

# LASEROPTISCHES AUSRICHTEN AN TRIEBSTRÄNGEN

## ERFAHRUNGEN MIT DER LIVETREND-FUNKTION



Bild 1: Ansicht eines typischen  
Triebstranges mit veranschaulichten  
Ausrichtabweichungen

Führt man Fehlermöglichkeitseinflussanalysen durch, wird auffällig, dass bei Triebsträngen von Windenergieanlagen eine anwendungsspezifische Ausrichtqualität nicht nur die Schwingungen reduziert, sondern auch Beanspruchungen der miteinander gekoppelten TriebstrangkompONENTEN mindert.

Besonderheit beim Ausrichten von Triebsträngen in Windenergieanlagen, ist das zwingende Berücksichtigen von Ausrichtvorgaben /1/.

Doch beim Ausrichten auf Windenergieanlagen gibt es weitere Einflüsse, die zu erfassen und zu berücksichtigen sind.

## 1. Ausrichten von Maschinensträngen

Aus Fehlermöglichkeitseinflussanalysen (FMEA) lässt sich ableiten, dass Ausrichtfehler die Lebensdauer und Verfügbarkeit von Maschinenkomponenten im allgemeinen und der Wälzlager, Verzahnungen, Dichtungen, Wellen und Kupplungen im Besonderen reduzieren.

Ausrichtabweichungen von gekoppelten Maschinensträngen sind neben der erreichten Ausrichtqualität aber auch abhängig von Verlagerungen und Bewegungen der miteinander gekoppelten Komponenten und von den jeweils verwendeten Kupplungstypen. Starr miteinander gekoppelte Maschinenkomponenten benötigen eine hohe Ausrichtqualität. Maschinenstränge mit gut ausgleichenden Wellenkupp-

lungen können mit weniger Ausrichtqualität „leben“.

Das Vorschreiben von laseroptischem Wellenausrichten schon in Wartungsanleitungen ist eine proaktive Herangehensweise, um vorzeitige Schäden infolge von Ausrichtfehlern zu mindern. Oder man nutzt Ergebnisse von Condition Monitoring Systemen (CMS), um Ausrichtabweichungen frühzeitig zu erkennen. Dominiert z.B. in den Schwinggeschwindigkeitsspektren die einfache Drehfrequenz (1. Ordnung) und/oder die doppelte Drehfrequenz (2.Ordnung), sollten die letzten Ausrichtprotokolle überprüft und die Wellenausrichtung der miteinander gekoppelten Maschinenkomponenten verbessert werden.

## 2. Ausrichten von Triebsträngen

Bei Windenergieanlagen ist laseroptisches Wellenausrichten zwischen Getriebe und Generator inzwischen der aktuelle Stand der Technik. Die Ausrichtgüte zwischen Hauptlager und Getriebe wird dagegen noch zu wenig beachtet (siehe Titelbild). Es zeigt sich jedoch bei Multimegawattanlagen, dass aerodynamische Lasten, Rotormassen und Triebstranggewichte zu zusätzlichen Biegemomenten und Zwangskräften führen, die die Ausrichtqualität zwischen Getriebe und Generator ebenso beeinflussen. In [2] wird sogar empfohlen, Low-Speed Kupplungen zwischen Hauptlager und Hauptgetriebe einzubauen, um auch Beeinflussungen auf die Ausrichtung bis zum Generator hin zu vermeiden.

Beim Wellenausrichten selbst sind bezogen auf die Betriebsbedingungen sowohl der horizontale und vertikale Parallelversatz als auch der horizontale und vertikale Winkelversatz soweit zu verringern, dass die verwendete Kupplung reaktionskraftfrei und verschleißarm die verbleibenden Zwänge ausgleicht. Mit welchen Toleranzen auszurichten ist, hängt von der Art der verwendeten Kupplung und den jeweiligen Drehzahlen ab.

Schon bei dieser Betrachtungsweise wird auffällig, dass nicht nur exakt zu messen ist, sondern Ausrichtergebnisse sorgfältig abzulegen und systematisch zu betrachten sind. PRÜFTECHNIK hat mit der ARC 4.0-Software eine Grundlage geschaffen, damit sich Aus-

richtergebnisse dokumentieren, langfristig verfolgen und übergreifend bewerten lassen. Zusätzlich läßt sich über diese systematische Ergebnisablage sogar flottenübergreifend einschätzen, wie sich gewisse Maschinen-ausrichtungen über die Jahre verhalten.

