschinen bei normaler Betriebstemperatur laufen.

Idealerweise sollten sich die Wellen überall dort, wo sie verbunden sind (z. B. an der Kupplung), um eine perfekte lineare Achse drehen, um Rückstellkräfte an der Kupplung und Lagerverschleiß möglichst gering zu halten. (Ausnahme: Bogenzahnkupplungen benötigen für die Schmierung einen gewissen Grad an FehlAusrichtung.)

Um die exakte Position der jeweiligen Drehachsen zu bestimmen, werden beide Wellen während der Messung in die Betriebsrichtung gedreht (oft durch einen Pfeil am Lüfter- oder Pumpengehäuse angezeigt). Diese Vorgehensweise ist anderen Methoden überlegen, in denen die Maschinen mittels Haarlineal oder Fühlerleere ausgerichtet

werden, oder bei denen nur eine Welle gedreht und die Messuhrwerte gleichzeitig an der anderen Kupplungshälfte aufgenommen werden. Wie die folgende Zeichnung verdeutlicht, wirken sich Ungenauigkeiten bei der Bearbeitung und Montage der Kupplung erheblich auf die Messwerte an der Kupplung aus.



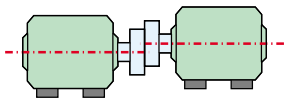
Ausrichtgrößen

Es gibt vier Möglichkeiten, in denen eine Welle vom Idealzustand einer perfekten Ausrichtung abweichen kann.

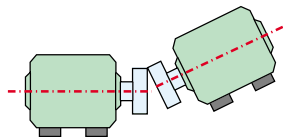
Die vier unabhängigen Ausrichtgrößen sind der **Parallelversatz** und der **Winkelversatz** in der **horizontalen** und **vertikalen** Ebene. In der Regel treten die Größen gleichzeitig in unterschiedlichen Stärken auf. Es ist aber immer möglich, jeden Ausrichtzustand zwischen zwei Wellen exakt als eine Kombination dieser vier Ausrichtgrößen auszudrücken.

Auf den folgenden sechs Seiten finden Sie eine Beschreibung dieser vier Ausrichtgrößen, sowie eine Erklärung der üblichen Terminologie, mit der der Ausrichtzustand beschrieben wird.

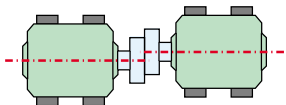
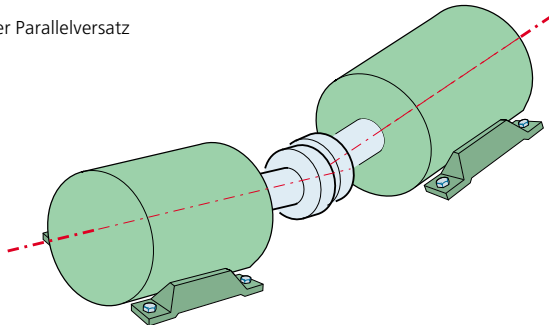
Vier Ausrichtgrößen



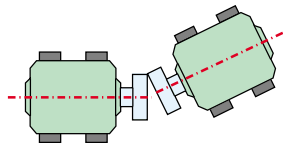
Vertikaler Parallelversatz



Vertikaler Winkelversatz



Horizontaler Parallelversatz

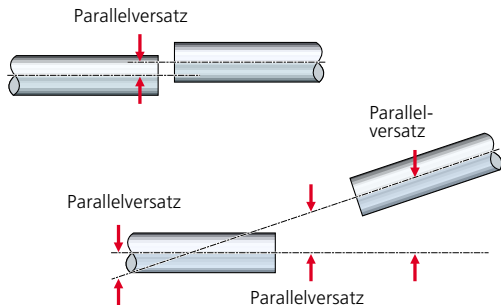


Horizontaler Winkelversatz

Parallelversatz und Winkelversatz

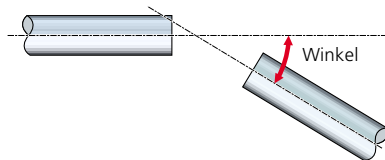
Parallelversatz bedeutet den Abstand zwischen zwei Linien an einem bestimmten Punkt. Genau genommen ist der Versatz der Abstand zwischen zwei Linien in einer bestimmten Ebene und hat mit 'parallel' nichts zu tun. Hier verwenden wir jedoch den Ausdruck Parallelversatz, um ihn vom Winkelversatz zu unterscheiden.

Darüberhinaus bezieht sich der Parallelversatz in der Ausrichtung auf die Differenz bzw. den Abstand zweier Mittellinien.

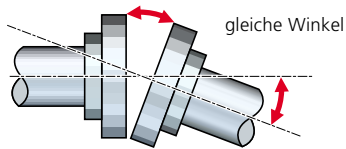


Wie die Zeichnung verdeutlicht, hängt der gemessene Versatz davon ab, wo der Abstand zwischen zwei Wellenmittellinien gemessen wird. Üblicherweise wird der Versatz an der Kupplungsmittelpunkt gemessen.

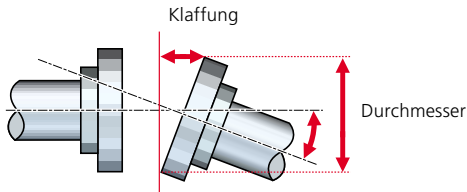
Winkelversatz ist der Winkel zwischen zwei Mittellinien. Generell wird die linke Welle horizontal dargestellt (stationäre Maschine).



Der Winkel hat immer den gleichen Wert, egal, ob er an den Kupplungsflächen (Stirnfläche oder Mantelfläche) oder an den Wellenmittellinien gemessen wird.

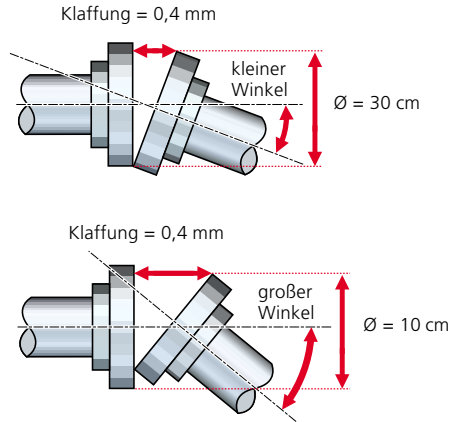


Normalerweise wird der Winkel als Klaffung pro Durchmesser ausgedrückt: "Tatsächliche Klaffungsdifferenz (Spaltmaß oben minus Spaltmaß unten)" geteilt durch den "Durchmesser an der Stelle, an der die Klaffungen gemessen wurden".



Die Klaffung an sich ist bedeutungslos. Um damit eine Aussage machen zu können, muss sie in Bezug zum Durchmesser stehen. Der Durchmesser wird korrekterweise als Arbeitsdurchmesser bezeichnet, oft aber auch als Kupplungsdurch-

messer. Der Arbeitsdurchmesser kann einen beliebigen, geeigneten Wert erhalten, allerdings muss die Klaffung entsprechend angegeben werden. Zum Beispiel, eine Klaffung von 0,4 mm bei einem Durchmesser von 30 cm unterscheidet sich grundlegend von einer Klaffung von 0,4 mm bei einem Durchmesser von 10 cm.



Gleiche Klaffung, unterschiedliche Durchmesser

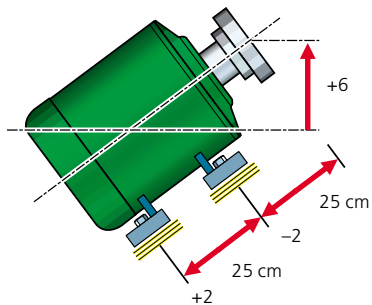
Fehlausrichtung ausdrücken

Herkömmliche Methoden

In der Praxis haben sich mehrere verschiedene Methoden entwickelt, durch die eine Fehlausrichtung beschrieben werden kann. Die folgenden drei Kategorien bzw. Methoden haben sich als problembehaftet bzw. als schwer handhabbar erwiesen.

Messuhrwerte können in den unterschiedlichen Messverfahren nur schwer verglichen werden. Zum Beispiel lassen sich die Messwerte im Radial-Axial-Messverfahren nur schwer mit den Werten aus dem Doppelradialverfahren vergleichen, auch wenn die Abmessungen und Messkreisdurchmesser identisch sind.

Fußkorrekturen sind keine direkte Angabe der Ausrichtung, da nicht die Füße sondern die Mittellinien der rotierenden Wellen ausgerichtet werden. Außerdem sind Konstellationen möglich, in denen die zu bewegende Maschine nur sehr kleine Fußkorrekturen benötigt, jedoch eine erhebliche Fehlausrichtung der Mittellinie aufweist



(s. Abb.). Dadurch ist es sehr schwierig, Toleranzen zu entwickeln, die auf die Füße von Maschinen verschiedener Größen anwendbar sind.

Fehlausrichtungen werden häufig in **handgezeichneten Liniendiagrammen** dargestellt. Sie können schnell gezeichnet werden und ermöglichen es dem Mechaniker, die Fehlausrichtung bildlich zu sehen. Allerdings unterliegen sie einigen Fehlerquellen, darunter Skalierungsfaktoren, Vorzeicheninterpretation, exakte Position der Koordinatenpunkte, Linienstärke und Auflösung. Fazit: handgezeichnete Diagramme sind zwar schnell und einfach zu erstellen, dafür aber äußerst ungenau.

Neue Methode für Standard-Kupplungen

Als 'Standard-Kupplung' bezeichnen wir Kupplungen, bei denen Ausrichterergebnisse an **einer** Ebene als Parallel- und Winkelversätze ausgewiesen werden. Anders z. B. bei Zwischenwellen. Dort werden die Winkelversätze an **zwei** Ebenen ausgewiesen.

Bevor eine sinnvolle Diskussion über Toleranzen und Vorgaben überhaupt möglich ist, muss die Fehlausrichtung zunächst korrekt und vollständig beschrieben werden. Die tatsächliche Fehlausrichtung besteht fast immer aus einer Kombination von Winkelversatz und Parallelversatz. Jede Fehlausrichtung in einer Ebene muss deshalb als x mm Winkelversatz (Klaffung) und y mm Parallelversatz beschrieben werden.

Die Position der Mittellinie einer rotierenden Welle kann vollständig über eine *vertikale* und eine *horizontale* Ansicht dargestellt werden. Diese Ansichten werden auch als Seitenansicht und Draufsicht bezeichnet. In jeder Ansicht kann sowohl der Winkelversatz als auch der Parallelversatz dargestellt werden. Da zwei Ansichten die Position der Welle beschreiben, und da jede Ansicht sowohl Winkelversatz als auch Parallelversatz darstellt, wird die Fehlausrichtung als Kombination von 4 Messgrößen, oder Zahlen beschrieben:

Vertikaler Parallelversatz	(VP)
Horizontaler Parallelversatz	(HP)
Vertikaler Winkelversatz	(VW)
Horizontaler Winkelversatz	(HW)

Jede Ausrichtgröße beschreibt die Position der zu bewegendes Maschine relativ zur stationären Maschine. Dabei gilt die Mittellinie der stationären Maschine als die Nullposition. Auf die vier Größen wird gewöhnlich in Großbuchstaben verwiesen: VP, HP, VW & HW.

