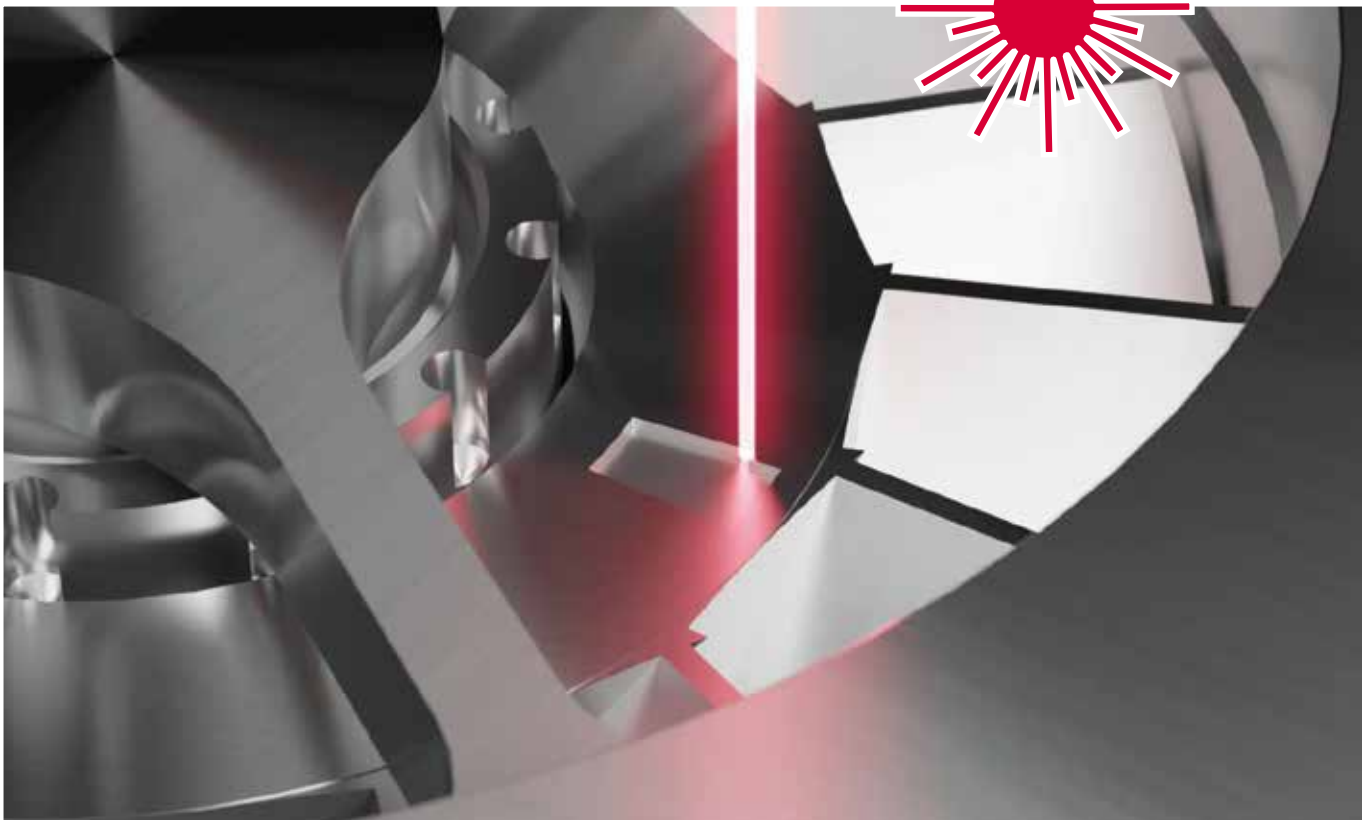


# Innovatives Patent für Turbopumpen: Die neue Laser Balancing™- Technologie von Pfeiffer Vacuum

Turbopumpen spielen in der Vakuumtechnik eine wichtige Rolle für die Erzeugung von reinem Hoch- und Ultrahochvakuum. Im Inneren der hybridgelagerten Turbopumpe wird ein Rotor durch die Kombination von Permanentmagnetlager und Wälzlager getragen und mit sehr hohen Drehzahlen angetrieben.



Das Wuchten dieser hybridgelagerten Rotoren stellt seit vielen Jahren eine Kernkompetenz von Pfeiffer Vacuum dar und ermöglicht es, technologisch fortschrittliche Turbopumpen mit einem sehr geringen Vibrationsniveau zu liefern. Mit der Markteinführung der neuen fortschrittlichen HiPace 80 Neo wird das von Pfeiffer Vacuum entwickelte Laser Balancing™ vorgestellt – eine Innovation, die eine verbesserte Lebensdauer sowie geringere Vibrationen und Schallemissionen ermöglicht.