Bild 2 zeigt einen Ausschnitt aus der Software, wo Daten von verschiedenen Windparks, ähnlich wie bei CMS-Software, hinterlegt sind.

In der ARC-Software besteht die Möglichkeit, allgemein bekannte, herstellerebene oder auch eigene Versatzwerte und erforderliche Ausrichtqualitäten anwendungsbezogen zu hinterlegen.

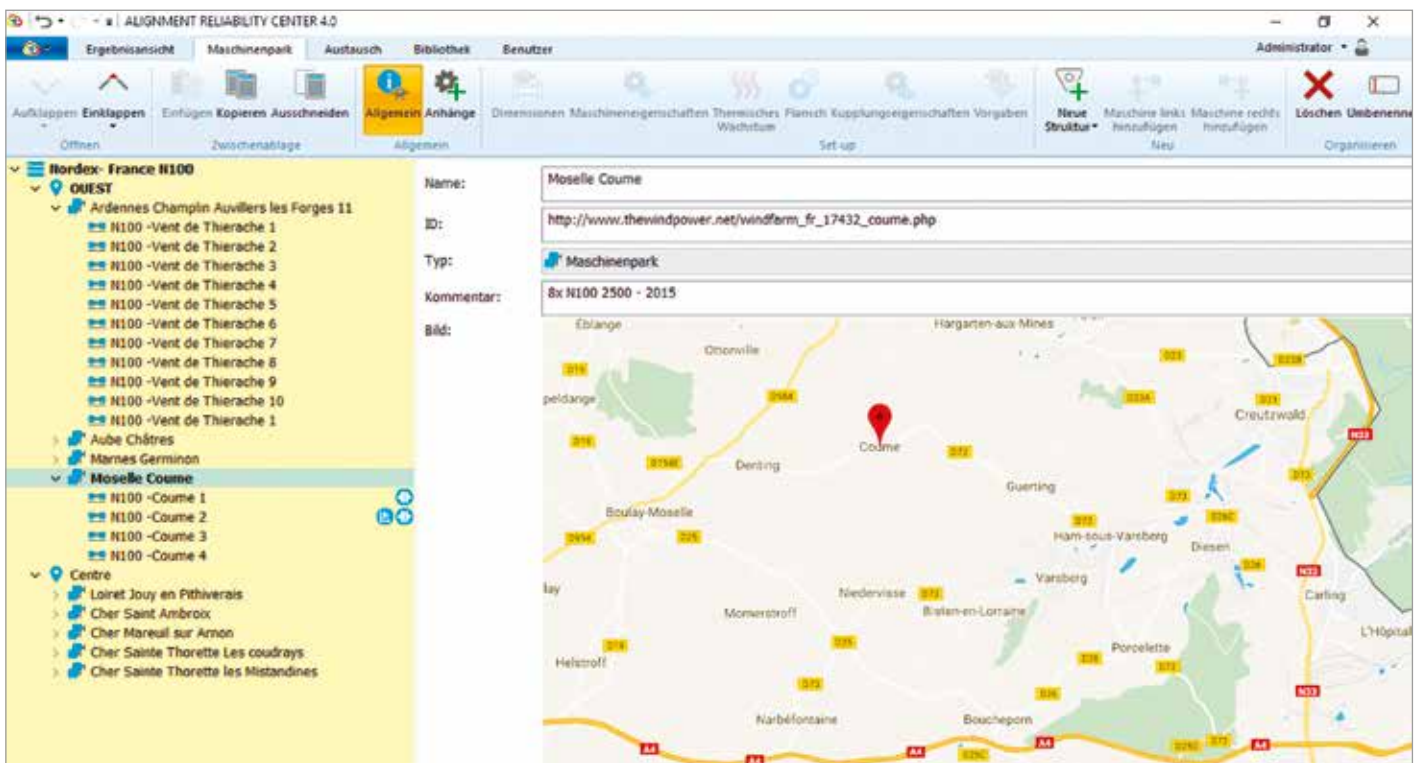


Bild 2 : Verzeichnisbaum aus der ARC4.0 Software zur Verwaltung von Ausrichtergebnissen für mehrere Windparks

### 3. Anforderungen an die Messtechnik zum Wellenausrichten

Das Wellenausrichten kann mit Messuhren oder mit laseroptischer Ausrichtmesstechnik stattfinden. Laseroptisches Ausrichten ist schnell und sicher und Ergebnisse werden im Laserausrichtgerät gespeichert.