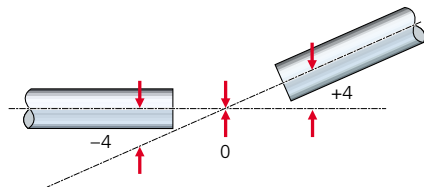
Die Vorzeichenkonvention für positive und negative Werte ist wie folgt:

Die **Drehrichtung** mit oder gegen den Uhrzeigersinn wird mit Blick entlang der Welle von der zu bewegendes Maschine zur stationären Maschine bestimmt.

Bei einem **positiven Parallelversatz** befindet sich die zu bewegendes Maschine im Vergleich zur stationären Maschine höher (vertikal) oder in Richtung 3:00 Uhr (horizontal).

Bei einem **negativen Parallelversatz** befindet sich die zu bewegendes Maschine im Vergleich zur stationären Maschine tiefer (vertikal) oder in Richtung 9:00 Uhr (horizontal).

Das Vorzeichen des **Winkelversatzes** hängt von der Stelle ab, an der die Kupplung klappt. Klafft die Kupplung an der Position 12:00 (0)°, so ist der VW positiv, klafft sie an Position 3:00, so ist der HW positiv. Umgekehrt ist der VW negativ, wenn die Kupplung an Position 6:00 klafft, und der HW ist negativ bei einer Klaffung an Position 9:00.



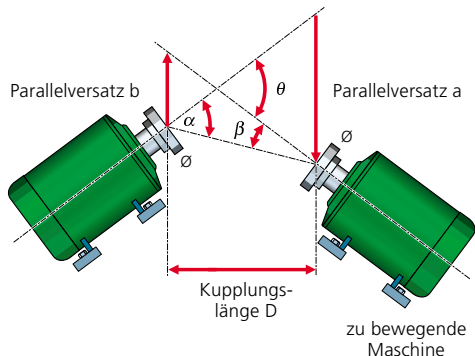
Winkel werden oft in Form von Klaffung pro Durchmesser angegeben. Genau genommen ist die Klaffung der theoretische Abstand zwischen den Klaffungen zweier perfekt bearbeiteter Kupplungsflächen an Punkten, die 180° auseinander liegen. Der Durchmesser ist der Arbeitsdurchmesser, oder der Kupplungsdurchmesser, an dem die Klaffungen gemessen werden.

An zwei gegebenen Wellen, die im Raum fixiert sind, bleibt der vertikale und horizontale Winkelversatz immer konstant, unabhängig davon, wo entlang der Wellen die Messungen gemacht werden. Der vertikale und horizontale Parallelversatz, andererseits, hängt stark von dem Messort ab. Wenn die Messungen an anderer Stelle gemacht werden, ändern sich nur die Parallelversatzwerte. Aufgrund des veränderlichen Charakters des Parallelversatzes (der Wert hängt vom Messort ab), muss bei der Beschreibung der Fehlausrichtung der Messort mit angegeben werden. Zur Vereinfachung der Messungen ist es allgemein üblich, die Fehlausrichtung an der Kupplungsmitte anzugeben.

Die Verwendung der Kupplungsmitte als Messort für die Fehlausrichtung bringt für Standard-Kupplungen einige Vorteile mit sich. Erstens ist die Kupplungsmitte der Ursprungsort von Schwingungen, die aus einer Fehlausrichtung entspringen. Zweitens ist die Kupplungsmitte der effektive Punkt der Kraftübertragung. Drittens ist die Kupplungsmitte ein sichtbarer intuitiver Punkt, der leicht messbar und lokalisierbar ist.

Die Fehlausrichtung kann an der Kupplungsmitte immer vollständig als eine Kombination von VP, HP, VW und HW ausgedrückt werden.

Betrachten Sie die folgende Zeichnung einer Zwischenwelle. Sie sehen verschiedene Methoden, wie der Ausrichtzustand ausgedrückt werden kann. Auf jede dieser Methoden wird nun im Detail eingegangen.



Zeichenerklärung

- \varnothing = Kupplungsdurchmesser
- θ , α & β in mrad (positiv bei einer Klaffung an Position 12:00 Uhr oder 3:00 Uhr)
- Parallelversatz a und Parallelversatz b (positiv, wenn rechte Maschine sich oben links befindet)
- D = Kupplungslänge.

Zwei Winkel: Die Fehlausrichtung kann vollständig über die Winkel zwischen der Zwischenwelle und den beiden Maschinen beschrieben werden. Alpha (α) ist der Winkel zwischen der stationären Maschine und der Zwischenwelle. Beta (β) ist der Winkel zwischen der Zwischenwelle und der zu bewegendem Maschine. Klaffung nach oben ist positiv, nach unten negativ. Die am häufigsten verwendete Einheit ist Millirad.

Parallelversatz und Winkel: Parallelversatz a ist der Abstand zwischen den Maschinenmittellinien an der rechten Kupplung. Parallelversatz b ist gleich αD . Der Winkel Theta (θ) ist der Winkel zwischen der stationären Maschine und der zu bewegendem Maschine. Er ist gleich $\alpha + \beta$. Diese Methode wird häufig für Standard-Kupplungen verwendet und ist auf den vorherigen Seiten beschrieben. Beachten Sie dabei, dass der Wert für *Parallelversatz a* von der Länge D abhängt.

Parallelversatz und Klaffung: Durch Multiplizieren des oben angegebenen Winkels (θ) mit einem Durchmesser, wird der Winkel in die äquivalente Klaffungsdifferenz an der Kupplung konvertiert (d. h. Klaffung = θ Durchmesser). Dabei wird der selbe Parallelversatz a verwendet. Diese Methode wird oft als 'Radial-Axial-Messverfahren' bezeichnet. Sie wird in OPTALIGN® PLUS und anderen Ausrichtsystemen eingesetzt.

Zwei Parallelversätze: Die Fehlausrichtung kann auch als Kombination von Parallelversatz a und Parallelversatz b richtig ausgedrückt werden. Parallelversatz a = αD und Parallelversatz b = βD . Diese Methode wird gelegentlich bei langen Zwischenwellen in der Doppelradial-Messuhrmethode angewandt.

Folgen der Fehlausrichtung

Maschinenschäden

Was passiert, wenn die Ausrichtung zu ungenau ist? Die Fehlausrichtung führt zu einer Überlastung der Maschinen und kann Maschinenschwingungen mit sich bringen. Eine abnormale oder übermäßige Maschinenbelastung führt zu einer erhöhten Belastung der Lager, Dichtungen und Wellen, und reduziert somit ihre Lebensdauer: sogar flexible Kupplungen übertragen die Kräfte einer Fehlausrichtung von den Wellen auf diese Komponenten.

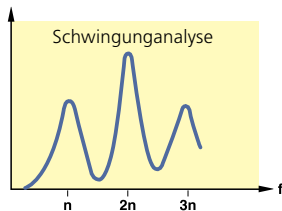
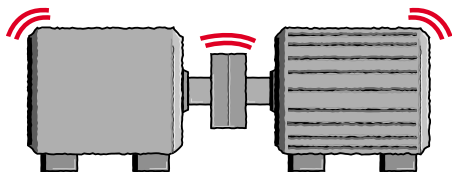
Ausrichttoleranzen von Kupplungen sind stets nur Anhaltspunkte für die Widerstandsfähigkeit der Kupplungen gegen Fehlausrichtungen, nicht jedoch unbedingt der Widerstandsfähigkeit der Komponenten.

Beispielsweise erfordern moderne mechanische Dichtungen eine genaue Installation und Wellenausrichtung. Das Diagramm rechts unten verdeut-

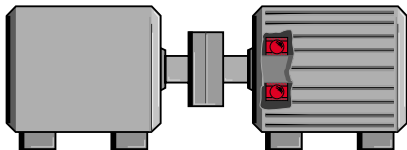
licht, wie bereits eine kleine Fehlausrichtung den Eintritt von Verunreinigungen durch die Dichtung ermöglicht und somit zum vorzeitigen Verschleiß führt. (Das Ersetzen einer Dichtung kann bis zu 60% des Einkaufspreises einer Pumpe betragen.)

Mangelhafte Ausrichtung kann über Schwingungsanalysen qualitativ detektiert werden: in den radialen und axialen Frequenzspektren befinden sich die erhöhten Messwerte oft an der Drehfrequenz oder dem Vielfachen davon. Aus diesem Grund ist es ratsam, die endgültige Ausrichtung mittels einer Schwingungsmessung zu überprüfen.

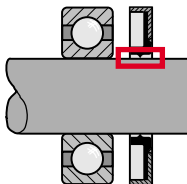
Überhöhte
Schwingungen



Lagerschäden



Dichtungsverschleiß durch
Verbiegen der Welle



Dichtungsring klappt auf, Verunreinigungen, Flüssigkeit und Gas oder Prozessflüssigkeiten treten in das Lager ein, Gas entweicht unter Druck

Erhöhte Kupplungsbelastung

Eine erhöhte Belastung der Kupplung kann durch die Infrarot-Thermographie sichtbar gemacht werden: je heißer das Maschinenteil, umso heller erscheint es im Thermogramm.

Die Thermogramme wurden an einem typischen Prozessaggregat (Motor/Pumpe) aufgenommen, das zunächst mit der üblichen Messuhrmethode (rechts), und dann laseroptisch mittels OPTALIGN® PLUS (links) ausgerichtet wurde. Nach der ersten Methode erwärmte sich nicht nur das flexible Element der Kupplung, sondern auch die Maschinen entwickelten deutlich erhöhte Temperaturen.

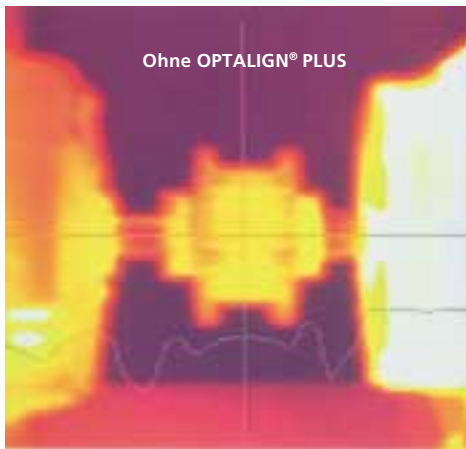
Damit ist die häufig gestellte Frage beantwortet: „Warum muss man sich überhaupt mit einer genauen Ausrichtung abgeben, wenn ohnehin eine flexible Kupplung installiert ist?“ Auch wenn die flexible Kupplung an sich in der Lage ist, die

Auswirkungen einer Fehlerausrichtung der Wellen standzuhalten, werden die Maschinen dennoch einer zusätzlichen Belastung ausgesetzt, was zu vorzeitigem Verschleiß (oder sogar Ausfall) der Lager und Dichtungen führen kann.