Doch von vorne: Warum müssen Rotoren überhaupt gewuchtet werden? Wo liegt der Unterschied zwischen der konventionellen Praxis und dem Wuchten mit der Laser Balancing™ Methode? Und welche Vorteile bietet sie?



**HiPace 80 Neo –  
Die weltweit erste laser-  
gewuchtete Turbopumpe  
in ihrer Klasse**

## Warum werden Rotoren gewuchtet?

Der Prozess des Wuchtens ist vermutlich aus dem Kfz-Bereich bekannt. Dort müssen neue Autoreifen ebenfalls ausgewuchtet werden. Denn selbst äußerlich symmetrisch erscheinende Körper weisen in der Realität geringe Ungleichheiten in der Masseverteilung auf. Dies kann beispielsweise dem Fertigungsprozess des Bauteils oder einer Inhomogenität in der Dichte des Rohmaterials geschuldet sein. Diese ungleiche Massenverteilung wird durch den Begriff der Unwucht beschrieben. Wird ein unwuchtiger Körper in Rotation versetzt, entstehen Vibrationen. Im Falle eines Autoreifens sind diese im Lenkrad spürbar. Die entstehenden Kräfte sind abhängig von der Rotationsdrehzahl sowie der Höhe der Unwucht. Sie können schnell stark ansteigen und Schäden an anderen Bauteilen des Fahrzeugs hervorrufen. Aus diesem Grund wird die Unwucht von rotierenden Objekten durch das Wuchten reduziert.



Während die Drehzahl von Kfz-Reifen im Optimalfall bei 1500 bis 2500 Umdrehungen pro Minute liegt, erreichen Rotoren von Turbopumpen Drehzahlen von bis zu 90.000 U/min, oder 1.500 U/sec. Die Anforderungen an die Wuchtgüte sind daher extrem hoch. Geringste Unwuchten im Bereich von wenigen Milligramm können bereits einen starken Einfluss auf den Betrieb der Pumpe haben. Eine hohe Wuchtgüte ist daher sowohl für die Laufruhe des Rotors als auch für einen jahrelangen beschädigungsfreien Betrieb der Turbopumpe relevant. Sie sorgt außerdem für die Minimierung der Vibrationen, welche auf die Vakuumkammer und die Kundenapplikation übertragen werden.

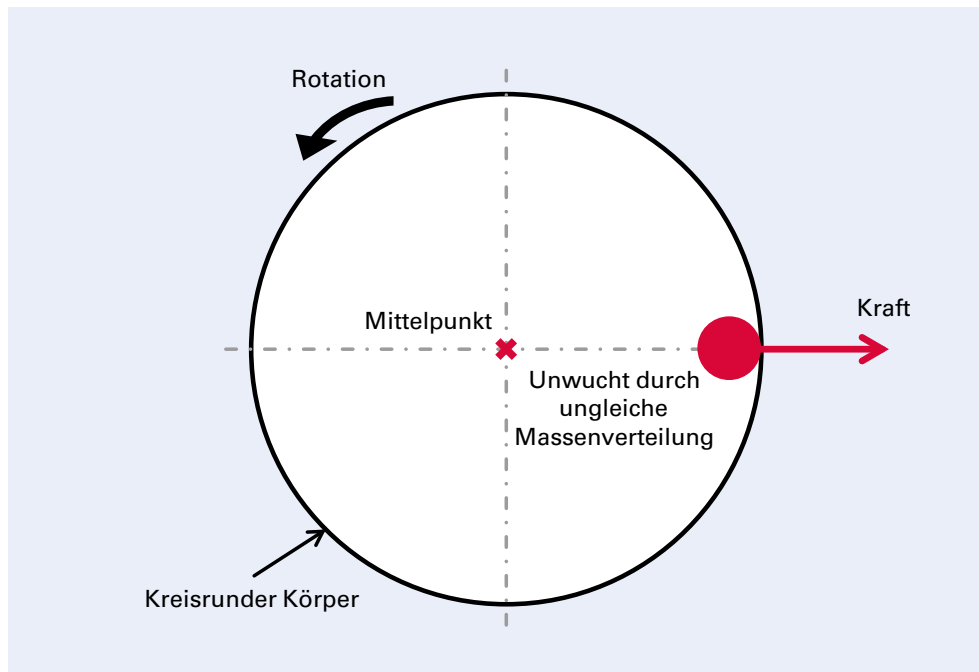


Abbildung 1: Ein äußerlich symmetrisch erscheinender kreisrunder Körper weist eine Unwucht aufgrund einer ungleichen Massenverteilung auf. Die Rotation des Körpers um seinen Mittelpunkt erzeugt eine umlaufende Kraft, welche zu Vibrationen führt.

