

# ALINEACIÓN LÁSER DE SISTEMAS DE TRANSMISIÓN

## EXPERIENCIAS CON LA FUNCIÓN LIVE TREND



Imagen 1: vista de un típico sistema de transmisión con desviaciones visibles en su alineación

### 1. Alineación de líneas de máquinas

Si se llevan a cabo análisis modales de fallos y efectos, se pondrá de manifiesto que una alineación de calidad orientada hacia un uso específico de los sistemas de transmisión de aerogeneradores no solo reduce las vibraciones, sino también los esfuerzos de los componentes del sistema de transmisión acoplados entre sí.

Una particularidad propia de la alineación de los sistemas de transmisión de aerogeneradores consiste en que deben tenerse en cuenta las especificaciones relativas a la alineación [1].

Sin embargo, al realizar trabajos de alineación en aerogeneradores, existen otros efectos que deben registrarse y tenerse en cuenta.

De los análisis modales de fallos y efectos (AMFE) puede deducirse que los fallos de alineación reducen la vida útil y la disponibilidad de los componentes de las máquinas en general, y en particular de los cojinetes de rodillos, engranajes, juntas, ejes y acoplamientos.

Las desviaciones en la alineación de las líneas acopladas de máquinas están detrás de la calidad de alineación alcanzada, pero también dependen de los desplazamientos y movimientos de los componentes acoplados entre sí y de los tipos correspondientes de acoplamientos empleados. Los componentes de máquinas acoplados entre sí con rigidez requieren una alineación de alta calidad. Las líneas de máquinas con unos acoplamientos de ejes bien compen-

sados pueden «vivir» con una alineación de calidad inferior.

La prescripción de una alineación láser de ejes recogida en manuales de mantenimiento es una forma proactiva de proceder, a fin de minimizar los fallos prematuros provocados por fallos de alineación. Otra posibilidad consiste en emplear los resultados que aportan los sistemas de monitorización de condiciones (CMS) para una detección temprana de las desviaciones en la alineación. A modo de ejemplo, si en los espectros de la velocidad de vibración domina la frecuencia simple de rotación (primer orden) y/o la frecuencia doble de rotación (segundo orden), deberían comprobarse los últimos protocolos de alineación y mejorarse la alineación de los ejes de los componentes de máquinas acoplados entre sí.

# 1. Alineación de líneas de máquinas

La alineación láser de los ejes entre la caja de engranajes y el generador de los aerogeneradores se ha convertido en el procedimiento de alineación más avanzado en la actualidad. Sin embargo, se presta muy poca atención a la calidad de la alineación entre el cojinete principal y la caja de engranajes (véase la imagen que acompaña al título). Además, en las instalaciones múltiples con potencia de megavatios, se constata que las cargas aerodinámicas, masas de los rotores y pesos de los sistemas de transmisión producen momentos flectores y fuerzas de restricción adicionales que también afectan a la calidad de la alineación entre la caja de engranajes y el generador. En /2/ incluso se recomienda montar acoplamientos de baja velocidad entre el cojinete principal y la caja de engranajes principal, con el objetivo de evitar efectos en la alineación hasta el generador.

Al alinear ejes, debe reducirse tanto el desplazamiento paralelo horizontal y vertical como el desplazamiento angular horizontal y vertical en relación con las condiciones de funcionamiento, hasta que el acoplamiento utilizado compense las restricciones restantes sin par de reacción y sin producir desgaste. Con qué tolerancias debe alinearse depende del tipo de acoplamiento empleado y de las RPM correspondientes.

Con este enfoque queda de manifiesto que no solo debe medirse con precisión, sino que también deben archivar los resultados de alineación con cuidado y examinarlos de manera sistemática. PRUFTECHNIK ha creado con el software ARC 4.0 la base para documentar los resultados de alineación, someterlos a un seguimiento a largo plazo y evaluarlos

globalmente. Asimismo, por medio de este archivo sistemático de resultados incluso puede evaluarse en todo el parque de máquinas el comportamiento de determinadas alineaciones de máquinas a lo largo de los años.

La imagen 2 muestra una sección del software en la que se almacenan datos de distintos parques eólicos de una manera similar al software de monitorización de condiciones.