Normale
Ansicht der
installierten
Kupplung



Infrarot-Fotos der
thermischen Strahlung



Gute Ausrichtung = Geld auf dem Konto

Eine kürzlich durchgeführte Studie in einem großen Chemiekonzern ergab interessante Ergebnisse bezüglich der potentiellen Einsparungen, die eine gute Ausrichtung von gekuppelten rotierenden Maschinen erbringen könnte. Die geschätzte Leistungsaufnahme der rotierenden Maschinen betrug jährlich zwischen 25 und 30 Megawatt. Über einen Zeitraum von sechs Wochen wurde eine kontrollierte Auswertung der Energieverluste an zunehmend fehlausgerichteten Maschinen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Auswertung sehen Sie auf der Seite 22. Danach wurde auch der Grad der Fehlausrichtung an einem Bestand von 160 Maschinen untersucht. Dabei wurde ein großer Bereich an Fehlausrichtungen aufgezeigt, die hier im Kuchendiagramm dargestellt sind. Aus diesen Daten können wir einen repräsentativen Versatz von 0,35 mm annehmen (d. h. aus der Mitte der am häufigsten auftretenden Gruppe). Im Versatzdiagramm für elastische Bolzenkuppelungen (Seite 22, links oben) sehen wir, dass bei

einer Fehlausrichtung der Energieverbrauch um ungefähr 1,0% ansteigt – oder in anderen Worten, dass Energieersparnisse von rund 0,5% erzielt werden können (noch mehr bei Reifenkuppelungen), wenn die Ausrichtung auf einige Hundertstel Millimeter verbessert wird (mit OPTALIGN® PLUS sehr einfach zu erreichen).

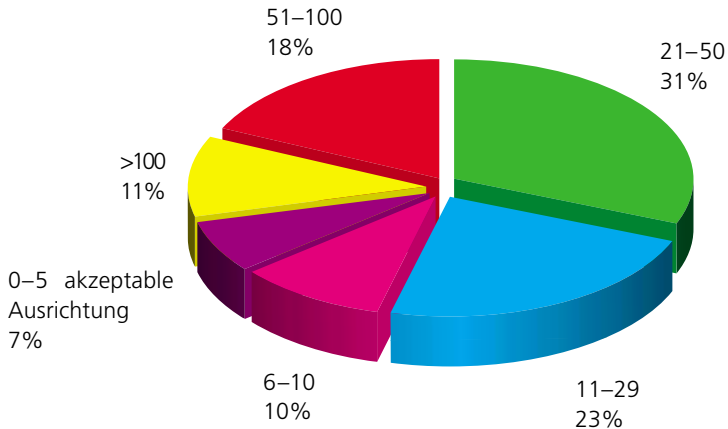
Bei Stromkosten von 10 Cent pro Kilowattstunde beträgt die Gesamtersparnis

$$30.000 \text{ kW} \times 0,5\% \times 0,10 \text{ Cent/kWh} =$$

€15,00 pro Stunde oder

€100.800 pro Jahr

rechnet man mit 280 Tagen à 24 Stunden.

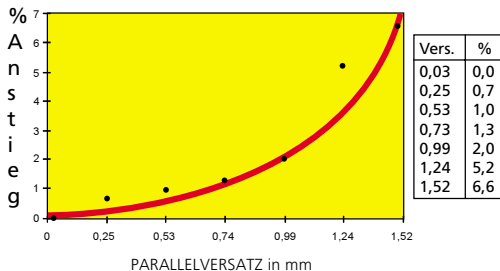


Fehlausrichtung von Wellen in 1/100 mm

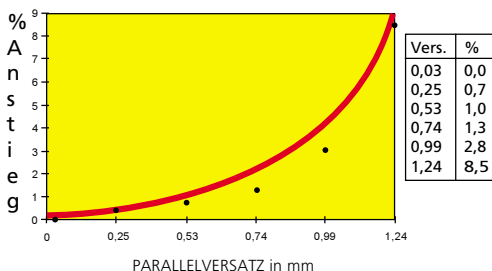
(von 160 nach dem Zufallsprinzip
ausgesuchten Maschinen)

Auswirkungen auf die Leistungsaufnahme

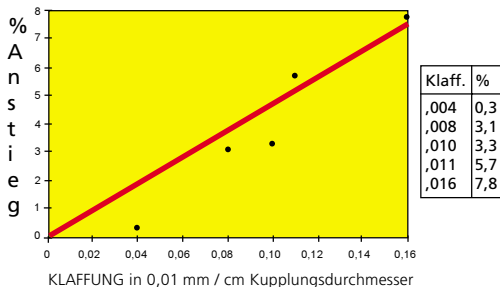
Elastische Bolzenkupplung bei 3000 U/min



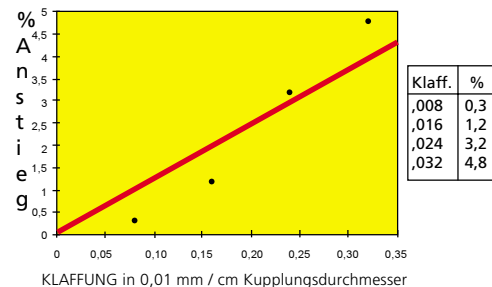
Reifenkupplung bei 3000 U/min



Elastische Bolzenkupplung bei 3000 U/min



Reifenkupplung bei 3000 U/min



Der Dichtungshersteller bestätigt: **50 mal längere Maschinenlebensdauer bei guter Wellenausrichtung**

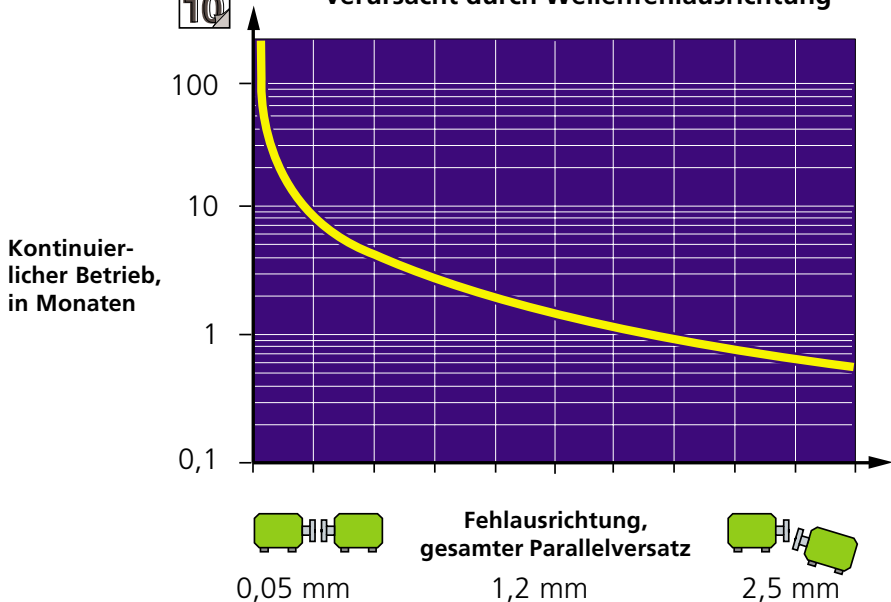
Die Verbesserung der Wellenausrichtung ist eine ausgezeichnete Methode, mit der gegen unvorhersehbare Ausfälle von rotierenden Maschinen vorgebeugt werden kann. Zu diesem Schluss kam auch die INTECH Schulungsabteilung der DURAMETALLIC Sealing Systems Worldwide. Die Abbildung auf Seite 24 verdeutlicht, wie sich bei verbesserter Wellenausrichtung die durchschnittliche Betriebsdauer zwischen zwei aufeinanderfolgenden Maschinenausfällen verlängert. Wird die Maschine mit einem relativ großen Versatz betrieben, so ist zu erwarten, dass sie nur ein paar Monate läuft ehe sie ausfällt.

Wird zum Beispiel der Versatz von 0,5 mm auf 0,05 mm reduziert, so verbessert sich der mittlere Ausfallabstand von 4 auf 200 Monate – um den Faktor 50!

Die Fehlausrichtung von Wellen wird allgemein als die bei weitem häufigste Ursache für Ausfälle bei rotierenden Maschinen anerkannt. Im Falle typischer Maschinenanlagen sind 'flexible' Kupplungen zwischen den Wellen in der Lage bis zu einem gewissen Grad Maschinen am laufen zu halten – und das trotz geringfügiger Fehlausrichtungen, welche im normalen Betrieb auftreten. Übersteigt die Fehlausrichtung jedoch bestimmte Toleranzgrenzen, nehmen Schwingungen und Reibungen zu und führen letztendlich zu vorzeitigem Maschinenausfall und ungeplantem Produktionsstillstand.



Laufzeit bis zum Maschinenausfall verursacht durch Wellenfehlausrichtung



Ausrichtmethoden im Vergleich

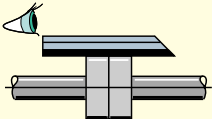
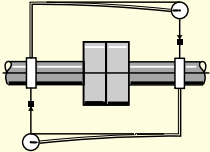
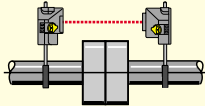





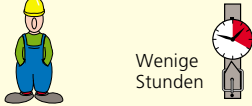
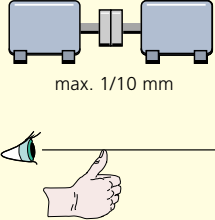
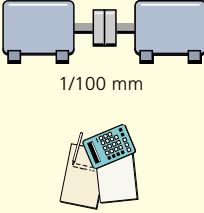
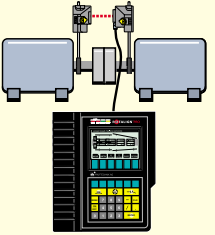
Die verschiedenen Ausrichtmethoden sind im Diagramm auf der nächsten Seite verdeutlicht.

Haarlineal: Das Haarlineal wurde und wird heute noch oft zum Ausrichten verwendet. Da jedoch die Auflösung des menschlichen Auges auf 1/10 mm beschränkt ist, ist die Genauigkeit der Ausrichtung entsprechend begrenzt.

Die Korrekturwerte für die Maschinenfüße werden normalerweise auf Basis der Erfahrungswerte des Maschinenschlossers abgeschätzt, der über gute Kenntnisse der jeweiligen Maschine verfügen muss. Infolgedessen sind wiederholte Ausrichtprozeduren erforderlich, bis die Maschine mehr oder weniger ausgerichtet ist, und auch dann lässt die Genauigkeit der Ergebnisse zu wünschen übrig.

