



# **Schraubenbruchüberwachung in Windenergieanlagen**

**Dr.- Ing. Dieter Frey  
Ingenieurbüro Frey  
Bürgermeister Kröger Str. 17  
21244 Buchholz-Sprötze  
Tel: 04186 / 55 51 Fax: 50 44  
dieter.frey@ing-buero-frey.de  
www.ing-buero-frey.de**

Vorstellung und Messsystem von Ingenieurbüro Frey

Weiterbetrieb nach 20 Jahren

Aktuelle Praxis

Schadensbilder und Schrauben im Verband

Motivation für eine Schraubenbruchüberwachung

Belastungen für Schraubenverbindungen

Zielgruppen

Was passiert wenn eine Schraube bricht?

Anforderungen und Randbedingungen

Unser Schraubenbrucherkenkungssystem und Varianten

Der Nutzen

Zusammenfassung und Selbstkritik

Das Patentrechtliche

**Belastungsmessungen an WEA nach IEC 61400-13**

**Leistungskennlinienmessungen an WEA nach IEC 61400-12-1**

**Strukturtests an Rotorblättern nach IEC 61400-23**

**Entwicklung individueller Messsysteme nach Kundenwunsch**

**Lieferung und Einbau von Überwachungssystemen an WEA**

individuelle Ertragsmessungen innerhalb eines Windparks,  
Sektorabschaltungen, Schwingungsüberwachung,  
Blattlagerüberwachung, Lagertemperaturüberwachung

**Begutachtungen an WEA**

Weiterbetriebsgutachten, Wiederkehrende Prüfung ( im Weiterbetrieb )  
Rotorblattbegutachtungen mit Drohne  
Begutachtungen an WEA gemäß Anforderungen der DGUV

## Analoge Messkanäle

### mehrere Standardsysteme

Anzahl: zeitgleich 32, 64, 96, 128 ..... Kanäle

Abtastrate: bis 0 – 1 000 Hz / Kanal

Auflösung: 16 Bit

Messbereich: -10 .. +10 Volt

### ein schnelles System

zeitgleich 8 Kanäle

100 000 Hz / Kanal

16 Bit

-10 .. +10 Volt

## Digitale Messkanäle

Anzahl: zeitgleich 16, 32, 64 .... Kanäle

Abtastrate: 10 000 Hz

## Datenaufzeichnung

Automatisch entsprechend vorheriger Konfiguration

## Fernzugriff

weltweit kann auf das System zugegriffen werden, um die Konfiguration zu ändern oder Messdaten abzuholen.

In Berechnungen zum möglichen Weiterbetrieb von WEA über die angeblich ursprünglich geplante Mindestnutzungsdauer hinaus werden Rotorblatt-Schrauben häufig als die Bauteile einer WEA mit der kürzesten Nutzungsdauer genannt und deren Austausch empfohlen oder gar als Auflage formuliert.

Bekannt ist, dass es WEA mit Rotorblatt-Verschraubungen gibt, die die erwartete Nutzungsdauer nicht erreichen und nach dem ersten Schraubenbruch alle Blatt-Schrauben neu montiert ( getauscht ) werden.

Bekannt ist auch, dass Schrauben, die auf Grund einer gutachtlichen Auflage getauscht wurden, häufig keine erkennbaren Schäden aufweisen.

Die Umgebung, in der Schrauben benutzt werden, hat einen großen Einfluss auf deren Haltbarkeit.

Z.B. korrosive Umgebung, schlechte Wartung und zu hohe dynamische Lasten verkürzen die Nutzungsdauer.

## **Schraubentausch nach vorausberechneter Zeit:**

- nach Ablauf einer berechneten Lebensdauer werden alle Schrauben getauscht. Eine zusätzliche Überwachung auf Schraubenbruch entfällt in der Regel. In jeder Hinsicht ein Verfahren mit geringer realer Aussagekraft.