Betreibern von WEA wird empfohlen, darauf zu achten, dass die Istzustände der Maschinenausrichtung eindeutig dokumentiert werden und dass die Dokumente eindeutig lesbar, vorzeichenbehaftet und interpretierbar sind. Zu beachten ist ebenso, dass aus Arbeitsschutzgründen Ausrichtsysteme zu bevorzugen sind, wo sich Ausrichterergebnisse ohne Demontage der Kupplung und unter dem Kupplungsschutz schon beim Drehen erfassen lassen.

Ausrichtspezialisten wissen, dass in der Windenergiebranche weitere Anforderungen beim Ausrichten zu beachten sind. So können je nach Anlagentyp folgende zusätzliche Beeinflussungen entstehen:

- ▶ Veränderungen der Ausrichtung in Abhängigkeit vom Montagezustand (mit oder ohne Rotor gemessen, am Boden oder in der Gondel gemessen)
- ▶ Veränderungen der Ausrichtung in Abhängigkeit von der Gondelposition zum Wind
- ▶ Veränderungen der Ausrichtung in Abhängigkeit vom Wuchtzustand der Rotorblätter
- ▶ Veränderungen in Abhängigkeit vom Yawen
- ▶ Veränderungen der Ausrichtung in Abhängigkeit von der Leistung
- ▶ Veränderungen in Abhängigkeit von Verformungen, Bewegungen und Verlagerungen /4/

Die neue LiveTrend-Funktion in ROTALIGN® touch bietet die Möglichkeit, um temporär die genannten Beeinflussungen messtechnisch zu erfassen.

Nachfolgend wird beispielhaft gezeigt, welche zusätzlichen Ergebnisse sich ermitteln lassen, und welche Empfehlungen PRÜFTECHNIK für die Windbranche ableitet.



Bild 3 (links) und 3a (rechts) : Ansichten der montierten Lasersensoren, um Verlagerungen, Bewegungen und Verkippen der Triebstrangkomponenten zueinander zu erfassen

### 4. Die LiveTrend-Funktion in der Anwendung und Empfehlungen

Die Bilder 3 und 3a zeigen installierte Laserkomponenten, um Änderungen von Ausrichtzuständen sowohl zwischen Hauptlagergehäuse und Getriebegehäuse als auch zwischen Getriebegehäuse und Generatorgehäuse mit der LiveTrend-Funktion aufzeichnen zu können.

Die Befestigung der Laserkomponenten erfolgte jeweils mit Magneten. Die Mes-

sergebnisse der Sensorik wurden in den ROTALIGN®- Systemen abgespeichert und dann zur Nachbearbeitung in die ARC4.0 Software übertragen.

Vorbemerkt sei, dass sich die nachfolgenden Ergebnisse und Interpretationen nur auf eine individuelle Windenergieanlage mit klassischer Dreipunktlagerung und beidseitiger Abstützung in Elastomerbuchsen

beziehen. Ergebnisse von ähnlichen Messungen an anderen Anlagentypen mit entsprechenden Fehlererscheinungen werden nicht dargestellt. Sie sind jeweils individuell zu bewerten.