Messuhren: Messuhren stellen bei der Ausrichtung einen erheblichen Fortschritt gegenüber dem Haarlineal dar, da eine Messgenauigkeit von

Ausrichtmethoden im Vergleich

Methode	 <p>Haarlineal</p>	 <p>Messuhr</p>	 <p>ROTALIGN® PRO</p>
Bediener	 <p>Der Zauberkünstler</p>	 <p>Der Fachmann</p>	 <p>Jeder</p>
Nötige Schulung	 <p>Jahrelange Erfahrung</p>	 <p>Wochen</p>	 <p>Wenige Stunden</p>
Auflösung	 <p>max. 1/10 mm</p>	 <p>1/100 mm</p>	 <p>1/1000 mm</p>

1/100 mm, d. h. zehn mal genauer als das Haarlineal erzielen kann. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass der Bediener die notwendige Schulung, Übung und Sorgfalt mitbringt, um die Mechanik zu montieren und die Verfahren sachgemäß durchzuführen. In der Praxis fällt jedoch die Ausrichtung mittels Messuhren in über 90% der Fälle nicht genauer aus als die Ausrichtung mittels Haarlinealen. Berechnungen sind in der Regel kompliziert, weshalb Ingenieure meist iterativ die Maschinen justieren, bis die Messwerte für alle Messstellen Null entsprechen. Dabei werden durchhängendes Messgestänge und eine Vielzahl anderer Fehlerquellen außer Acht gelassen.

Die in der dritten Spalte abgebildeten laseroptischen Ausrichtsysteme haben eine hohe Genauigkeit von $\pm 1/1000$ mm, verzichten auf Mechanik, die durchhängen könnte, bieten Ergebnisse, die keine weitere Interpretation oder Berechnung erfordern, ermöglichen wiederholbare Messwerte, und sind bedienerfreundlich.

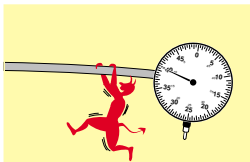
Genauigkeit von Messuhren

Bis laseroptische Ausrichtsysteme auf dem Markt erschienen, waren alleine Messuhren in der Lage, genaue Ausrichtergebnisse zu erzielen. Aufgrund des mechanischen Aufbaus sind sie jedoch empfindlich gegenüber einer Vielzahl von Faktoren, die ihre Genauigkeit beeinträchtigen.

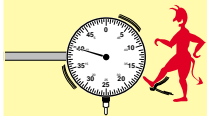
Durchhang der Messuhrenhalterungen: Der Messstangendurchhang sollte immer vor der eigentlichen Ausrichtmessung bestimmt werden – egal wie stabil die Halterungen erscheinen mögen!

Interne Reibung/Hysterese: Gelegentlich muss leicht gegen die Messuhr geklopft werden, damit der Zeiger den exakten Wert anzeigt (der aber unter Umständen nicht der korrekte Wert ist).

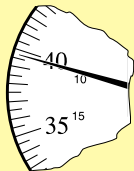
Auflösung von 1/100 mm: Bei jedem Messwert kann beim Auf- bzw. Abrunden ein Fehler von bis zu 0,005 mm entstehen – was zu einem Gesamtfehler von bis zu 0,04 mm führen kann.



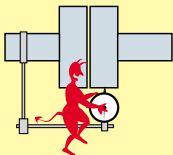
Durchhang des Messgestänges



Interne Reibung/
Hysterese

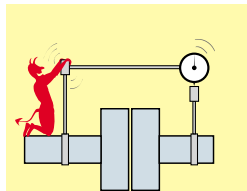


Auflösung 1/100 mm
(Ab- bzw. Aufrundungs-
fehler)

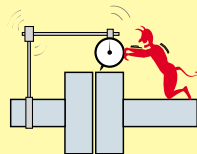


Ablesefehler:

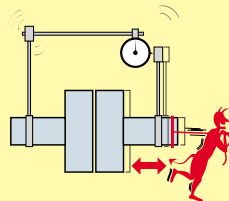
- \pm Vorzeichenfehler
- Parallaxenfehler
- Spiegelverkehrtes Ablesen



Spiel in den
mechanischen
Verbindungen



Schief angebrachte
Messuhr



Axiales Wellenspiel

Ablesefehler: Menschliche Fehler können leicht eintreten, wenn die Anzeigen unter schlechten Bedingungen, wie z. B. schwache Beleuchtung, Platzmangel oder unter Zeitdruck, abgelesen werden müssen. Überdies wird das Ablesen der Anzeigen dadurch erschwert, dass sie oft auf den Kopf gestellt sind oder mit einem Spiegel abgelesen werden müssen, während sie an den verschiedenen Drehpositionen der Welle positioniert werden, die für die Ausrichtmessungen erforderlich sind.

Spiel in den mechanischen Verbindungen: Geringes Spiel, das möglicherweise gar nicht wahrnehmbar ist, kann bereits zu erheblichen Fehlern in den Ergebnissen führen.

Schief angebrachte Messuhr: Ist die Messuhr nicht senkrecht zur Messfläche angebracht, kann ein Teil des Versatzmesswertes verloren gehen.

Axiales Wellenspiel: Die axialen Messwerte am Flansch, die zur Messung des Winkelversatzes aufgenommen werden, können durch Wellenspiel verfälscht werden, es sei denn es werden zwei axialmontierte Messuhren verwendet.

Diese Faktoren steigern den Aufwand und das Fehlerrisiko bei der Arbeit mit Messuhren.

Die folgenden sechs Seiten bieten einen Überblick über die verschiedenen Ausrichtmethoden, die mittels Messuhren durchgeführt werden können, und geben Formeln für die Berechnung von Maschinenkorrekturen.

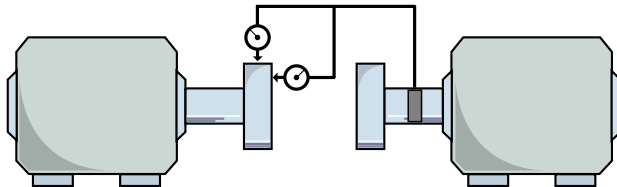
Messuhrenausrichtung nach dem Radial-Axial-Verfahren

Bei dieser Ausrichtmethode wird die Messuhr verwendet. Der Zeiger zeigt auf die Einteilungen, die auf dem Zifferblatt markiert sind. Wenn der Taster in die Messuhr verschoben wird, dreht sich der Zeiger im Uhrzeigersinn. Die Anzahl der Markierungen, an denen sich der Zeiger vorbei bewegt, entspricht der Entfernung, über die der Taster in die Messuhr verschoben wurde. Der Zeiger gibt ebenfalls die Entfernung an, wenn der Taster aus der Messuhr bewegt wird. Üblicherweise ist der Messwert positiv, wenn der Taster nach innen bewegt wird, und negativ, wenn der Taster nach außen bewegt wird.

Montage

Das Radial-Axial-Verfahren hat seinen Namen von der Position der Messurentaster während der Messung. Die folgende Abbildung zeigt den traditionellen Messuhrenaufbau.

Ist die Messuhr montiert, werden die Wellen synchron gedreht und die Messwerte an den Positionen 12:00, 3:00, 6:00 und 9:00 Uhr abgelesen.



Formeln

Für diesen Messuhrenaufbau erhalten Sie mit folgenden Formeln die Versatzwerte:

$$VP = \frac{R6 - R0 - RS}{2} \quad HP = \frac{R9 - R3}{2}$$

$$VW = \frac{A6 - A0 - AS}{\emptyset} \quad HW = \frac{A9 - A3}{\emptyset}$$

Wobei:

R0 = Radial-Messwert an Position 12:00 Uhr

R3 = Radial-Messwert an Position 3:00 Uhr

R6 = Radial-Messwert an Position 6:00 Uhr

R9 = Radial-Messwert an Position 9:00 Uhr

A0 = Axial-Messwert an Position 12:00 Uhr

A3 = Axial-Messwert an Position 3:00 Uhr

A6 = Axial-Messwert an Position 6:00 Uhr

A9 = Axial-Messwert an Position 9:00 Uhr

\emptyset = Durchmesser des Kreises, den der Axial-Messtaster beschreibt
(=Messkreisdurchmesser)

RS = Durchhang der Radial-Messuhr

AS = Durchhang der Axial-Messuhr
(dieser Wert kann ein positives oder negatives Vorzeichen erhalten)

Der Uhrzeigersinn wird mit Blickrichtung entlang der Welle von der zu bewegende Maschine (rechts) zur stationären Maschine (links) bestimmt.

Korrekturwerte für die rechte Maschine:

Unterlegwert (vordere Füße) = (VW x sV) – VP

Unterlegwert (hintere Füße) = (VW x sH) – VP

(Positive Ergebnisse bedeuten, dass Passplatten untergelegt werden müssen. Negative Ergebnisse bedeuten, dass Passplatten entfernt werden müssen.)

Verschiebewert (vordere Füße) = (HW x sV) – HP

Verschiebewert (hintere Füße) = (HW x sH) – HP

(Positiv bedeutet, in Richtung 3:00 Uhr bewegen. Negativ bedeutet, in Richtung 9:00 Uhr bewegen.)

sV = Entfernung der Messuhrebene zu den vorderen Füßen der rechten Maschine

sH = Entfernung der Messuhrebene zu den hinteren Füßen der rechten Maschine

Messuhren an Position 12:00 Uhr

Falls die Messuhren an Position 12:00 auf Null eingestellt und dann an Position 6:00 abgelesen werden, werden die Unterlegwerte folgendermaßen berechnet:

$$\text{Unterlegwert (vord. FüÙe)} = \frac{(A6-AS)sV}{\emptyset} - \frac{(R6-RS)}{2}$$

$$\text{Unterlegwert (hint. FüÙe)} = \frac{(A6-AS)sH}{\emptyset} - \frac{(R6-RS)}{2}$$

(Positive Ergebnisse bedeuten, dass Passplatten untergelegt werden müssen. Negative Ergebnisse bedeuten, dass Passplatten entfernt werden müssen.)

Messuhren an Position 3:00 Uhr

Falls die Messuhren an Position 3:00 Uhr auf Null eingestellt und dann an Position 9:00 Uhr abgelesen werden, werden die Verschiebewerte folgendermaßen berechnet:

$$\text{Verschiebewerte (vord. FüÙe)} = \frac{(A9 \times sV)}{\emptyset} - \frac{R9}{2}$$

$$\text{Verschiebewerte (hint. FüÙe)} = \frac{(A9 \times sH)}{\emptyset} - \frac{R9}{2}$$

(Positiv bedeutet, in Richtung 3:00 Uhr bewegen. Negativ bedeutet, in Richtung 9:00 Uhr bewegen.)

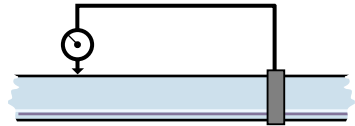
Die Berechnungen der Unterleg- und Verschiebewerte müssen jeweils zweimal durchgeführt werden, einmal an den vorderen und einmal an den hinteren FüÙen.