## **Schraubenprüfung durch Klangprobe:**

- das alte Verfahren ( Streckenläufer bei der Eisenbahn ) hat durchaus noch seine Berechtigung. Durch Anschlagen der Schrauben wird an dem entstehenden Klang erkannt, ob eine Schraube sich wesentlich von anderen Schrauben in der Verbindung unterscheidet. Geht recht schnell, hat jedoch gegenüber dem Ultraschallverfahren eine geringere Aussagekraft.

## **Schraubenprüfung mit Ultraschall:**

- in vorgegebenen Zeitabständen werden die Schrauben in einem händisches Verfahren mit einem Ultraschallgerät auf Anrisse geprüft.

**Bei allen Verfahren gibt es lange Zeiträume ohne Überwachung !!**

## **z.B. abgerissenes Rotorblatt:**

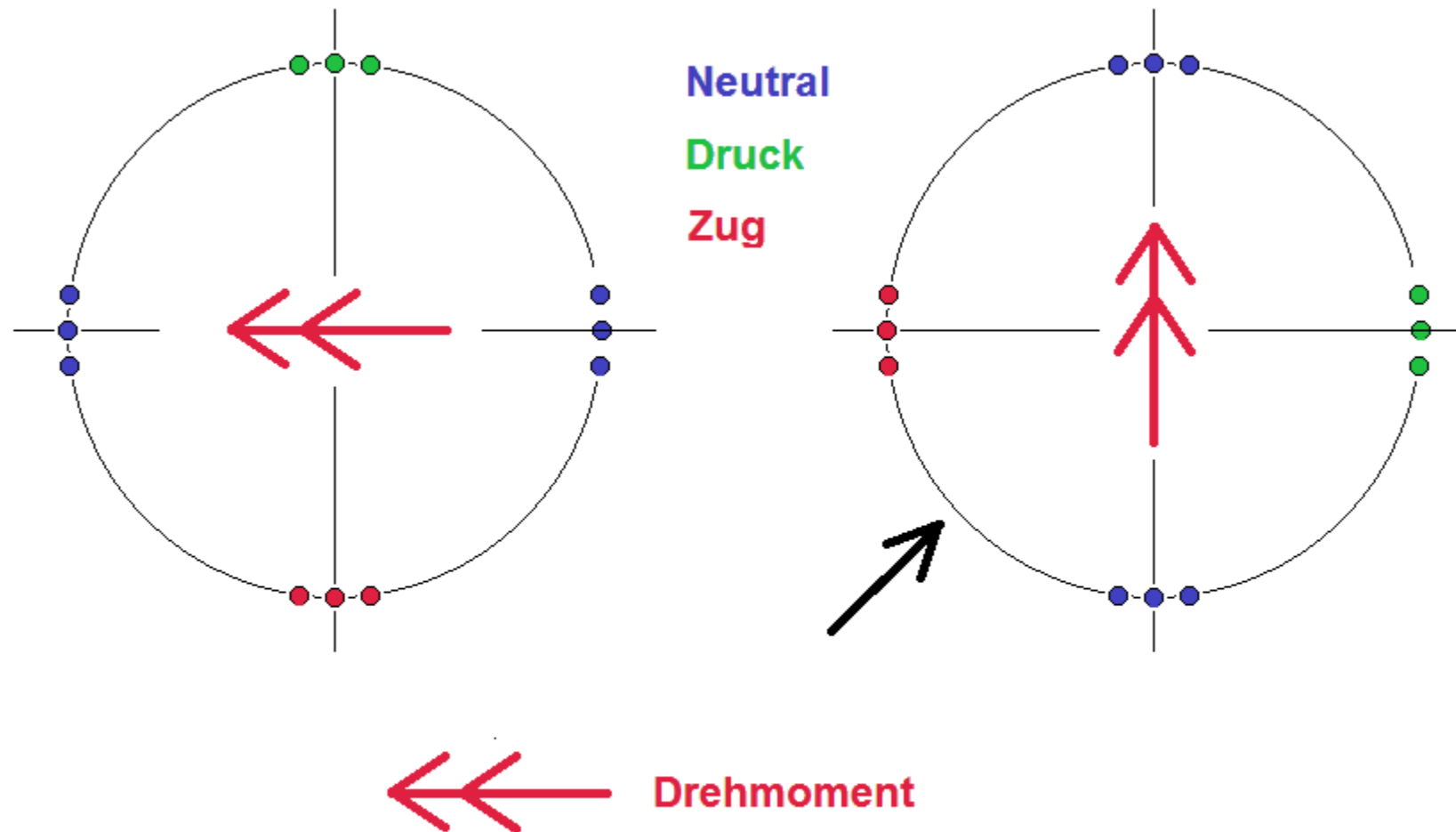
- Eine ( 1 ) abgerissene Schraube in einer Flanschverbindung führt dazu, dass die benachbarten Schrauben stärker belastet werden, wodurch sich deren Lebensdauer schneller verkürzt. Derartige Schrauben sind ohnehin schon kurz vor dem Ende der möglichen Nutzungsdauer. Bleiben weitere Schraubenbrüche unerkannt, fällt zuletzt das Bauteil aus.

