



Gefahrenabwehr für die Rotorblätter

Warnsignal rechtzeitig generieren

Dieter Frey

***Ingenieurbüro Frey
Bürgermeister Kröger Str. 17
21244 Buchholz-Sprötze
Tel: 04186 / 5551 Fax: 5044
www.ing-buero-frey.de***

Last- und Leistungsmessungen, Bauteildetailuntersuchungen

- > seit 20 Jahren Last- und Leistungsmessungen (IEC 61400-13 und IEC 61400-12-1)
- > seit drei Jahren Messungen der el. Eigenschaften. (IEC 61400-21)
- > Messtechnische Bauteildetailuntersuchungen an Komponenten von Windenergieanlagen.
- > Seit zehn Jahren nutzen wir ausschließlich die selbst entwickelten DMS-Verstärker.
- > Seit sechs Jahren nutzen wir für Rotorblatt-Biegemomente ausschließlich die DMS-Sensoren
- > In 20 Jahren sechs mal Kenntnis von extremen Betriebslasten für Rotorblätter.
- > Einen Großteil der Messgeräte, Messwerterfassungssoftware und Auswertungssoftware bauen und programmieren wir selbst.
- > Für individuelle Anfragen sind wir mit Begeisterung offen.

- > **Drei Fragen und viele Antworten**
- > **Zwei mögliche Ursachen für Rotorblattschwingungen**
- > **Sensoranordnungen in der Blattwurzel**
- > **robuste DMS- Sensoren**
- > **Dauertest der DMS- Sensoren auf dem Rotorblattprüfstand**
- > **Schenk- oder Schlagmoment, berechneter Belastungsgrad**
- > **permanente Betriebsüberwachung**
- > **Zusammenfassung**

Fragen an Windenergieanlagenhersteller bzw. Windenergieanlagenbetreiber

1. Frage

Hat Ihre Windenergieanlage eine Last- und Schwingungsüberwachung im Rotor?

Antwort:

Nein, brauchen wir nicht, die Blätter unserer Windenergieanlagen schwingen nicht.

2. Frage

Hat Ihre Windenergieanlage eine Schwingungsüberwachung im Turm?

Antwort:

Ja, aber sicher doch, diese ist Teil der Sicherheitskette der Windenergieanlage, dies ist Vorschrift !!

3. Frage

Gab es an Ihren Windenergieanlagen schon einmal massive Rotorblattschäden?

Antworten:

- > Schweigen
- > „mache Blatttypen sind auffällig.“

Die Frage:

An Ihrer Windenergieanlage ist es zum zweiten mal zu massiven Schäden in den Rotorblättern gekommen. Wie kam es dazu und kennen Sie die Ursache?

Antworten:

- > Die Ursache ist nicht bekannt.
- > Die eingeschalteten Sachverständigen sagten beim ersten Schaden es sei eindeutig ein Fertigungsfehler der Blätter. Aus den Blättern wurden große Probestücke entnommen. Ein Fertigungsfehler scheint jetzt wieder vorzuliegen.
- > Die Betriebsweise hat die Blätter nicht zerstört.

- > Alle drei Rotorblätter sind betroffen. Ein Blatt ist deutlich stärker beschädigt.
- > Beim Rotorblatthersteller haben wir umfassenden Schadensersatz angemeldet, da er mangelhafte Rotorblätter geliefert hat.

- > Die Turmschwingungsüberwachung hat nicht angesprochen.

- > Der Gesamtschaden beträgt etwa 1 200 000 EUR.

Die Frage:

Was ist die Ursache dafür, dass bei der Probefahrt eine etwa eine Tonne schwere Kupplung mit 3600 1/min aus dem Abtrieb zum 3 MW Wellengenerator gesprungen ist und den Maschinenraum im Achterschiff so massiv beschädigt hat, dass das große Containerschiff von Helgoland nach Hamburg geschleppt werden musste?

Antwort des Professors (Sachverständiger):

Der Drehzahlregler der 21 MW Zweitakt Hauptmaschine.

Gelächter!!

Erwiderung des Professors:

Ich werde einen jungen Ingenieur beauftragen eine MehrKörperSimulation zu programmieren und so den rechnerischen Nachweis erbringen.

Drei Jahre später:

Der rechnerische Nachweis für die Behauptung des Professors konnte eindeutig erbracht werden. Der praktische Nachweis, jetzt mit besonderem Augenmerk auf das Verhalten des Drehzahlreglers, wurde nicht wiederholt.