En el software ARC existe la posibilidad de almacenar valores de desplazamiento generalmente conocidos, facilitados por los fabricantes o incluso propios, así como los niveles de calidad necesarios para la alineación en relación con sus aplicaciones concretas.

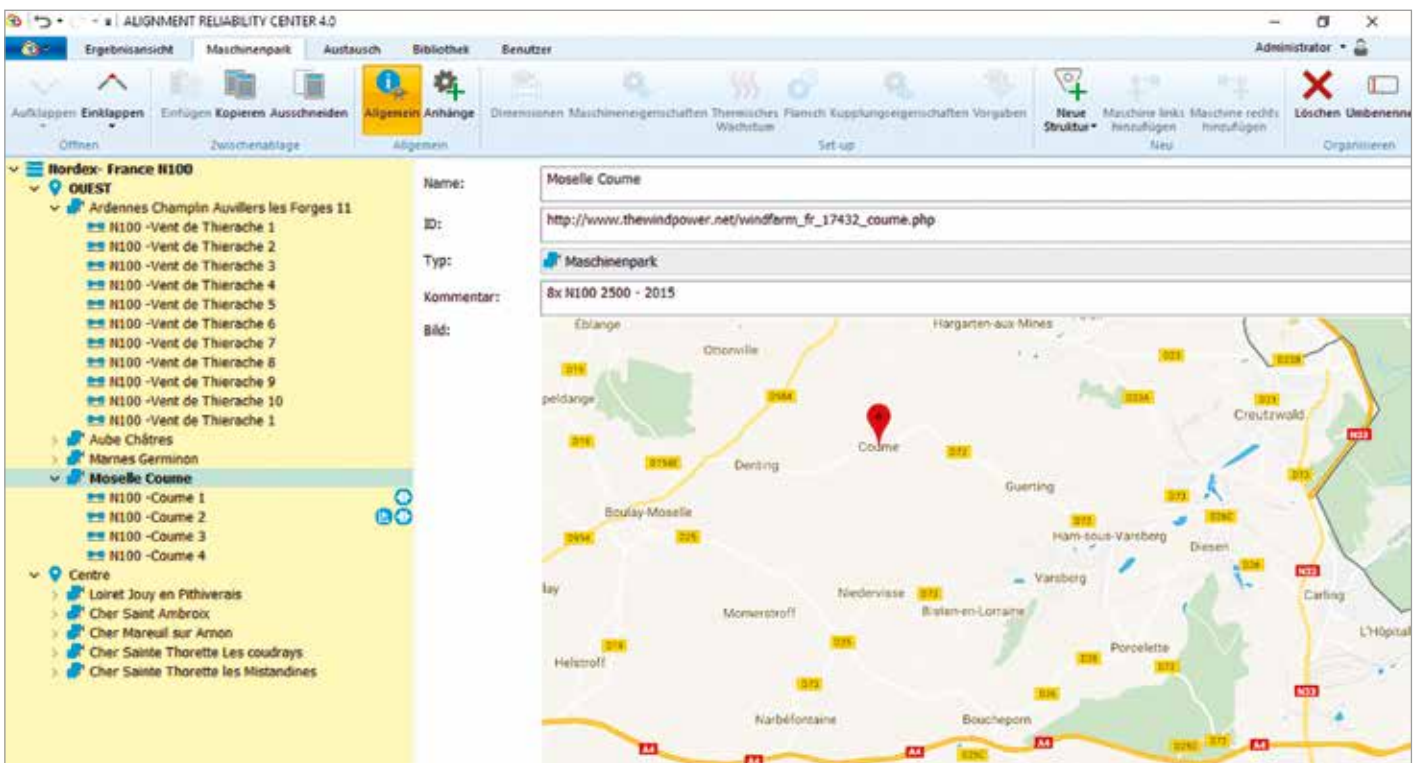


Imagen 2: árbol de carpetas del software ARC 4.0 para gestionar los resultados de alineación de varios parques eólicos

### 3. Requisitos de los equipos de medición para la alineación de ejes

La alineación de ejes puede llevarse a cabo con relojes comparadores o equipos de alineación láser. La alineación láser es rápida y segura, y los resultados se guardan en el dispositivo de alineación láser.