## **Großer Schaden innerhalb der Nabe:**

- Schrauben, mit denen das Rotorblatt befestigt ist, haben ein Gewicht, das ausreicht innerhalb einer sich ständig drehenden Nabe einen erheblichen Schaden anzurichten ( abgeschlagene Farbe und demolierte Einbauteile ).

## **Großer Schaden innerhalb des Generators:**

- Bei getriebelosen Windenergieanlagen besteht die Möglichkeit, dass Bruchteile der Schrauben aus dem Rotor in den Luftspalt des Generators kommen, was in jedem Fall einen großen Schaden verursacht.



Die blauen Schrauben werden durch Drehmomente nicht belastet.  
Die grünen Schrauben erfahren durch Drehmomente unkritische Druckkräfte.  
Die roten Schrauben werden durch Drehmomente auf Zug belastet, die zur Ermüdung beitragen.

**Unmittelbar benachbarte Schrauben werden nahezu gleich belastet und gleich ermüdet.**



Zu unterscheiden sind kurzzeitige extreme und dauerhafte unvermeidbare Lasten.

## **Extreme Lasten:**

- Bekannt sind extreme, ungewollte Betriebszustände, in denen aus Teilen einer hochfesten Schraubverbindung die Gewinde abgestreift werden, wodurch die Schraubverbindung und ggf. als Folge die Windenergieanlage als Ganzes versagte. Für derartige Ereignisse ist es nicht angebracht, eine permanente automatische Schraubenbruch - Überwachung zu installieren.

## **Dauerhafte unvermeidbare dynamische Lasten:**

- Vor allem wegen der Kerbwirkung in den Gewindegängen sind Schrauben Bauteile, die unter wechselnden Lasten von Dauerschwingungsbrüchen betroffen werden können. Da diese ständigen Lasten unvermeidbar sind, ist es lohnend automatisch zu überwachen, ob eine Schraube gebrochen ist.

Die Nutzungsdauer einer dynamisch belasteten Schraubenverbindung ist von mehreren Faktoren abhängig, deren Auftreten und Wirkung nicht mit Sicherheit vorhergesagt werden kann und somit ist auch die tatsächliche Nutzungsdauer nur sehr ungenau bekannt.

Werden aus „Sicherheitsgründen“ die Schrauben nach Ende einer theoretischen ( nur ungenau berechenbaren ) Nutzungsdauer getauscht, ist dies mit erheblichen Kosten verbunden, die u.U. unnötig waren.

Um zumindest das Sicherheitsniveau aufrecht zu erhalten, das mit dem Tausch der Schrauben auf Grund theoretischer Betrachtungen erreicht werden sollte, kann der Bruch der Schrauben überwacht werden.