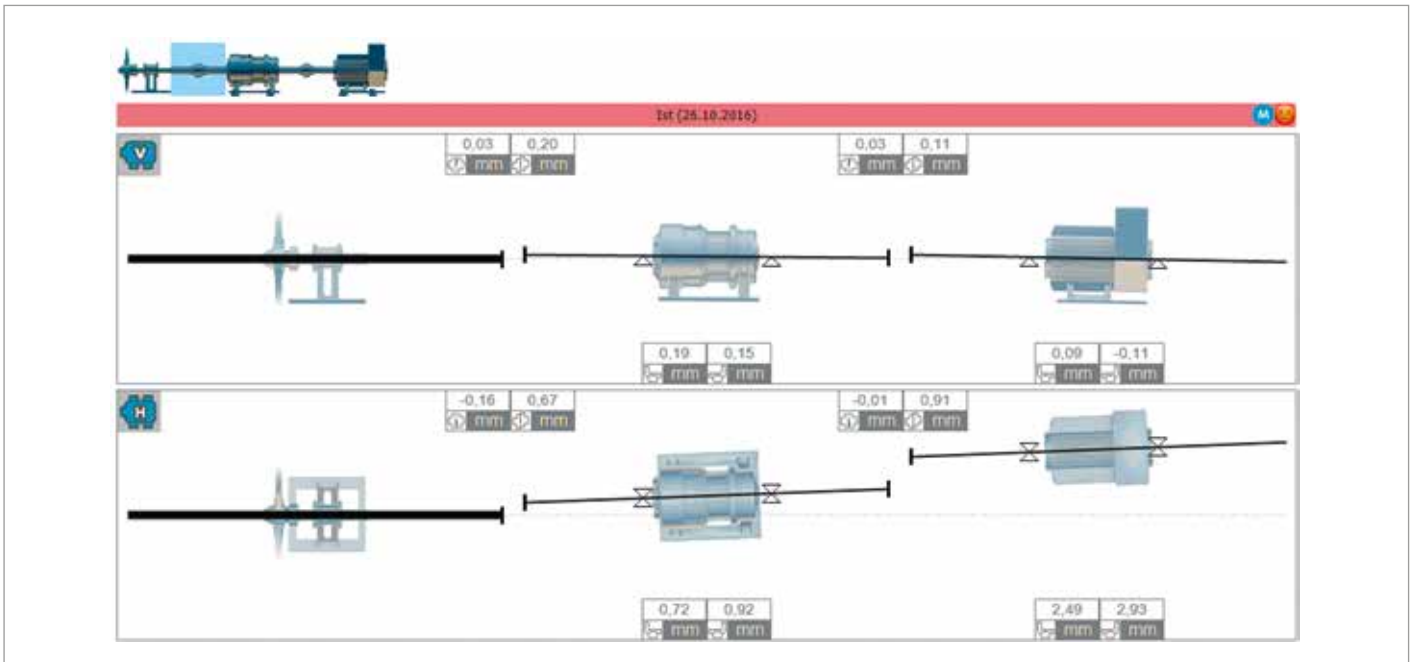


Bild 4 : Horizontale Verlagerungen des Getriebes und Generators zum Hauptlager bei der Gondelposition quer zum Wind (ausgewertet in der ARC4.0 Software)

### a) Einfluss der Gondelposition auf die Ausrichtung

Dass das Ausrichten bei Seitenwind auf Windenergieanlagen schwierig ist, ist Praktikern bekannt. Dass die Position der Gondel zum Wind auch Ausrichtergebnisse beeinflusst, haben schon einige Anwender von laseroptischer Ausrichttechnik festgestellt. Mit der LiveTrend-Funktion lassen sich diese elastischen Verformungen und geometrischen Einflüsse aus der Turm-/Gondelmontage online dokumentieren.

Ein simpler Test bringt hier schnell Klarheit. Montieren Sie die Sensoren, schalten Sie den ROTALIGN® und die LiveTrend-Funktion ein, lassen Sie die Gondel um 360 Grad drehen und dann wird geprüft, wo, wie und wieviel sich die Positionen der TriebstrangkompONENTEN zueinander bei der Gondeldrehung ändern. In Bild 4 sind die Veränderungen in Bezug zur Gondelposition in Windrichtung dargestellt (gemessen bei etwa 3 m/s Windgeschwindigkeit, festgebremsten Hauptrotor und Gondelposition quer zum Wind). Es läßt sich ablesen, dass sowohl das Getriebegehäuse zum Hauptlagergehäuse als auch der Generator zum Getriebe seitlich weggedrückt wird. Der Generator verschiebt sich um etwa 2,5 mm nach links und das Getriebe um etwa 1 mm. In vertikaler Richtung gab es bei dieser WEA nur vernachlässigbare Änderungen.