Beiden unvorhergesehen und schwingungstechnisch sehr sehr ähnlichen Ereignissen (Schiff und Rotorblattschaden) ist gemeinsam, dass sie durch einen seltenen (und doch sicher eintretenden) Betriebszustand verursacht wurden:

- > beim Schiff eindeutig, ein seltenes Not-Stopp-Manöver, kombiniert mit dem Regelverhalten.
- > bei der Windenergieanlage wahrscheinlich eine seltene Wettersituation, kombiniert mit ???

In beiden Fällen hätten preiswerte geeignete Schutzeinrichtungen den massiven und sehr teuren Schaden vermeiden können.

- > Das Schiff hatte zwar eine Drehmomentmessung im Triebstang, doch war diese nur dafür programmiert die Leistung zu messen und nicht dafür das Drehmoment auf einen Grenzwert zu überwachen und ggf. einen Alarm oder eine Notabschaltung auszulösen.
- > Ein Turmschwingungssensor in einer Windenergieanlage kann nicht zweifelsfrei alle für den Rotor kritischen Lastzustände erkennen.

Auf Grund der langen Betriebszeit von Windenergieanlagen werden seltene zerstörerische Ereignisse zu sicheren Ereignissen.

geringe Wahrscheinlichkeit mal lange Zeit wird zum sicheren Ereignis

Nur die Aerodynamik:

Die sehr schwingfreudigen Rotorblätter werden durch die Aerodynamik in der Regel zu stark gedämpften Systemen. Andererseits kann die Aerodynamik die Rotorblätter zu extremen Schwingungen anregen. Beides ist möglich:

- > Turbulenter Wind wirkt durch seine Wechselhaftigkeit stark dämpfend. Langsam stärker werdende Schwingungen werden durch die Unregelmäßigkeit immer wieder ausgeblasen.
- > In gleichmäßigem Wind sind die Bedingungen für extreme Schwingzustände deutlich günstiger.

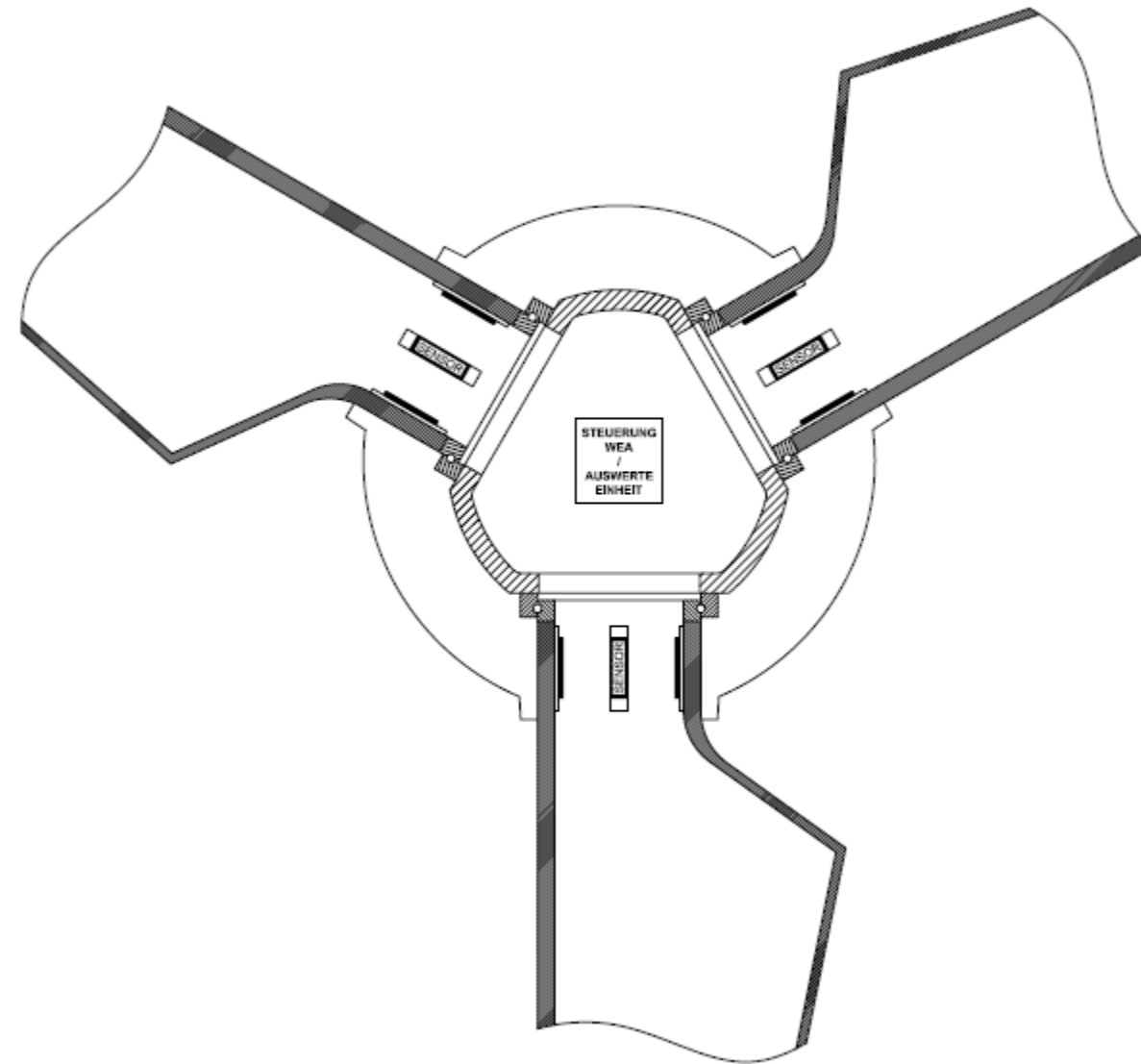
Eine seltene Wetterlage mit gleichmäßigem Wind kann zur Gefahr werden.