Was zumindest zwei Vorteile hat:

- Schrauben die unerwartet „früh“ brechen, werden nicht zum Problem.
- Schrauben ohne erkennbare Schäden werden nicht getauscht.

In Windenergieanlagen gibt es zwei häufige Schraubverbindungen.

## **Flanschverbindungen im Rotor:**

Runde Blattwurzelverschraubung wie: >Blatt direkt mit Nabe<, >Blatt mit Rotorblattlager<, >Rotorblattlager mit Nabe< und >Nabe mit Rotorhauptwelle<. Durch die Drehbewegung treten in allen Verbindungen ständig wechselnde Lasten in den Schrauben auf, die ursächlich für Brüche sein können. Derartige Verbindungen sind die hauptsächliche Zielgruppe.

## **Horizontale Flanschverbindungen im Turm:**

Dynamische Festigkeitsberechnungen derartiger Schraubverbindungen kommen teilweise zu dem Ergebnis, dass nach langer Betriebszeit auch hier Schraubenbrüche ( Ermüdungsbrüche ) zu erwarten sind. Für diese Verbindungen ist das Verfahren in einer geänderten Ausführung geeignet.

## **Einzelne Schrauben:**

Gefährdete einzelne Schrauben können eine Überwachung wert sein.

Bricht eine Schraube in einem sich drehenden Bauteil, wird sich in der Regel ein Teil vollständig vom Rest der Schraube trennen, z.B:

- der Schraubenkopf trennt sich vom Schraubenschaft, gleichgültig ob der Riss unmittelbar unter dem Schraubenkopf oder an dem Übergang Schaft zum Gewinde auftritt. Der Rest der Schraube verbleibt an der ursprünglichen Stelle.
- die Mutter einer Verbindung mit Dehnschraube reißt ab. Dabei wird sicherlich ein Teil der Dehnschraube in der Mutter sein. Der Rest der Dehnschraube verbleibt an der ursprünglichen Stelle z.B. dem Rotorblatt.

Das abgebrochene Teil bewegt sich frei und fällt entweder herunter, rollt in der drehenden Nabe oder Spinner umher oder verhakt sich nach kurzer Zeit an einer Stelle und bleibt somit erst einmal unbemerkt.

An einer Blattverschraubung mit außen liegendem Flansch kann das abgebrochene Teil unbemerkt zur Erde fallen - später folgt das Blatt.

**Das abgebrochene Teil der Schraube muss unmittelbar erkannt werden!!**

## **Anforderungen an eine Schraubenbruchüberwachung:**

- Zuverlässig - wenn Meldung notwendig, dann auch wirklich Meldung
- permanent aktiv, nicht störanfällig z.B. keine Falschmeldungen, obwohl Falschmeldungen besser sind als keine Meldungen
- im drehenden Rotor selbst auch betriebsfest
- leicht zu installieren, zu deinstallieren und ggf. günstig wieder instandsetzbar
- in der Funktion überwachbar und der eigene Ausfall erkennbar
- sollte nicht selbst zum Problem werden, z.B. Teile im Luftspalt.
- geringe ( am besten keine ) Betriebskosten