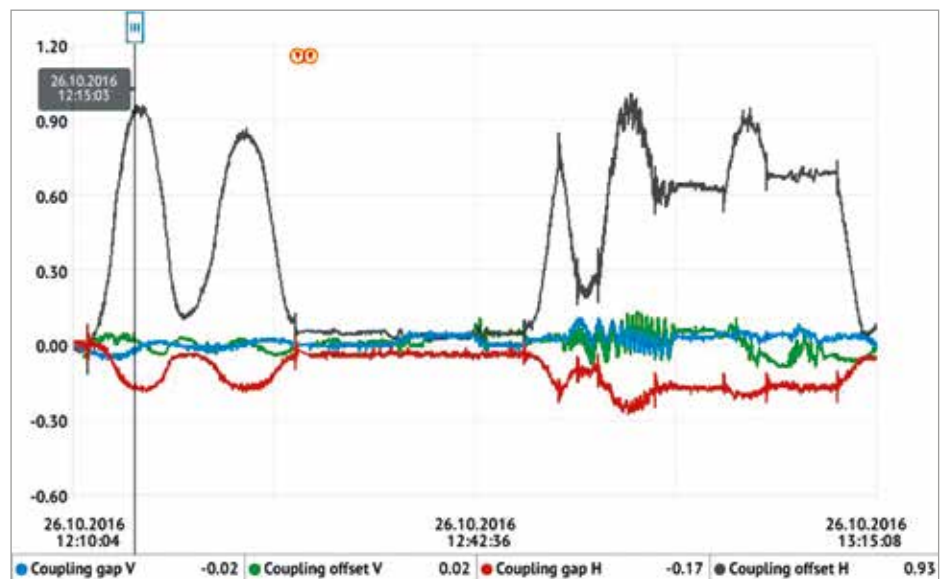


Bild 5 : Zeitsignale aus ROTALIGN Touch bei verschiedenen Testfahrten, der Einfluss des Yaw-Vorgangs ist als kurze Spitze ersichtlich

### b) Einfluss der Rotorblattstellung auf die Ausrichtung

#### EMPFEHLUNG 1

Beachten Sie beim laseroptischen Ausrichten von Triebsträngen, dass die Gondel in Windrichtung steht.

#### EMPFEHLUNG 2

Berücksichtigen Sie bei der Festlegung von Ausrichtvorgaben die Nachgiebigkeiten der elastischen Getriebeeinbindung.

Aus den aufgezeichneten Zeitsignalen läßt sich in ROTALIGN® touch auch beim langsamen Drehen des Hauptrotors relativ schnell überprüfen, ob signifikante Einflüsse vom Hauptrotor, einem Rotorblatt, der Schrumpfscheibenverbindung auf die Ausrichtung zwischen Hauptlager und Getriebe existieren. Bild 5 zeigt ein Hardcopy des ROTALIGN® touch-Bildschirms.

Im linken Grafikteil sind Versuche beim Drehen der Gondel und im rechten Teil insgesamt

13 Rotorumdrehungen gezeigt. Da die Rotorblätter dieser WEA sehr gut ausgewuchtet sind, gab es nur geringe kardanische Beeinflussungen. Auch die Auswirkungen temporär eingebrachter Gier- und Nickmomente blieben klein.

### EMPFEHLUNG 3

Beachten Sie beim laseroptischen Ausrichten, dass vor Beginn des Wellenausrichtens mindestens eine Umdrehung des Hauptrotors mit der LiveTrend-Funktion zu vermessen ist.

### EMPFEHLUNG 4

Berücksichtigen Sie bei der Festlegung von Ausrichtvorgaben das Verlagern der Getriebeeinbindung in Abhängigkeit von der Rotorblattstellung.

### c) Einfluss des Yaw-Vorganges auf die Ausrichtung

Mit ROTALIGN® touch ist es möglich, im Zehntel-Sekundenbereich Positions- und Winkelveränderungen online aufzuzeichnen.

Dies ermöglicht es, auch mögliche Verkippungen beim Yaw-Vorgang aufzuzeichnen und eventuelle Störungen zu erkennen.

Bild 5 enthält auch die beim Yawen entstehenden Verkippungen zwischen Hauptlagergehäuse und Getriebegehäuse.

### d) Einfluss der Belastung auf die Ausrichtung der Triebstrangkomponenten

Veränderungen der Gehäusepositionen zueinander beim Hochfahren und Belasten der Windenergieanlage lassen sich natürlich genau so online für die Antriebsseite (LSS) und für die Abtriebsseite (HSS) laserbasiert erfassen. Anschließend läßt sich exakt ablesen, wie sich die am Rotor eingeleiteten Kräfte und Momente auf den Maschinenträger und auf die Triebstrangkomponenten übertragen.

Das Hauptlager ist fest mit dem Maschinenträger verbunden und normalerweise Bezugspunkt. Das Getriebe ist zwar axial frei über weiche Elastomerbuchsen am Maschinenträger befestigt, dennoch entstehen

über die beidseitige Lagerung der Getriebe in Lagerböcke gewisse Zwangskräfte, die dazu führen, dass das Getriebegehäuse bei Belastung vertikal einfedert und horizontal weggedrückt wird.

### EMPFEHLUNG 5

Beachten Sie bei derartigen Versuchen, dass bei Belastung das Hauptgetriebe auch torsional verdreht wird, was bei der Messdurchführung mit einer Anordnung eines zweiten Laserpaares um 90 Grad versetzt kompensiert werden kann.

### EMPFEHLUNG 6

Maschinenbaulich sollten steifere Getriebeeinbindungen grundsätzlich bevorzugt werden.