## Das konventionelle Wuchten

Die konventionelle Wuchttechnologie gehört seit vielen Jahren zu den Kernkompetenzen von Pfeiffer Vacuum. Sie ermöglicht einen schwingungsreduzierten Betrieb von hybridgelagerten Turbopumpen. Durch das Anbringen zusätzlicher Masse, beispielsweise durch Wuchtgewichte, wird eine ungleiche Massenverteilung reduziert. Weit verbreitet ist ein Massenausgleich mithilfe zerspanender Prozesse. Hierzu zählt beispielsweise das Abschleifen als auch der Abtrag von Material durch Einbringung von Bohrungen.



**Beim konventionellen Wuchten werden Wuchtgewichte entlang des Umfangs der einzelnen Wuchtebenen manuell eingeschraubt.**

Beim konventionellen Wuchten wird die radiale Auslenkung des Rotors in zwei Messebenen nahe der Lagerung gemessen. Mithilfe eines speziellen Algorithmus wird daraus die Unwucht des Rotors ermittelt. Um die gesamte Unwucht zu reduzieren, ist der Rotor entlang der Rotationsachse in mehrere Wuchtebenen mit entsprechenden Bohrungen aufgeteilt. Entlang des Umfangs der einzelnen Wuchtebenen werden damit gezielt Wuchtgewichte manuell eingeschraubt. So reduziert sich die ungleiche Massenverteilung und die verbleibende Restunwucht des Rotors verringert sich unter den notwendigen Grenzwert. Die Unwucht wird hier bei mehreren Drehzahlen ermittelt und schrittweise ausgeglichen, um einen schwingungsreduzierten Hochlauf des Rotors auf Nenndrehzahl zu ermöglichen.

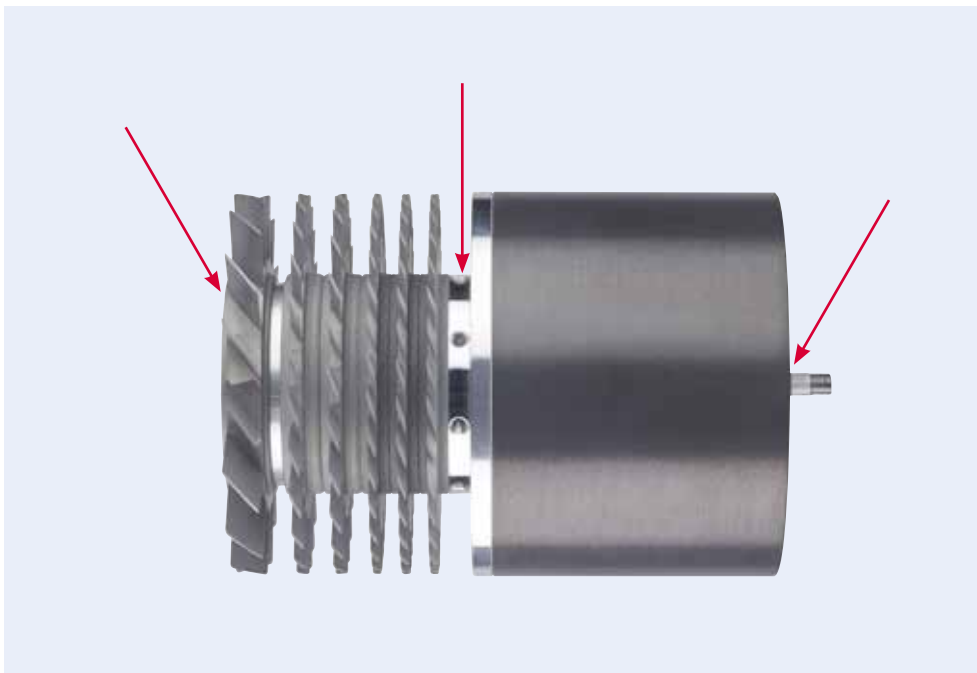
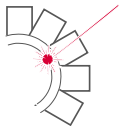


Abbildung 2: Darstellung eines Turbopumpen-Rotors mit Lage der Wuchtebenen

## Wuchten mit der Laser Balancing™ Methode



Insbesondere im Bereich der Sekundäreigenschaften steigen seit dem letzten Jahrzehnt die Applikationsanforderungen an Turbopumpen. Die schnell-drehenden Rotoren unterliegen daher einer permanenten Weiterentwicklung, die unter anderem die Lebensdauer des Kugellagers, vibroakustische Emissionen, also emittierender Schall und Vibrationen am Pumpengehäuse, sowie die Sauberkeit in Bezug auf das Ausgasungsverhalten der Bauteile und Oberflächen einschließt.