## **Randbedingungen:**

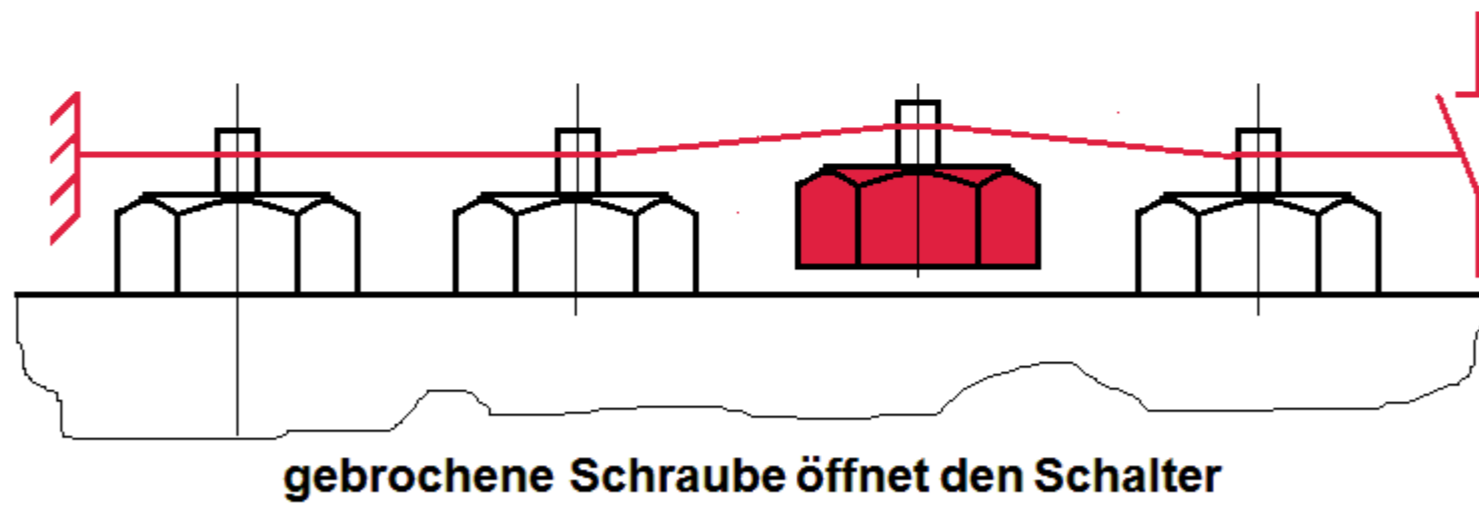
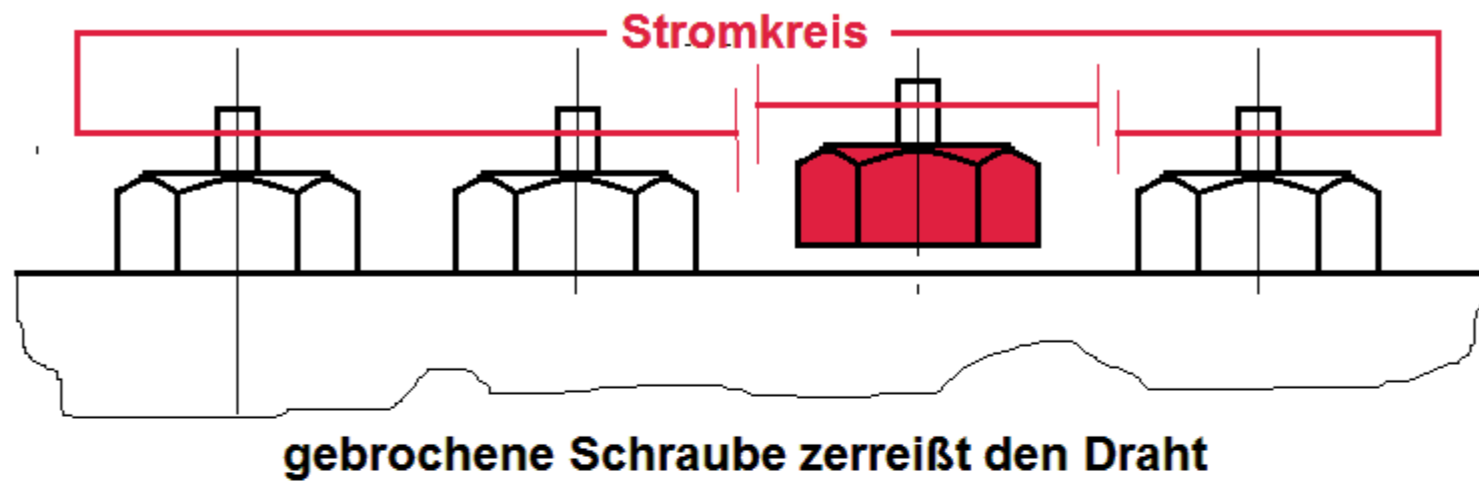
- Die Anzugsmomente der Schrauben sollen nach den Vorgaben in den Wartungshandbüchern in regelmäßigen Abständen kontrolliert werden. Hierbei soll die Schraubenbruchüberwachung nicht im Weg sein.
- Mit Feuchtigkeit ist zu rechnen.
- Die Schuhe ( Füße ) des Wartungspersonal sind zu beachten.