Schnelle Regel- und Steuereinrichtungen:

Extreme Schwingungen in Rotorblättern haben gegenüber den Reaktionszeiten elektrischer Einrichtungen sehr lange Periodendauern. Es ist leicht möglich, dass sich (nicht nur im unentdeckten Fehlerfall) elektrische Einrichtungen auf die Eigenfrequenzen der Rotorblätter synchronisieren und den gesamten Rotor aufschaukeln.

Da auch hierauf die aerodynamische Dämpfung einen Einfluss hat, kann es möglich sein, dass die extremen Schwingungen lange Zeit nicht auftreten (unentdeckt bleiben) und nur bei besonderen (seltenen) Windereignissen extrem werden.

So entsteht aus unbekannter Ursache der Schaden.



Nahe der Rotorblattwurzel werden in zwei Ebenen in allen drei Blättern die DMS-Sensoren von innen oder außen auf die Blattoberfläche geklebt. Es liegt in der Entscheidung des Auftraggebers ob die DMS-Sensoren das Schwenk- und oder Schlagmoment messen.

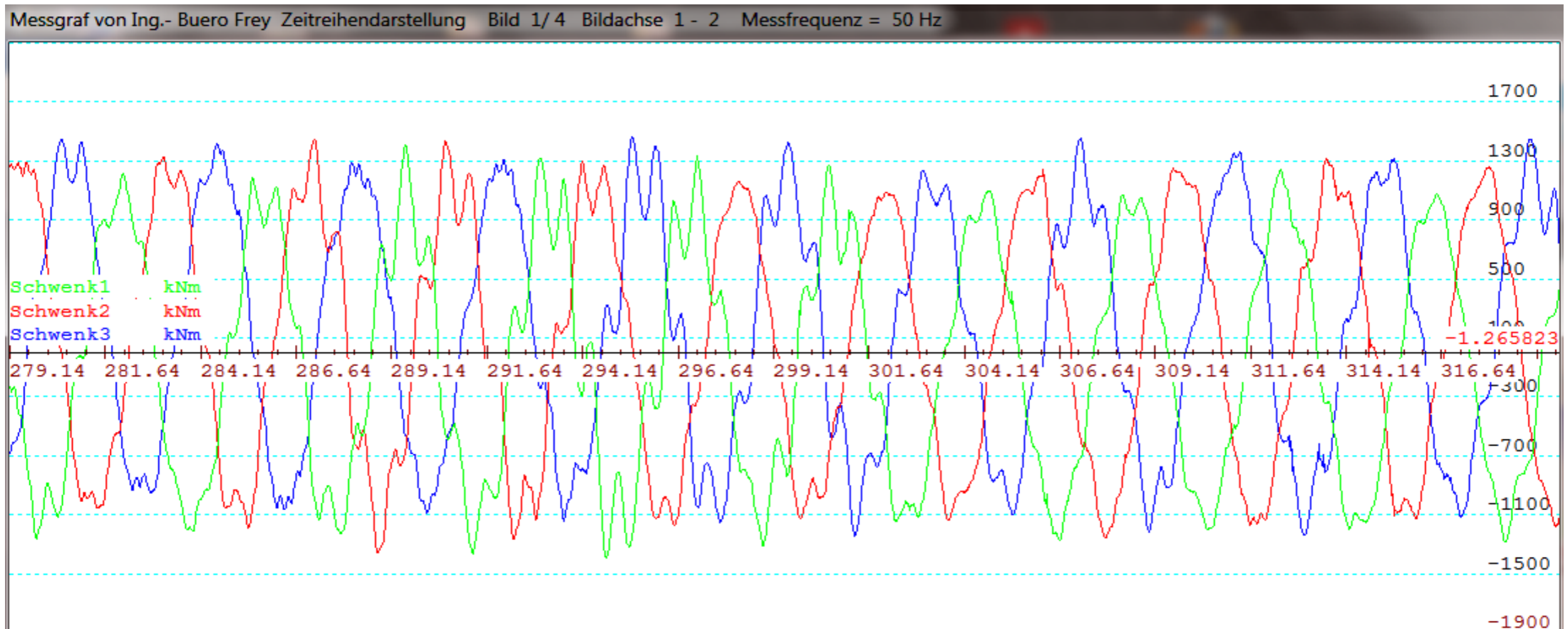
Für die reine Extrem- Lastüberwachung ist eine Messebene ausreichend. Die Messsignale werden zu der Auswerteeinheit in der Nabe geleitet.