A las empresas explotadoras de aerogeneradores se les recomienda asegurarse de que los estados reales de la alineación de las máquinas se documenten de manera inequívoca y que los documentos puedan leerse también de forma inequívoca, acompañados de signos y que, asimismo, puedan interpretarse.

Del mismo modo, debe garantizarse que los sistemas de alineación sean prioritarios por razones relacionadas con la seguridad en el trabajo. En dichos sistemas, mientras estos giran pueden recopilarse los resultados de alineación sin desmontar el acoplamiento y bajo la protección del mismo.

Los especialistas en alineación saben que deben considerarse otros requisitos de alineación en el sector eólico. Así, en función del tipo de instalación, pueden darse los siguientes efectos adicionales:

- ▶ Cambios en la alineación que dependen del estado del montaje (medidos con o sin rotor; medidos en la base o en la góndola)
- ▶ Cambios en la alineación que dependen de la posición de la góndola con respecto al viento
- ▶ Cambios en la alineación que dependen del equilibrado de las palas del rotor
- ▶ Cambios que dependen de la guiñada
- ▶ Cambios en la alineación que dependen de la potencia
- ▶ Cambios que dependen de deformaciones, movimientos y desplazamientos /4/

La nueva función Live Trend de ROTALIGN® touch permite registrar temporalmente los mencionados efectos empleando equipos técnicos de medición.

A continuación, a modo de ejemplo se mostrará qué resultados adicionales pueden obtenerse y qué recomendaciones proporciona PRUFTECHNIK al sector eólico.



Imagen 3 (izquierda) y 3a (derecha): vistas de los sensores láser montados para registrar desplazamientos, movimientos y desviaciones de los componentes del sistema de transmisión, unos con respecto a los otros

### 4. Uso de la función LiveTrend y recomendaciones

Las imágenes 3 y 3a muestran componentes láser instalados para poder registrar con la función LiveTrend los cambios en los estados de alineación entre la carcasa del cojinete principal y la carcasa de la caja de engranajes, y entre la carcasa de la caja de engranajes y la carcasa del generador.

La fijación de los componentes láser se lleva a cabo utilizando imanes. Los resultados

de medición aportados por el sistema de sensores se almacenaron en los sistemas ROTALIGN® y, seguidamente, se enviaron para un procesamiento posterior empleando el software ARC 4.0.

Debe tener en cuenta que los resultados e interpretaciones que se expondrán a continuación se relacionan únicamente con un aerogenerador específico, que cuenta con

un soporte de tres puntos y apoyos a ambos lados en los casquillos de elastómero. No se muestran los resultados de mediciones similares en otros tipos de instalaciones con sus correspondientes errores manifestados. Cada uno de dichos resultados debe evaluarse por separado.