Durchhang

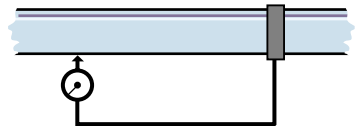
Eine Hauptfehlerquelle im diesem Verfahren ist der Durchhang der Messstange. Dieser Fehler kann die Unterlegwerte dermaßen beeinflussen, dass die Maschine nachher in hohem Grade fehlausgerichtet ist. Der Messstangendurchhang kann allerdings leicht festgestellt werden (der Wert kann positiv oder negativ ausfallen) und wird von den 6:00 Uhr-Messwerten abgezogen. Siehe dazu die obigen Formeln.

Messen des Durchhangs

Um den Durchhang zu messen, montieren Sie die gesamte Messapparatur (Halterungen, Stangen und Messuhren) auf einem Stück geradem Rohr. Befestigen Sie die Halterungen im gleichen Abstand, den sie später auf der eigentlichen Maschine haben werden. Montieren Sie die Messuhren ebenfalls so, dass sie möglichst genau ihrer Position auf der Maschine entsprechen. Positionieren Sie die Messuhren nun auf 12:00 Uhr und stellen Sie sie auf Null. Drehen Sie das Rohr, bis die Messuhren auf 6:00 Uhr stehen. Lesen Sie den



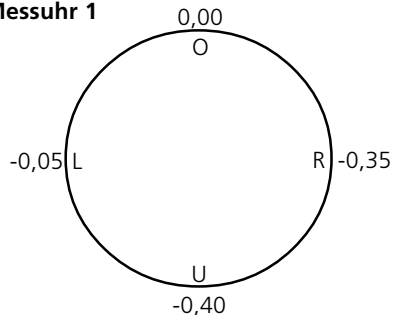
Messuhrzeiger In Position 12:00
Uhr auf Null stellen



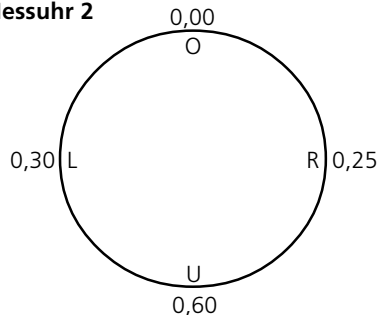
Aufbau auf 6:00 Uhr drehen und
Abweichung ablesen

Regel für die Gültigkeit der Messuhrenmesswerte

Messuhr 1



Messuhr 2

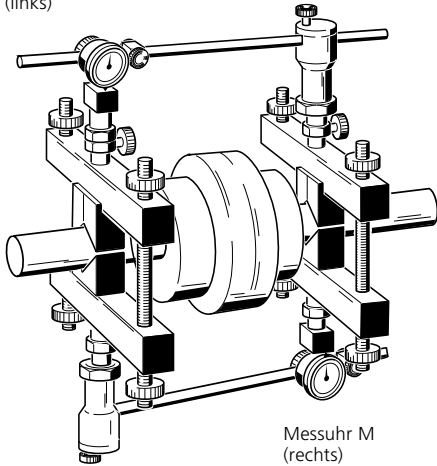


Typische Messuhrwerte beim Doppelradial-
oder Radial-Axial-Messuhrenverfahren

Die Summe der L + R (9:00+3:00) Messwerte sollte dem unteren Messwert U entsprechen. Dieses trifft sowohl auf radiale Messwerte also auch auf axiale Messwerte zu.

Messwert ab. Die Radial-Messuhr wird normalerweise einen negativen und die Axial-Messuhr einen positiven oder negativen Wert ergeben. Die Werte sollten aber um Null liegen.

Messuhr S
(links)



Messuhr M
(rechts)

Das Doppelradial-Messuhrenverfahren

Bei dieser Ausrichtmethode werden ebenfalls Messuhren verwendet. Der Zeiger zeigt auf die Einteilungen, die auf dem Zifferblatt markiert sind. Wenn der Taster in die Messuhr verschoben wird, dreht sich der Zeiger im Uhrzeigersinn. Die Anzahl der Markierungen, an denen sich der Zeiger vorbei bewegt, entspricht der Entfernung, über die der Taster in die Messuhr verschoben wurde. Wenn der Taster aus der Messuhr geschoben wird, gibt der Zeiger die Entfernung ebenfalls an. Üblicherweise ist der Messwert positiv, wenn der Taster nach innen bewegt wird, und negativ, wenn der Taster nach außen bewegt wird.

Montage

Ist die Messuhr montiert, werden die Wellen synchron gedreht und die Messwerte an den Positionen 12:00, 3:00, 6:00 und 9:00 Uhr abgelesen.

Formeln

Für diesen Messuhrenaufbau erhalten Sie mit folgenden Formeln die Versatzwerte:

$$VP = \frac{(S6 - S0 - SS)}{2} - \frac{(S6 - S0 - SS + M6 - M0 - MS) \cdot c}{2d}$$

$$VW = \frac{(S6 - S0 - SS + M6 - M0 - MS)}{2d}$$

$$HP = \frac{(S9 - S3)}{2} - \frac{(S9 - S3 + M9 - M3) \cdot c}{2d}$$

$$HW = \frac{(S9 - S3 + M9 - M3)}{2d}$$

Wobei:

S0 = Linker Radial-Messwert an Position 12:00

S3 = Linker Radial-Messwert an Position 3:00

S6 = Linker Radial-Messwert an Position 6:00

S9 = Linker Radial-Messwert an Position 9:00

M0 = Rechter Radial-Messwert an Position 12:00

M3 = Rechter Radial-Messwert an Position 3:00

M6 = Rechter Radial-Messwert an Position 6:00

M9 = Rechter Radial-Messwert an Position 9:00

d = Abstand zwischen Messuhrentaster

c = Abstand von der Kupplungsmitte zur Ebene der linken Messuhr

SS = Durchhang der Messuhrenstange an der stationären Maschine*

MS = Durchhang der Messuhrenstange an der zu bewegend Maschine*

* Diese Werte können positiv oder negativ sein

Der Uhrzeigersinn wird mit Blickrichtung von der zu bewegend Maschine (rechts) zur stationären Maschine (links) bestimmt.

Korrekturwerte

Unterlegwert (vord. FüÙe) = (VW x sV) - VP

Unterlegwert (hint. FüÙe) = (VW x sH) - VP

(Positive Ergebnisse bedeuten, dass Passplatten untergelegt werden müssen. Negative Ergebnisse bedeuten, dass Passplatten entfernt werden müssen.)

Verschiebewert (vord. FüÙe) = (HW x sV) – HP

Verschiebewert (hint. FüÙe) = (HW x sH) – HP

(Positiv bedeutet, in Richtung 3:00 Uhr bewegen. Negativ bedeutet, in Richtung 9:00 Uhr bewegen.)

sV = Entfernung der Messuhrebene zu den vorderen FüÙen der rechten Maschine

sH = Entfernung der Messuhrebene zu den hinteren FüÙen der rechten Maschine

Messuhren an Position 12:00 Uhr

Falls die Messuhren an Position 12:00 Uhr auf Null eingestellt und dann an Position 6:00 Uhr abgelesen werden, werden die Unterlegwerte folgendermaßen berechnet:

Unterlegwert (vordere FüÙe) =

$$\frac{(S6-SS+M6-MS)(c+sV)}{2d} - \frac{(S6-SS)}{2}$$

Unterlegwert (hintere FüÙe) =

$$\frac{(S6-SS+M6-MS)(c+sH)}{2d} - \frac{(S6-SS)}{2}$$

(Positive Ergebnisse bedeuten, dass Passplatten untergelegt werden müssen. Negative Ergebnisse bedeuten, dass Passplatten entfernt werden müssen.)

Messuhren an Position 3:00 Uhr

Falls die Messuhren an Position 3:00 Uhr auf Null eingestellt und dann an Position 9:00 Uhr abgelesen werden, werden die Verschiebewerte folgendermaßen berechnet:

Verschiebewerte (vordere FüÙe)=

$$\frac{(S9 + M9)(c + sV)}{2d} - \frac{S9}{2}$$

Verschiebewerte (hintere FüÙe) =

$$\frac{(S9 + M9)(c + sH)}{2d} - \frac{S9}{2}$$

(Positiv bedeutet, in Richtung 3:00 Uhr bewegen. Negativ bedeutet, in Richtung 9:00 Uhr bewegen.)

Durchhang – siehe vorangehende Hinweise.

Wellenausrichtung mit dem Laser

Seit Einführung von Laser und Computer beim Wellenausrichten vor 20 Jahren sind sich immer mehr Betriebsingenieure über die Notwendigkeit hochpräziser Ausrichtverfahren bewusst geworden. Laseroptische Methoden werden nun in vielen Firmen als die Standardmethode zur Wellenausrichtung eingesetzt.

Hier sind einige der Vorteile der laseroptischen Ausrichtung zusammengefasst:

- Präzisionsausrichtung ohne manuelle Dateneingabe oder subjektive Interpretation
- Graphische Anzeige der Ausrichtergebnisse an Kupplungen und Maschinenfüßen
- Keine mechanischen Einrichtungen – kein Durchhang der Halterungen
- Demontage von Kupplungen nicht erforderlich
- Genaue und wiederholbare Ergebnisse bei hoher Bedienerfreundlichkeit
- Keine vorbestimmten Aufnahmepositionen von

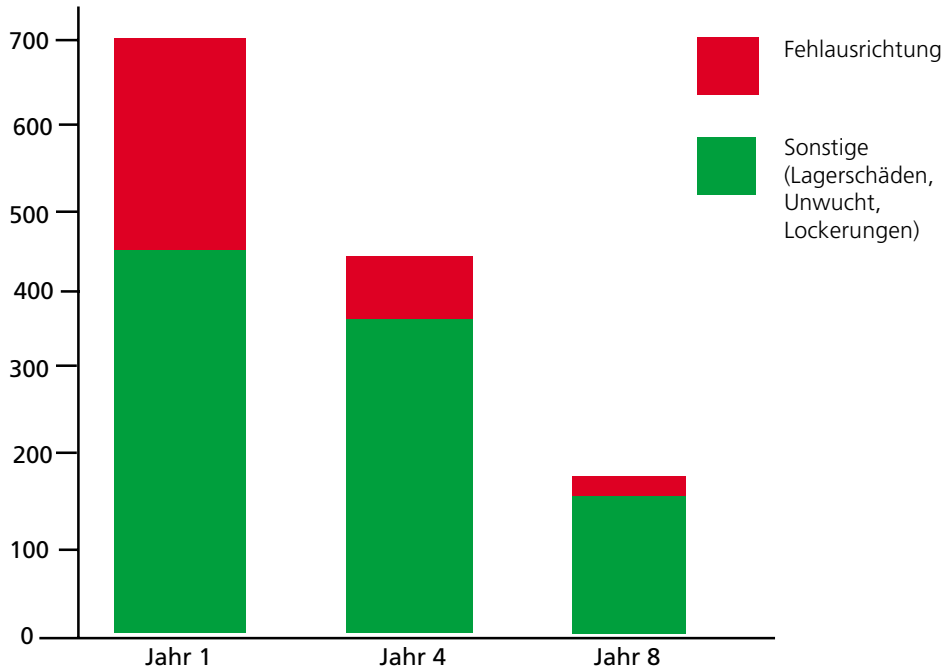
Messwerten, z. B. 12:00, 3:00, 6:00 und 9:00 – Ergebnisse sind bereits erhältlich, wenn die Welle weniger als 90 Grad gedreht wird!