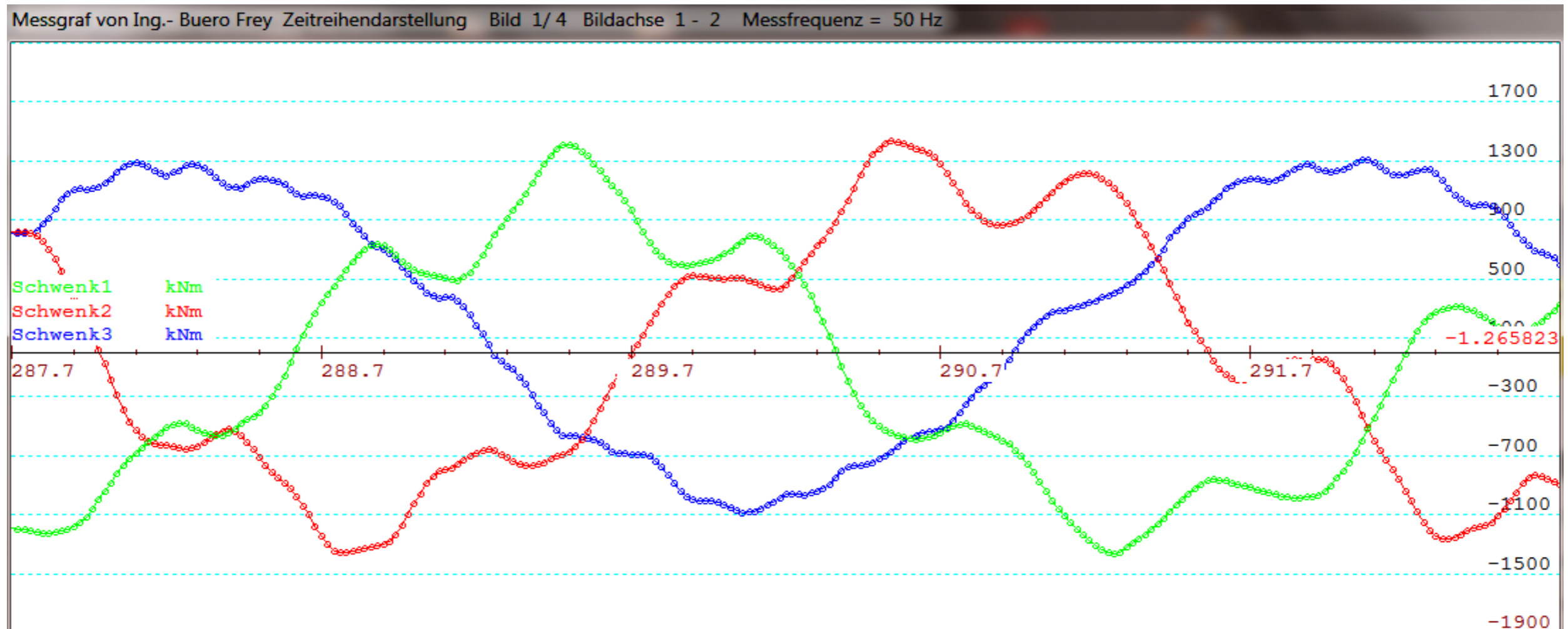
Unterschiede zur direkten Installation von DMS