### EMPFEHLUNG 7

Bei zu weichem Maschinenträger sollten zusätzliche laserbasierte Verformungsmessungen eingeplant werden.

## 5. Ermitteln von Ausrichtvorgaben und laseroptisches Ausrichten

Mit laserbasierten Condition Monitoring Systemen lassen sich Ausrichtvorgaben auch über längere Zeiträume ermitteln. /3/ Dazu werden jeweils an den Triebstrangkomponenten in vertikaler und in horizontaler Richtung Laserkomponenten und Reflektoren montiert, die permanent die aktuellen horizontalen und vertikalen Radial- und Winkelpositionen der Triebstrangkomponenten zueinander messen. Kommt es zu

räumlichen Verlagerungen, wird der präzise Laserstrahl in eine neue Position auf der Empfängerfläche abgelenkt und die parallele und winklige Flächenposition gemessen. Die Bilder Bild 6a und 6b zeigen zwei Darstellungen von der Montage von Laser/Empfänger-Einheiten am Hauptlagergehäuse und am Getriebegehäuse.

Anschließend werden diese ermittelten Vorgabewerte in die ARC 4.0 Software abgelegt, in das Ausrichtgerät übertragen und beim Ausrichtvorgang automatisch berücksichtigt. Der Triebstrang ist dann im Stillstand so „falsch auszurichten“, dass unter Betriebsbedingungen die ideale Wellenausrichtung erreicht wird /1/.

Betreibern sei empfohlen, die anlagenspezifischen Vorgabewerte für das Ausrichten beim Anlagenhersteller zu erfragen oder ermitteln zu lassen.

Anlagenhersteller sollten Ausrichtvorgaben sowohl berechnen als auch messtechnisch validieren.

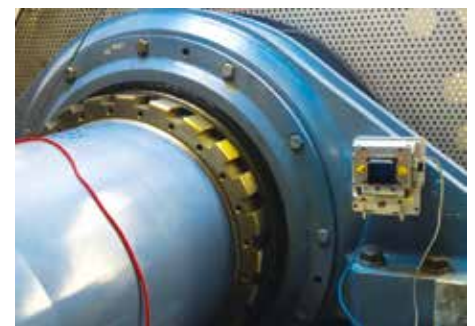


Bild 6a (oben) und 6b (unten) : Montage der Laser/Empfänger-Einheit, links am Hauptlager, rechts am Getriebe zum Ermitteln von Ausrichtvorgaben

## Literatur :

/1/ Edwin Becker, Ole Holstein:

„Ausrichten mit Vorgabewerten reduziert Schwingungen“  
Erneuerbare Energie 10/2007, S.35-37

/2/ Alexander Kari:

„Zwangskräfte und Biegemomente-Non-Torque Loads- in Antriebssträngen von Windturbinen“  
WIND-KRAFT Journal 2/2016, S.22-26

/3/ [http://wind.machine-reliability.com /de/#video](http://wind.machine-reliability.com/de/#video)

/4/ [www.pruftechnik.com](http://www.pruftechnik.com) , Flyer „GEO6“

## Autor :

Dr. Edwin Becker

Head of Service Center

PRÜFTECHNIK Condition Monitoring GmbH

Oskar-Messter-Str. 19-21

85737 Ismaning, Deutschland

Tel. : (+49) 0 89 / 99616-0

[edwin.becker@pruftechnik.com](mailto:edwin.becker@pruftechnik.com)

[www.pruftechnik.com](http://www.pruftechnik.com)

---

### Autor:

Dr. Edwin Becker

### Über PRÜFTECHNIK:

Der PRÜFTECHNIK-Konzern setzt mit seinen Niederlassungen und Partnern in mehr als 70 Ländern weltweit immer wieder neue Maßstäbe durch innovative technische Weiterentwicklungen im Bereich der Maschinenausrichtung und Schwingungsmesstechnologie, um die Betriebssicherheit von Maschinen und Anlagen zu maximieren und optimieren.

### Ansprechpartner für Presseanfragen:

Christian Wanner

Tel.: +49 89 9916-344

[christian.wanner@pruftechnik.com](mailto:christian.wanner@pruftechnik.com)



PRÜFTECHNIK Dieter Busch AG

Oskar-Messter-Str. 19-21

85737 Ismaning

Germany

Tel.: +49 89 99616-0

Fax: +49 89 99616-200

[info@pruftechnik.com](mailto:info@pruftechnik.com)

[www.pruftechnik.com](http://www.pruftechnik.com)

Ein Unternehmen der PRÜFTECHNIK Gruppe