Im Bereich der Vakuumtechnik hat Pfeiffer Vacuum nun eine weitere Innovation geschaffen: In den letzten Jahren hat das Unternehmen das neuartige Laser Balancing™ entwickelt und patentiert. Damit werden Rotoren von Turbopumpen noch effizienter gewuchtet und der technologische Fortschritt sichergestellt.

Das Laser Balancing™ revolutioniert den konventionellen Prozess des Wuchtens durch den Verzicht auf Wuchtbohrungen und Wuchtgewichte. Der Massenausgleich wird umgekehrt, indem Material mithilfe von Laserablation abgetragen und somit die ungleiche Massenverteilung minimiert wird. Der Materialabtrag durch den Laser ist wesentlich präziser, sodass eine noch geringere Restunwucht erreicht werden kann. Materialeigenschaften werden dabei nicht beeinflusst.

Durch den Verzicht auf geometrisch festgelegte Wuchtbohrungen und abgestufte Wuchtgewichte können definierte Laserablationssegmente abgetragen werden. Mithilfe des Lasers wird die ungleiche Massenverteilung des Rotors so exakt an der notwendigen Stelle in den einzelnen Wuchtebenen korrigiert.



Abbildung 3: Vergleich einer Wuchtebene des konventionellen Wuchtens (links) mit Wuchtbohrungen und des Laserbalancing (rechts) mit Laserablationssegmenten

## Welche Vorteile bietet die Laser Balancing™-Methode?

Durch den Einsatz des Laser Balancings™ und die langjährige Expertise in den zugrundeliegenden Berechnungsalgorithmen konnte Pfeiffer Vacuum in einer

**Durch den Einsatz des Laser Balancings konnte Pfeiffer Vacuum die Wuchtgüte der Turbopumpen-Rotoren um 20% verbessern.**

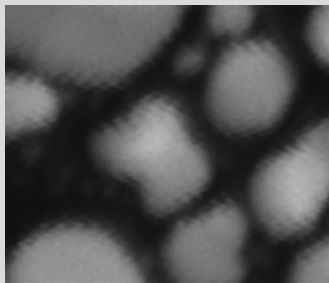
modernen, automatisierten Wuchtanlage die Wuchtgüte der Turbopumpen-Rotoren um 20% verbessern. Pfeiffer Vacuum bietet damit eine deutlich verbesserte Lebensdauer des Kugellagers sowie geringere Vibrationen und Schallemissionen der Pumpe während des Betriebs. Die während der Laserablation entstehenden Partikel werden bereits während des Prozesses abgesaugt und gefiltert. Die anschließende Reinigung des lasergewuchteten Rotors sowie der Verzicht auf das manuelle Handling

des Schraubenwuchtens garantieren höchste Sauberkeit der Oberflächen. Zusätzlich werden virtuelle Leckagen vermieden, die durch Lufteinschlüsse in den Wuchtbohrungen entstehen.

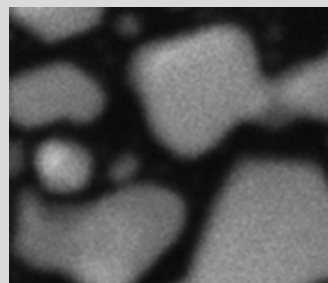
In Anwendungen und Applikationen, in denen es auf geringe Vibrationen und geräuscharme Turbopumpen ankommt, können die neuen Rotoren nun noch effizienter eingesetzt werden. So ermöglichen die geringen vibroakustischen Emissionen beispielsweise hochauflösende Aufnahmen von Elektronenmikroskopen mit integrierter Turbopumpe.

Die Vorteile des innovativen Laser Balancings™ verdeutlichen das Alleinstellungsmerkmal der Turbopumpe von Pfeiffer Vacuum in der Vakuumtechnik und geben einen technologischen Ausblick auf die kommenden Entwicklungen des Unternehmens.

### Vergleich zweier Aufnahmen eines Elektronenmikroskops mit integrierter Turbopumpe:



Stärkere Vibrationen (~20 nm) am Hochvakuumflansch ergeben ein unscharfes Bild bei hohen Vergrößerungen.



Geringere Vibrationen (~5 nm) erzielen eine schärfere Aufnahme.

Bilder mit freundlicher Genehmigung durch Tescan s.r.o., Czech Republic



Irrtümer und/oder Änderungen vorbehalten. PT 0631 PDE (Juli 2021/0)

**Sie suchen eine optimale  
Vakuumlösung?  
Sprechen Sie uns an:**

**Pfeiffer Vacuum GmbH**  
Germany  
T +49 6441 802-0

**Folgen Sie uns auf Social Media  
#pfeiffervacuum**



[www.pfeiffer-vacuum.com](http://www.pfeiffer-vacuum.com)

**PFEIFFER**  **VACUUM**