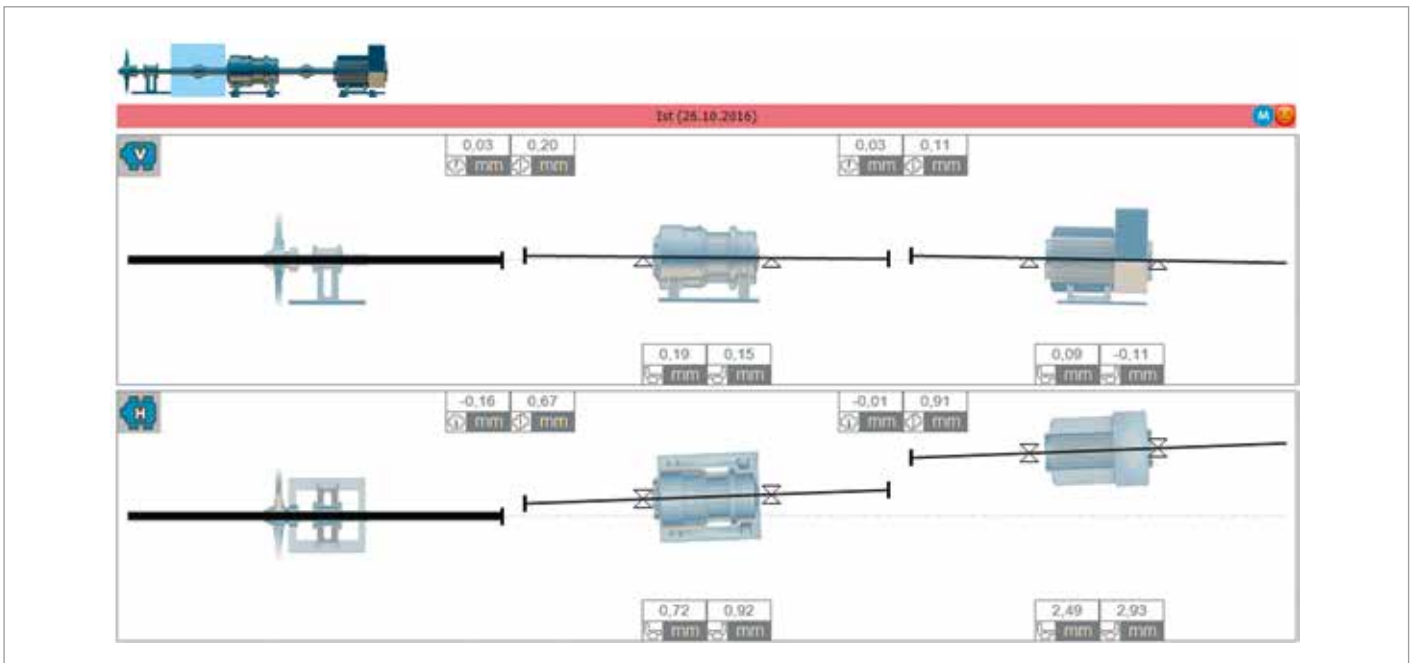


Imagen 4: desplazamientos horizontales de la caja de engranajes y del generador con respecto al cojinete principal con la góndola posicionada transversal al viento (análisis del software ARC 4.0)

### a) Influencia de la posición de la góndola en la alineación

Los profesionales saben que resulta difícil realizar una alineación en aerogeneradores cuando el viento es lateral. Asimismo, algunos usuarios de equipos de alineación láser ya han comprobado que la posición de la góndola con respecto al viento también influye en los resultados de la alineación. Estas deformaciones elásticas y efectos geométricos derivados del montaje de la torre y la góndola pueden documentarse en tiempo real con la función LiveTrend.

Una simple prueba nos aclara rápidamente lo expuesto anteriormente. Monte los sensores, encienda el sistema ROTALIGN® y la función LiveTrend; gire la góndola alrededor de un ángulo de 360 grados y, a continuación, se comprobará dónde, cómo y cuánto han cambiado las posiciones de los componentes del sistema de transmisión, unos con respecto a los otros, al girar la góndola. En la imagen 4 se muestran los cambios en relación con la posición de la góndola en la dirección del viento (medición a una velocidad del viento aproximada de 3 m/s, rotor principal bloqueado y la posición de la góndola transversal al viento).

Puede verse que tanto la carcasa de la caja de engranajes con respecto a la carcasa del cojinete principal, como el generador con respecto a la caja de engranajes presionan lateralmente hacia fuera. El generador se desplaza unos 2,5 mm a la izquierda y la caja de engranajes 1 mm aprox. Los cambios en dirección vertical de este aerogenerador eran insignificantes.