- Datenspeicherung und Ausdruck der Ergebnisse zur Berichterstattung
- Zertifizierbare Kalibrierung der Systemgenauigkeit

Wohl der schlüssigste Beweis für die Vorteile der laseroptischen Wellenausrichtung ist die daraus entstehende Senkung des Schwingungspegels beim Betrieb der Maschine. Das Diagramm zeigt, wie die Anzahl von Alarmberichten die durch Schwingungen verursacht wurden, zurückging nachdem das OPTALIGN® PLUS Wellenausrichtungssystem in einer Erdölraffinerie eingeführt wurde.

Die Grafik bestätigt eine Vielzahl von Berichten, wonach eine laseroptische Ausrichtung einen ruhigeren Maschinenlauf zur Folge hat.

Schwingungsalarme/Jahr



Das OPTALIGN® PLUS System

Das komplette OPTALIGN® PLUS System besteht aus:

- Laseraufnehmer
- Reflektor
- Bedienteil
- Verbindungskabel zwischen Aufnehmer und Bedienteil
- Kompakte Kettenspannvorrichtung

Alle diese Komponenten werden von PRÜFTECHNIK AG entwickelt und gefertigt. Somit ist gewährleistet, dass all Komponenten und Zubehörteile funktional zusammenpassen. OPTALIGN® PLUS profitiert von der großen Erfahrung, die in über 25 Jahren im Bereich des laseroptischen Wellenausrichtens gesammelt wurde. Das System ist daher dafür konzipiert, den Strapazen des täglichen Einsatzes in der rauen Industrieumgebung standzuhalten. Dabei wurde die Bedienung

so einfach wie möglich gehalten, damit jeder Anwender perfekte und wiederholbare Ausrichtergebnisse mit nur wenig Aufwand erzielen kann.

OPTALIGN® PLUS ist nur ein Produkt aus einer Reihe von Wellenausrichtsystemen der PRÜFTECHNIK mit denen ein breiter Bereich von Anwendungen abgedeckt werden kann – von einfachen Einkupplungssystemen (häufig Pumpen und Motoren) bis hin zu komplexen Anlagen wie mehrstufigen Turbinen und Kompressoren. Die komplette Produktpalette besteht aus den Systemen:

MASTERLIGN®

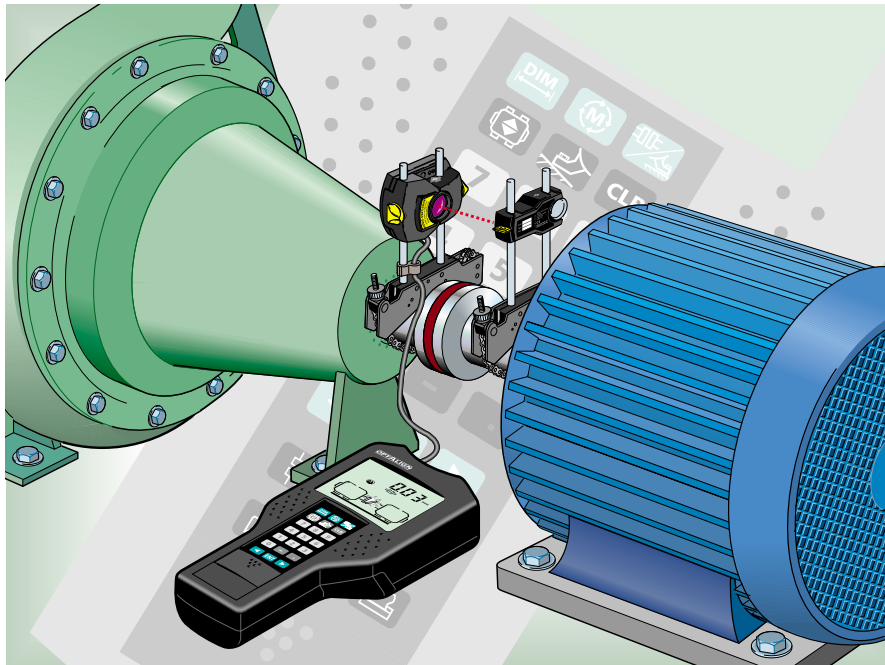
OPTALIGN® PLUS*

ROTALIGN®*

ROTALIGN® PRO*

smartALIGN®

*optional in Ex-Ausführung erhältlich



Wellenausrichtsystem OPTALIGN® PLUS

Die Vorteile des OPTALIGN® PLUS

OPTALIGN® PLUS bietet eine Vielzahl an einzigartigen Vorteilen gegenüber anderen Wellenausrichtsystemen:

- Laseroptische Ausrichttechnologie, die sich seit 20 Jahren in der Industrie bewährt hat: PRÜFTECHNIK hat das Know-How, Geräte zur Verfügung zu stellen, die den hohen Anforderungen der Industrie gerecht werden.
- Stabiles IP 65-Gehäuse schützt die robuste Lasertechnologie vor Schmutz und Spritzwasser.
- Nur geringe Wellendrehung zur Bestimmung der Ausrichtung erforderlich: Sie erhalten genaue Ausrichterergebnisse bei einer Wellendrehung von nur 60°.
- Resultat nach 3 einfachen Schritten:
 1. Abmessungen eingeben
 2. Wellen drehen
 3. Ergebnisse ablesen!
- Nur ein Kabel: kein Kabelsalat.
- Das Kabel kann während der Messdrehung ab- und wieder angesteckt werden, ohne die Ergebnisse zu beeinträchtigen.
- Zuverlässige Universalhalterungen für eine einfache und schnelle Montage, geeignet für kleine und große Durchmesser (auch in magnetischer Ausführung erhältlich).
- Durch das patentierte Unibeam®-Prinzip gibt es nur einen Laserstrahl, der justiert werden muss.
- Ultra-kompakter Reflektor findet auch an Stellen Platz, die für andere Lasersysteme oder Messuhren zu eng sind; geringes Gewicht vermindert Durchhang.
- Dank Infinirange®, auch bei sehr großen Fehlausrichtungen oder großen Abständen einsetzbar (z. B. Zwischenwellen).
- Kalibrierung gemäß lokaler oder internationaler Normen durch CALICHEK® T.

OPTALIGN® PLUS bietet Ihnen:



Laseroptische Ausrichttechnologie, die sich seit über 20 Jahren in der Industrie bewährt hat



Robuste Lasertechnologie, die dem industriellen Einsatz standhält



Nur geringe Wellendrehung zur Bestimmung der Ausrichtung erforderlich



Resultat nach 3 einfachen Schritten:

1. Abmessungen eingeben
2. Wellen drehen
3. Ergebnisse ablesen!



Zuverlässige Universalhalterungen für die einfache und schnelle Montage (auch in magnetischer Ausführung erhältlich)



Nur ein Kabel: kein Kabelsalat



Platzsparendes Reflektor-Design für Stellen, die für andere Systeme/Messuhren zu eng sind; geringes Gewicht vermindert Durchhang



Durch das patentierte Unibeam®-Prinzip gibt es nur einen Laserstrahl, der justiert werden muss



Bei großen Fehlausrichtungen und Abständen einsetzbar (z. B. Zwischenwellen) dank der Infinirange® Messbereichserweiterung



Kalibrierung auf lokale oder internationale Normen rückföhrbar



Kurzanleitung in Bedienteil enthalten



Schutzart IP 65: Spritzwassergeschützt und Staubdicht

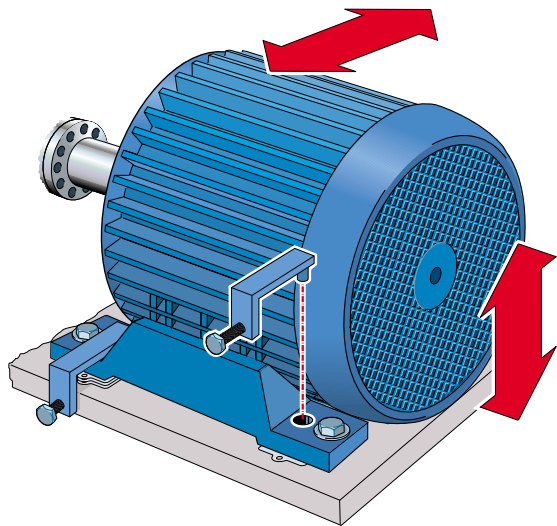
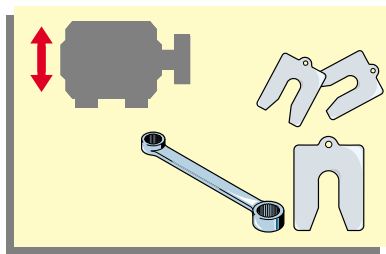
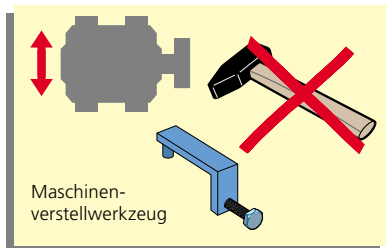
Ausrichten mit Laser

Vorbereitungen: Maschinenbeweglichkeit

Bei den Vorbereitungen für eine erfolgreiche Ausrichtung ist im ersten Schritt sicherzustellen, dass die auszurichtende Maschine in den erforderlichen Richtungen beweglich ist. Hier handelt es sich u.a. um die vertikale Beweglichkeit der Maschine – sowohl aufwärts (mittels entsprechender Hebevorrichtungen) als auch abwärts, (falls, wie oft der Fall, die Maschine gesenkt werden muss). Ein Senken der Maschine wird ermöglicht, indem man bei der Erstinstallation Passplatten der Stärke 2 bis 4 mm unter die Füße beider Maschinen legt. Damit können dann später auch leichter Unebenheiten im Maschinenfundament ausgeglichen werden.

Die horizontale Positionierung der Maschinen erfolgt am besten mittels Verstellschrauben, oder einem einfachen 'Maschinenverstellwerkzeug' (siehe Abbildung) oder hydraulischen Geräten. Diese Methoden ermöglichen es, die Maschine langsam, gleichmäßig und sanft zu bewegen.

Methoden wie z. B. der Gebrauch eines Vorschlaghammers erschweren die genaue Positionierung und können zu einer Beschädigung der Maschinen führen (Einprägung von Rattermarken in den Lagern).



Vorgefertigte PERMABLOC®-Passplatten: Der Vergleich lohnt sich

Bei der Installation rotierender Maschinen ist eine Positioniergenauigkeit von nur wenigen hundertstel Millimeter entscheidend. Weniger strenge Maßstäbe an die Qualität der Passplatten führen zu keiner optimalen Auflagefläche für die Maschinenfüße, welches sich dann im Betrieb wiederum in Schwingungen auswirkt. Die Ursache ist oft bei sehr elementaren Mängeln zu finden, z. B. bei einer Knappheit an Passplatten mit der richtigen Größe und Stärke bei der Installation. Eine Vorbeugung macht sich bei der Ausrichtung von Maschinen schnell bezahlt.