## Anwendungsbereiche:

- vorrangig Schraubverbindungen mit hoher Dynamik, z.B. in drehenden Bauteilen.
- in einer abgewandelten Version auch für „ruhige“ Turmflansche geeignet.

## Funktionsprinzip:

- erwartet wird, dass ein Teil der gebrochenen Schraubverbindung sich von der ursprünglichen Lage entfernt, z.B. herunterfällt.
- dabei wird ein Draht oder Faden zerrissen, wodurch das Signal entsteht. Eine Variante des Verfahrens ist, dass der Draht oder Faden einen Schalter betätigt. Um die Funktion zu gewährleisten, muss das „herunterfallende Bauteil“ mit dem Faden bzw. Draht fest verbunden sein.
- das entstandene Signal wird von einer Erfassungseinrichtung z.B. einem Micro-Controller verarbeitet und an die Steuerung der WEA eine Meldung gesandt.
- der Micro-Controller kann auch eine Meldung als SMS versenden.



## Der Nutzen:

In allen genannten Fällen hat es einen extrem großen Nutzen, durch die permanente ( 24h / 7d ) Überwachung eine abgerissene Schraube frühzeitig bzw. unmittelbar zu erkennen und in geeigneter Weise zu reagieren.

Bei einem Schaden durch unerkannten Schraubenbruch werden mit Sicherheit alleine die Ertragsausfallkosten die Kosten für den Einbau einer Schraubenbruchüberwachung deutlich übersteigen.

Alleine für die eigentlichen Reparaturkosten an einer ( 1 ) WEA können in vielen WEA Überwachungssysteme eingebaut werden.

Durch eine permanente Schraubenbruchüberwachung kann ein Sicherheitsniveau erreicht werden, das zumindest einem Schraubentausch entspricht.

Letztendlich wird es eine Kosten- Nutzenabschätzung sein.



Vorgestellt wird ein System zur permanenten Überwachung von Schraubenbruch.

Das Verfahren ist geeignet, Flanschverbindungen und einzelne Schrauben auf Bruch zu überwachen.

Der Nutzen ist auf Grund der Größe der möglichen Schäden gewaltig, wenn ein Schraubenbruch frühzeitig erkannt wird.

Zumindest an Stellen oder WEA mit schon aus der Vergangenheit bekannten Schäden erscheint eine kostengünstige Überwachung angebracht.

Zweifelsfrei gibt es in Windenergieanlagen Schraubverbindungen, die keiner Überwachung bedürfen.

- Für das vorgestellte Verfahren gibt es ein rechtskräftiges Patent.
- Mit der Patentinhaberin wurde am 04.11.2024 eine Lizenzvereinbarung geschlossen.
- Unsere Erprobung mehrerer Prototypen war erfolgreich.
- Angeboten werden die Geräte und der Einbau getrennt.  
In kleineren Stückzahlen können wir den Einbau durchführen.  
Vorrangig soll das Gerät hergestellt und geliefert werden.  
Der Einbau ist kein Hexenwerk!
- An dem System Interessierte melden sich bitte an der auf der ersten Folie angegebenen Adresse.

**Ende des Vortrages**

**Wenn Sie Fragen haben bitte gerne !!**