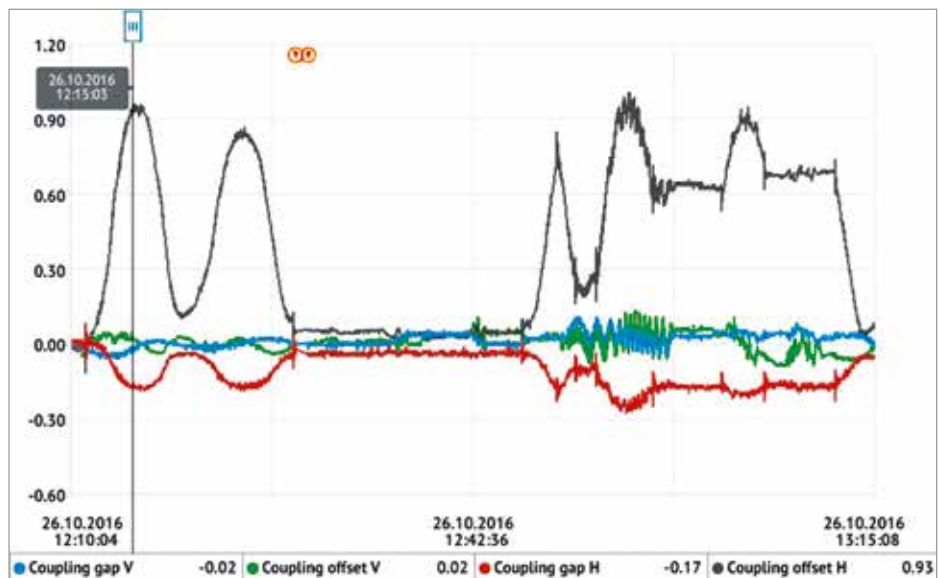


Imagen 5: señales de tiempo de ROTALIGN touch durante distintas pruebas; el efecto de la guiñada puede apreciarse representada como un pico corto

### b) Influencia de la posición de las palas del rotor en la alineación

#### RECOMENDACIÓN 1

Al llevar a cabo una alineación láser de sistemas de transmisión, asegúrese de que la góndola se encuentra en la dirección del viento.

#### RECOMENDACIÓN 2

Al establecer las especificaciones de la alineación, tenga en cuenta la elasticidad de la unión elástica de la caja de engranajes.

Basándonos en las señales de tiempo registradas en ROTALIGN® touch, al girar lentamente el rotor principal, también puede comprobarse con relativa rapidez si existen influencias significativas del rotor principal, de una pala del rotor o de la unión de los discos de contracción en la alineación entre el cojinete principal y la caja de engranajes. La imagen 5 muestra una copia impresa de la pantalla de ROTALIGN® touch.

En la parte izquierda de la gráfica se muestran los ensayos realizados durante el giro de la góndola y en la parte derecha se muestra un total de 13 giros del rotor. Debido a que las palas del rotor de este aerogenerador gozan de un equilibrado muy bueno, se

constataron pocos efectos de tipo cardánico. Asimismo, los efectos de los momentos temporales de cabeceo y guiñada se mantuvieron a un nivel bajo.

### RECOMENDACIÓN 3

Al realizar una alineación láser, asegúrese de que se mida al menos un giro del rotor principal con la función LiveTrend antes de alinear los ejes.

### RECOMENDACIÓN 4

Al establecer las especificaciones de alineación, tenga en cuenta el desplazamiento de la unión elástica en función de la posición de las palas del rotor.

#### c) Influencia del proceso de guiñada en la alineación

Con ROTALIGN® touch es posible registrar en línea y en décimas de segundo los cambios posicionales y angulares.

Ello también permite registrar posibles desviaciones durante el proceso de guiñada y detectar posibles averías.

La imagen 5 también incluye las desviaciones que se producen durante la guiñada entre la carcasa del cojinete principal y la carcasa de la caja de engranajes.

#### d) Influencia del esfuerzo en la alineación de los componentes del sistema de transmisión

Los cambios que se producen en las posiciones de las carcasas, unas con respecto a las otras, al acelerar y someter a esfuerzos al aerogenerador, también pueden registrarse en línea y con precisión para el lado accionador (LSS) y el lado receptor (HSS) empleando la tecnología láser. A continuación, puede leerse con exactitud cómo se transmiten las fuerzas y momentos generados en el rotor hacia el soporte de la máquina y los componentes del sistema de transmisión.

El cojinete principal está unido con firmeza al soporte de la máquina y, normalmente, constituye el punto de referencia. Aunque la caja de engranajes está fijada con libertad y axialmente al soporte de la máquina por medio de casquillos blandos de elastómero, se generan determinadas fuerzas de restricción a través del rodamiento situado a ambos lados de la caja de engranajes en el interior de los blo-

ques de los cojinetes, que provocan que la carcasa de la caja de engranajes se comprima verticalmente y haga presión hacia fuera y horizontalmente al aplicarse un esfuerzo.