Jährlicher Bedarf an Passplatten

Jährlicher Bedarf =

$$\frac{\text{Anzahl an Masch.} \times 4 \text{ FüÙe/Masch.} \times 3 \text{ Passplatten/Fuß}}{1 \text{ Ausrichtung pro Jahr}}$$

Z. B., jährlicher Bedarf bei 100 Maschinen =

$$\frac{100 \text{ Maschinen} \times 4 \text{ FüÙe/Maschine} \times 3 \text{ Passplatten/Fuß}}{1 \text{ Ausrichtung pro Jahr}}$$

= Bedarf von 1.200 Passplatten/100 Maschinen

Die Fertigung von Passplatten von Hand

Das Schneiden von Passplatten von Hand verlangt mehrere zeitraubende Schritte:

1. Erforderliche Geräte und Metallblech oder Rollenstahl beschaffen
2. Passplattenumriss auf Blech einritzen
3. Passplatte ausschneiden
4. Entgraten.

Für die Fertigung einer Passplatte werden durchschnittlich 10 Minuten benötigt. Bedenken Sie nun die Verzögerungen, wenn bei einer gewöhnlichen Arbeit an einer Maschine 100 Minuten nur für die Herstellung der Passplatten benötigt werden. Jede Maschine hat 4 Füße und benötigt 2 bis 3 Passplatten pro Fuß: 4 Füße x 2,5 Passplatten/Fuß x 10 Minuten/Passplatte = 100 Minuten.

Kostenvergleich zwischen handgefertigten Passplatten und PERMABLOC®

Allgemeine Kosten

Arbeitskosten/Std. € 30,00

Arbeitskosten/Min. € 0,50

1 Stk. PERMABLOC® (0,70 mm) kostet € 1,70

Kostenvergleich

4 Passplatten per Hand schneiden: **€ 20,00**

(4 Passplatten x 10 Minuten à € 0,5)

Kaufpreis für 4 PERMABLOC®-Passplatten:

(4 x €1,70) **€ 6,80**

Fazit

Wie Sie aus diesen Berechnungen nachvollziehen können, beträgt die Kostenersparnis bei 4 PERMABLOC®-Passplatten immerhin €13,20.

PERMABLOC®-Passplatten haben aber noch weit mehr Vorteile: gratfrei, einfach zu benutzen, korrekte Stärke, viele Größen, dauerhaft markiert, korrosionsresistenter Edelstahl, wiederverwendbar.

Im robusten PERMABLOC®-Koffer sind die Passplatten vor Beschädigung geschützt und ordentlich aufbewahrt. Mit einem Griff ist die richtige Passplatte zur Hand und die Ausrichtaufgabe schnell beendet.

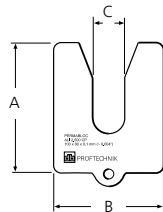
PERMABLOC®-Passplatten: Größen und Bestellnummern

Größe A

Bestellnr.	A	B	C	Ø	Dicke
ALI 2.500 Ak	60	50	15	M12	0,025
ALI 2.500 An	60	50	15	M12	0,05
ALI 2.500 Ap	60	50	15	M12	0,1
ALI 2.500 Ar	60	50	15	M12	0,2
ALI 2.500 At	60	50	15	M12	0,4
ALI 2.500 Av	60	50	15	M12	0,7
ALI 2.500 Aw	60	50	15	M12	1,0
ALI 2.500 Ax	60	50	15	M12	2,0

Größe B

Bestellnr.	A	B	C	Ø	Dicke
ALI 2.500 Bk	80	70	22	M18	0,025
ALI 2.500 Bn	80	70	22	M18	0,05
ALI 2.500 Bp	80	70	22	M18	0,1
ALI 2.500 Br	80	70	22	M18	0,2
ALI 2.500 Bt	80	70	22	M18	0,4
ALI 2.500 Bv	80	70	22	M18	0,7
ALI 2.500 Bw	80	70	22	M18	1,0
ALI 2.500 Bx	80	70	22	M18	2,0



Maße in mm

Größe C

Bestellnr.	A	B	C	Ø	Dicke
ALI 2.500 Ck	100	80	32	M27	0,025
ALI 2.500 Cn	100	80	32	M27	0,05
ALI 2.500 Cp	100	80	32	M27	0,1
ALI 2.500 Cr	100	80	32	M27	0,2
ALI 2.500 Ct	100	80	32	M27	0,4
ALI 2.500 Cv	100	80	32	M27	0,7
ALI 2.500 Cw	100	80	32	M27	1,0
ALI 2.500 Cx	100	80	32	M27	2,0

Größe D

Bestellnr.	A	B	C	Ø	Dicke
ALI 2.500 Dk	130	105	44	M36	0,025
ALI 2.500 Dn	130	105	44	M36	0,05
ALI 2.500 Dp	130	105	44	M36	0,1
ALI 2.500 Dr	130	105	44	M36	0,2
ALI 2.500 Dt	130	105	44	M36	0,4
ALI 2.500 Dv	130	105	44	M36	0,7
ALI 2.500 Dw	130	105	44	M36	1,0
ALI 2.500 Dx	130	105	44	M36	2,0

Installation der Maschinen: Erste Schritte für eine erfolgreiche Ausrichtung

Bei der Installation von Maschinen, wie z. B. Pumpen, Getrieben oder Kompressoren, müssen einige allgemeine Regeln beachtet werden:

- Die anzutreibende Einheit wird in der Regel zuerst installiert, und die Antriebsmaschine oder Motor wird dann an der Welle der anzutreibenden Einheit ausgerichtet.
- Falls die anzutreibende Einheit durch ein Getriebe angetrieben wird, sollte das Getriebe an der angetriebenen Einheit ausgerichtet werden und die Antriebsmaschine an dem Getriebe.
- Mit Kontrollen können Sie die Genauigkeit der Maschinenkupplungen bestimmen. Kontrollieren Sie, wenn möglich, den Schlag (Rundlauf und Rechtwinkligkeit bezüglich den Wellenmittellinien) der Kupplungshälften mittels einer Messuhr (schlagende Kupplungshälften können Unwuchtprobleme bereiten!)

- Die Vorbereitung der Maschinengrundplatte und der Maschinenauflagefläche, -füße, -sockel, usw. ist von größter Bedeutung! Eine gute Ausrichtung ist sonst nur schwer zu erreichen! Die Flächen säubern, richten und Grate von den Montageflächen, Bolzenlöchern, usw., abfeilen.
- Um präzise und wirksam ausrichten zu können, sollten Passplatten hoher Qualität zur Verfügung stehen.
- Bevor Sie das Wellenausrichtsystem auf den Maschinen montieren, nehmen Sie sich ein paar Minuten Zeit, um die Ausrichtung der Kupplungen/Wellen genau zu begutachten. Ihre Augen sind Ihr erstes Messgerät!
- Prüfen Sie, ob die Pumpe bzw. der Motor gerade auf der Grundplatte aufsitzt. Kippfuß überprüfen und gegebenenfalls korrigieren (siehe nächsten Abschnitt).

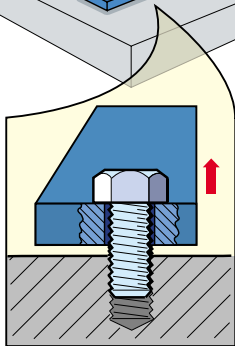
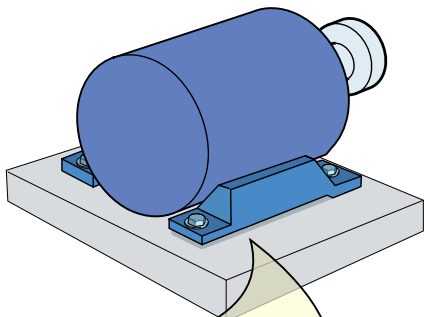
- Die Anzahl an Passplatten möglichst gering halten, d. h. möglichst nicht mehr als 3 Passplatten pro Maschinenfuß/Unterlage.
- Korrigieren Sie die Ausrichtung soweit wie nötig, um sicherzustellen, dass die Maschinenwellen beim Betrieb in ihren Lagern zentriert laufen und innerhalb der Herstellertoleranzen ausgerichtet sind.
- Vor der Ausrichtung immer die Herstellerangaben beachten! Temperaturwachstum kann u. U. einen 'kalten' Ausrichtversatz erforderlich machen.
- Sorgen Sie dafür, dass die an die Maschinen angeschlossenen Leitungen und Stangen sachgemäß gestützt sind, sich bei thermischer Expansion jedoch frei mitbewegen können.

Kippfuß

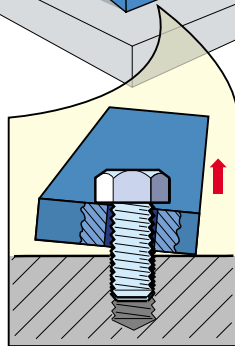
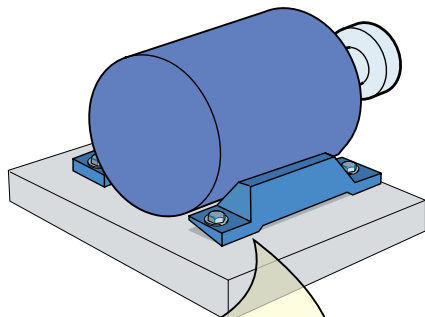
Genauso wie ein kippelnder Stuhl oder Tisch nerven kann, tut es auch eine „wackelige Maschine“: Die Position der Maschine verändert sich bei jedem Ausrichtvorgang, und bei jeder Überprüfung der Ausrichtung wird festgestellt, dass die Maschine noch immer fehlausgerichtet ist. Wenn die Maschinenfüße festgeschraubt werden, entstehen zusätzliche Verspannungen, die zu einer Verformung des Gehäuses führen können.

Dieser Zustand ist als 'Kippfuß' bekannt und blieb bis heute meist unberücksichtigt, da er äußerst schwer zu messen ist.

Es gibt zwei unterschiedliche Typen von Kippfuß. Ein Parallelkipfuß liegt vor, wenn das Fundament parallel zu den Maschinenfüßen verläuft. Er wird korrigiert, indem die richtige Stärke an Passplatten einfach hinzugefügt oder entfernt wird. Winkelkipfuß liegt vor, wenn Fuß und Fundament einen Winkel zueinander bilden.



Parallelkipfuß



Winkelkipfuß

Normale Passplatten können diesem Problem keine Abhilfe leisten (ein typisches Merkmal für den Winkelkipppfuß). Mögliche Lösungen sind eine Demontage der Maschine, damit die Füße entsprechend abgeschliffen werden können, oder die Verwendung abgestufter Passplatten, um die Lücke zwischen Fuß und Fundament zu füllen.