- Die mechanische Feinarbeit findet unter optimalen Bedingungen im Labor statt, nur noch das „Grobe“ wird im Rotorblatt erledigt.
- Bei der Installation der DMS-Sensoren sind keine Kenntnisse über die Installation von DMS erforderlich.
- Wesentliche Erleichterung der Arbeit auf der WEA.
- Bei guten Rahmenbedingungen, kann ein Rotor mit sechs Biegemomenten an einem Tag von zwei Personen vollständig fertig gestellt werden.
- Geringer Ertragsausfall der WEA, da schnelle leichte Installation.
- Die DMS-Sensoren sind einfach tauschbar, sollten sie beschädigt werden.
- Die Ausfallwahrscheinlichkeit für das Kabel ist größer als für den DMS-Sensor.

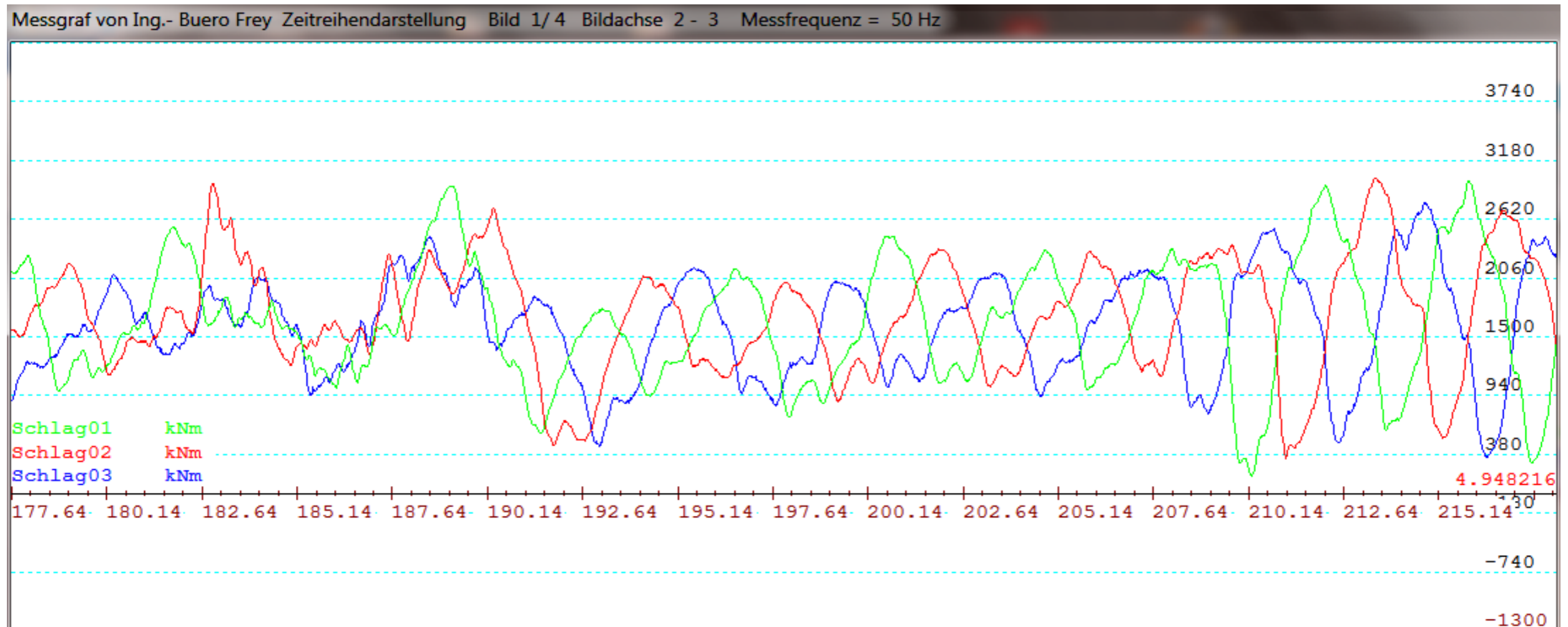
- DMS-Sensoren liefern ein der Messgröße proportionales, stetiges Signal.
- DMS-Sensoren haben eine sehr hohe Signalqualität auch ohne Filter.
- Die gewünschte physikalische Größe (z.B. Biegemoment) wird direkt gemessen. Mathematische Berechnungen (z.B. Integration) sind nicht erforderlich, um die physikalische Größe zu erhalten.
- DMS-Sensoren sind unempfindlich gegen Störeinflüsse, z.B. beeinflusst Lärm und die Temperatur die Biegemomentenmessung nicht.
- Frequenzen von 0 .. 10kHz können sicher gemessen werden.