### RECOMENDACIÓN 5

Al realizar ensayos de este tipo, asegúrese de que la caja de engranajes principal también gire de manera torsional al aplicarse un esfuerzo, lo que, al tomar las mediciones, puede compensarse colocando un segundo par de láseres con un desplazamiento de 90 grados.

### RECOMENDACIÓN 6

Desde una perspectiva mecánica, deberían priorizarse las uniones más rígidas de la caja de engranajes.

### RECOMENDACIÓN 7

Si el soporte de la máquinas es demasiado blando, deberían realizarse unas mediciones adicionales de la deformación empleando un sistema láser.

## 4. Uso de la función LiveTrend y recomendaciones

Empleando sistemas de monitorización láser de condiciones, las especificaciones de alineación también pueden calcularse a lo largo de periodos de tiempo prolongados. /3/ Para ello, se montan componentes láser y reflectores junto a los componentes del sistema de transmisión en dirección vertical y horizontal. Dichos componentes y reflectores medirán permanentemente las actuales posiciones angulares y radiales en dirección vertical y horizontal de los componentes del sistema de transmisión, unos con respecto a los otros. Si se producen desplazamientos espaciales, el haz láser de precisión se desvía hacia una nueva posición sobre la superficie del receptor y se mide la posición paralela y angular de dicha superficie.

Las imágenes 6a y 6b muestran dos fotografías tomadas antes del montaje de las unidades láser y receptora en la carcasa del

cojinete principal y en la carcasa de la caja de engranajes.

A continuación, estos valores predeterminados que se han calculado se almacenan en el software ARC 4.0, se envían al dispositivo de alineación y se computan automáticamente durante el proceso de alineación. Seguidamente, el sistema de transmisión debe «alinearse en parada de forma tan errónea» que se alcance la alineación de ejes ideal en condiciones de funcionamiento /1/.

A las empresas explotadoras se les recomienda conocer los valores predeterminados específicos de la instalación correspondiente, ya sea solicitándolos al fabricante de la instalación o calculándolos ellos mismos.

Los fabricantes de las instalaciones deberían calcular las especificaciones de alineación y también validarlas empleando técnicas de medición.

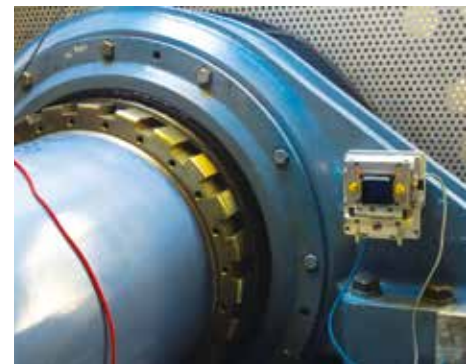


Imagen 6a (arriba) y 6b (abajo): montaje de la unidad láser y receptora —a la izquierda junto al cojinete principal y a la derecha junto a la caja de engranajes— para calcular las especificaciones de alineación

## Literatura:

/1/ Edwin Becker, Ole Holstein:  
«Ausrichten mit Vorgabewerten reduziert Schwingungen»  
Erneuerbare Energie 10/2007, pág. 35-37

/2/ Alexander Kari:  
«Zwangskräfte und Biegemomente-Non-Torque  
Loads- in Antriebssträngen von Windturbinen»  
WIND-KRAFT Journal 2/2016, pág. 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) , folleto «GEO6»

## Autor:

Dr. Edwin Becker  
Head of Service Center  
PRUFTECHNIK Condition Monitoring GmbH  
Oskar-Messter-Str. 19-21  
85737 Ismaning, Alemania  
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

## Acerca de PRUFTECHNIK:

El grupo PRUFTECHNIK, junto con sus sociedades y socios en más de 70 países, sigue implantando constantemente nuevos estándares gracias a desarrollos técnicos innovadores en los ámbitos de la alineación de máquinas y la tecnología de medición de vibraciones, a fin de maximizar y optimizar la seguridad en el funcionamiento de máquinas e instalaciones.

## Contacto de prensa:

Christian Wanner  
Tel.: +49 89 9916-344  
[christian.wanner@pruftechnik.com](mailto:christian.wanner@pruftechnik.com)



PRUFTECHNIK 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)

A member of the PRUFTECHNIK group