Als grobe Richtlinie, und wenn Toleranzangaben des Herstellers oder Betreibers fehlen, sollte die Höhe des Kippfußes $\pm 0,05$ mm (je Fuß) nicht überschreiten.

Ausrichttoleranztabellen

Die hier empfohlenen Ausrichttoleranzen stellen allgemeine Werte dar, die auf Erfahrung basieren und nicht überschritten werden sollten. Sie sollten nur verwendet werden, wenn durch existierende, betriebsinterne Vorgaben oder durch den Maschinen- oder Kupplungshersteller keine anderen Werte vorgeschrieben sind.

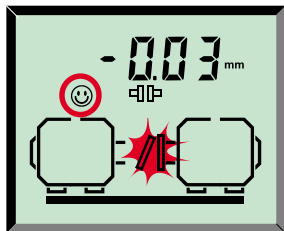
Betrachten Sie die Tabellenwerte als die jeweils maximal zulässige Abweichung vom Ausrichtziel, ob 'Null' oder ein gewünschter Versatz, der thermisches Wachstum ausgleicht. In den meisten Fällen zeigt ein kurzer Blick in die Tabelle, ob ein Ausrichtwert an der Kupplung noch zulässig ist oder nicht. Metrische Toleranzen gelten für Maschinen mit einer Netzfrequenz von 50 Hz und deren Drehzahl ein Vielfaches oder ein Bruchteil von 3000 U/min beträgt.

Der Winkelversatz wird normalerweise als Spaltbreite am Kupplungsrand angegeben ('Klaffung'). Für einen vorgegebenen Winkelversatz



OPTALIGN® PLUS

blendet das 'Smiley'-Symbol ein, wenn Messwerte im Toleranzbereich liegen (beruhend auf Kupplungstyp und Drehzahl)





'Ausgezeichnete' Ausrichtung



'Akzeptable' Ausrichtung

Kein Smiley

'Mangelhaft' =
Außerhalb der Toleranzen.
Erneut ausrichten!

	U/min	Metrisch [mm]	
Kippfuß	jeder	0.06 mm	
Standard-Kupplungen		Akzeptabel	Exzellent
Parallelversatz	600 750 1500 1800 3000 3600 6000 7200	 0.19 0.09 0.06 0.03	 0.09 0.06 0.03 0.02
Winkelversatz ('Klaffung') Spaltbreite bezogen auf 100 mm Kupplungsdurchmesser	600 750 1500 1800 3000 3600 6000 7200	0.13 0.07 0.04 0.03	0.09 0.05 0.03 0.02
Zwischenwellen und Membrankupplungen (Scheibenkupplungen) Parallelversatz (pro 100 mm Zwischenwelle)	600 750 1500 1800 3000 3600 6000 7200	0.25 0.12 0.07 0.03	0.15 0.07 0.04 0.02

wird mit zunehmendem Kupplungsdurchmesser der Spalt immer größer. Die aufgelisteten Werte sind auf einen Kupplungsdurchmesser von 100 mm bezogen. Bei Verwendung des tatsächlichen Kupplungsdurchmessers wird der Tabellenwert mit dem entsprechenden Faktor multipliziert.

Für Maschinen mit Zwischenwellen gibt die Tabelle den maximal zulässigen Versatz pro 100 mm Zwischenwellenlänge an.

‘Akzeptable’ Toleranzen werden aus der Gleitgeschwindigkeit geschmierten Stahls auf Stahl berechnet. Ein vorsichtiger Wert von 12 mm/s wird für die zulässige Gleitgeschwindigkeit eingesetzt. Da diese Werte auch mit denen übereinstimmen, die aus elastomerischen Scherwerten abgeleitet sind, gelten sie ebenfalls für Standard-Kupplungen mit flexiblen Elementen.

‘Exzellente’-Werte basieren auf Schwingungsbeobachtungen einer breiten Vielfalt industrieller Maschinen zur Feststellung der für Schwingungen kritischen Fehlansichtungen; allerdings garan-

tiert die Einhaltung dieser Toleranzen nicht den schwingungsfreien Betrieb einer Maschine.

Starre (geflanschte) Kupplungen erlauben keine Toleranzen für die Ausrichtung. Sie sollten möglichst genau ausgerichtet werden.

Thermische Ausdehnung

Bis jetzt haben wir in diesem Handbuch in den meisten Fällen nur die Ausrichtung von rotierenden Maschinen im kalten Zustand betrachtet. Bei größeren Maschinenanlagen und bei Maschinen, bei denen eine Komponente der Anlage mit einer höheren Temperatur betrieben wird, müssen die Auswirkungen des thermischen Wachstums (oder Schrumpfens) auf die Ausrichtung der Maschine berücksichtigt werden. Es hat keinen Zweck, einen Maschinenstrang im kalten Zustand genauestens auszurichten, wenn sich dieser Zustand bei Betriebsbedingungen wieder verändert. Es gibt mehrere Methoden, die richtige Ausrichtung unter Betriebsbedingungen herauszufinden.

- Die Hersteller können in der Regel Informationen zum Maschinenwachstum zur Verfügung stellen.
- Berechnungen können mit Hilfe des spezifischen Ausdehnungs-Koeffizienten durchgeführt werden, der das thermische Wachstum des Werkstoffs beschreibt – siehe nachfolgende Seiten.
- Online-Messungen des Ausrichtzustandes können unter kalten und heißen Bedingungen mittels kontaktierender oder kontaktfreier Ausrichtmessgeräten vorgenommen werden.

PERMALIGN® ist ein laseroptisches Messsystem, mit dem Veränderungen der Maschinenposition während des Betriebes gemessen und grafisch aufgezeichnet werden können.

Die Abschätzung oder Berechnung der tatsächlichen Veränderung in der Ausrichtposition ist keineswegs ein einfaches Unterfangen. Viele Faktoren können die Genauigkeit der Endergebnisse beeinträchtigen:

- Thermisches Wachstum der Lagerungen
- Veränderungen in den radialen bzw. axialen Kräften
- Veränderungen in der Ölfilmstärke in den Lagern
- Veränderungen im Fundament oder in der Grundplattenaufgabe
- Veränderungen in den Kräften angeschlossener Rohre und Leitungen.

Die Online-Messung berücksichtigt sämtliche Faktoren und ergibt genaue, wiederholbare Ergebnisse zum thermischen Wachstum.

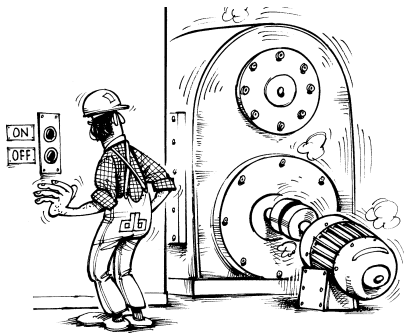
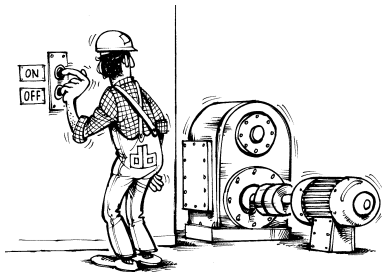
Thermisches Wachstum

Wellengekuppelte Maschinen erreichen beim Betrieb oft Temperaturen, die hoch genug sind, um eine Ausdehnung des Maschinengehäuses zu bewirken. Diese Ausdehnung wird als 'thermisches Wachstum' bezeichnet und verursacht eine relative Verlagerung der Wellen aus ihren 'kalten' stationären Positionen heraus. Dieses hat stets eine Verschlechterung des Ausrichtzustandes zur Folge, wenn keine entsprechenden Vorkehrungen getroffen werden.

Falls Richtung und Ausmaß des Wachstums bekannt sind, können die Maschinen absichtlich so falsch ausgerichtet werden, dass sie später in die richtige Ausrichtung hineinwachsen und für den normalen Betrieb dann auch gut ausgerichtet sind. OPTALIGN® PLUS und ROTALIGN® verfügen über eine Sonderfunktion, die die Angabe solcher Ausrichtvorgaben ermöglicht. Vorgabespezifikation für die kalte Ausrichtung sind in der Regel von Maschinenherstellern erhältlich.



Online-Messsystem PERMALIGN®



Berechnungshilfe für thermisches Maschinenwachstum wenn Herstellervorgaben fehlen

$$\Delta L = L \times (\alpha) \times (\Delta T)$$

wobei

ΔL = thermisches Wachstum

L = Mittellinienhöhe zur
Maschinengrundplatte

α = Koeffizient für thermisches
Wachstum des Werkstoffs
(0,0000059 für Gusseisen)

ΔT = Veränderung in der
Umgebungstemperatur

Beispiel

Eine Pumpe, die ein 270°C heißes Medium fördert, soll bei Raumtemperatur richtig ausgerichtet werden.

Pumpe mit Flüssigkeit: 270°C

Höhe zur Wellenmitte: 70 cm

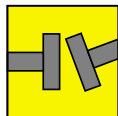
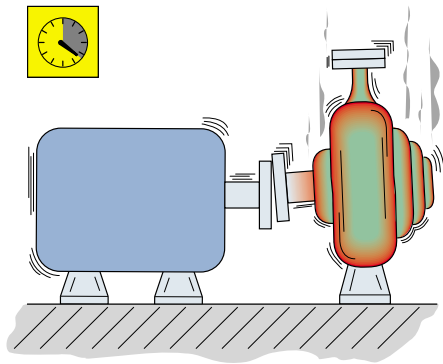
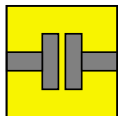
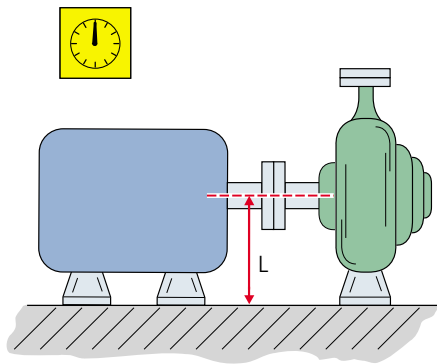
Umgebungstemperatur: 25°C

$$\Delta L = L (\alpha) (\Delta T)$$

$$\begin{aligned}\Delta L &= 70 \text{ cm} (0,0000059) \times (270 - 25) \\ &= 70 (0,0000059) \times 245 \\ &= 0,10 \text{ mm}\end{aligned}$$

Ergebnis: Die Pumpe muss bei Raumtemperatur 1/10 Millimeter tiefer gestellt werden.

(Moderne Laserausrichtsystem wie z. B. ROTA-LIGN® PRO können diese Kalkulationen direkt durchführen.)





Besuchen Sie uns in www.pruftechnik.com

 **PRÜFTECHNIK**

PRÜFTECHNIK AG
Postfach 12 63
D-85730 Ismaning
Tel: 089 99 61 6-0
Fax: 089 99 61 6-184
eMail: info@pruftechnik.com

Für messbare Erfolge in der Instandhaltung