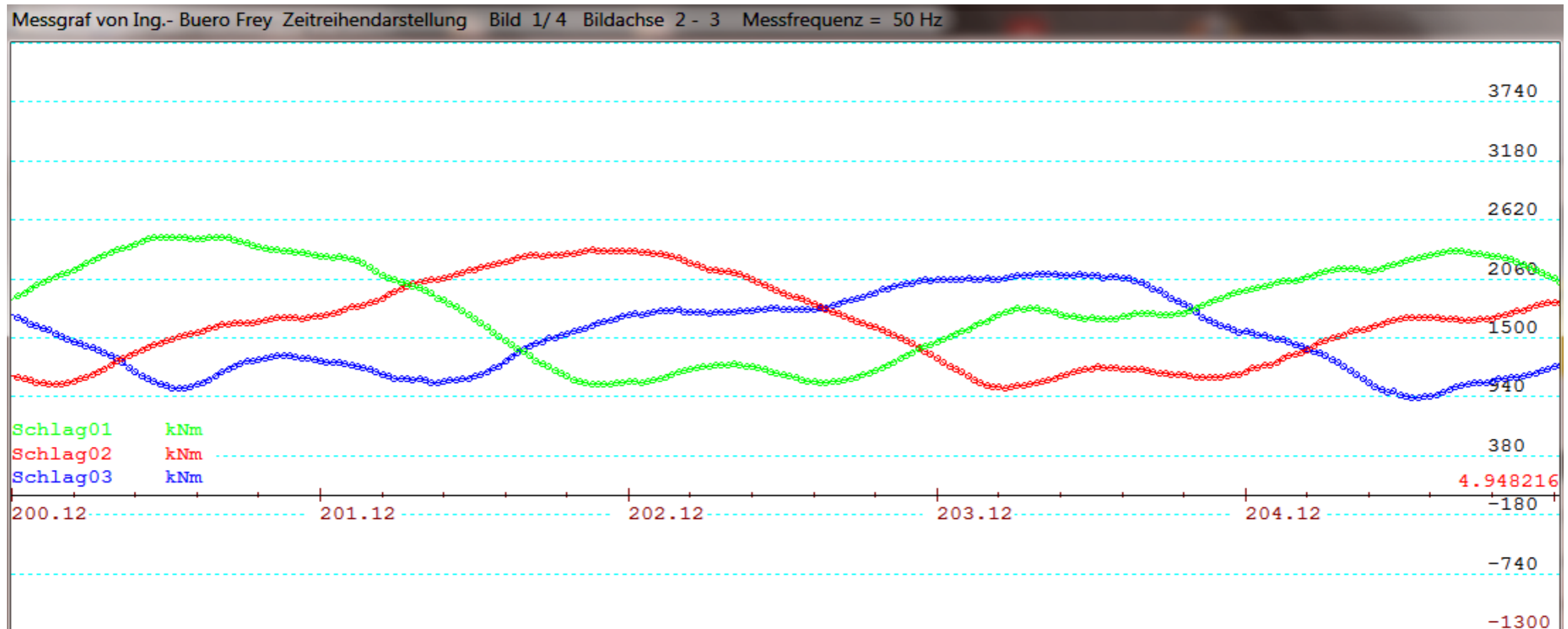
gemessenes Schwenkmoment bei 16 m/s und Nennleistung
Rotordrehfrequenz und eine Schwenkeigenfrequenz



gemessenes Schwenkmoment bei 16 m/s und Nennleistung
Rotordrehfrequenz und erste Schwenkeigenfrequenz



gemessenes Schlagmoment bei 16 m/s und Nennleistung
Rotordrehfrequenz, Windbö und erkennbare Rotorblattverstellung



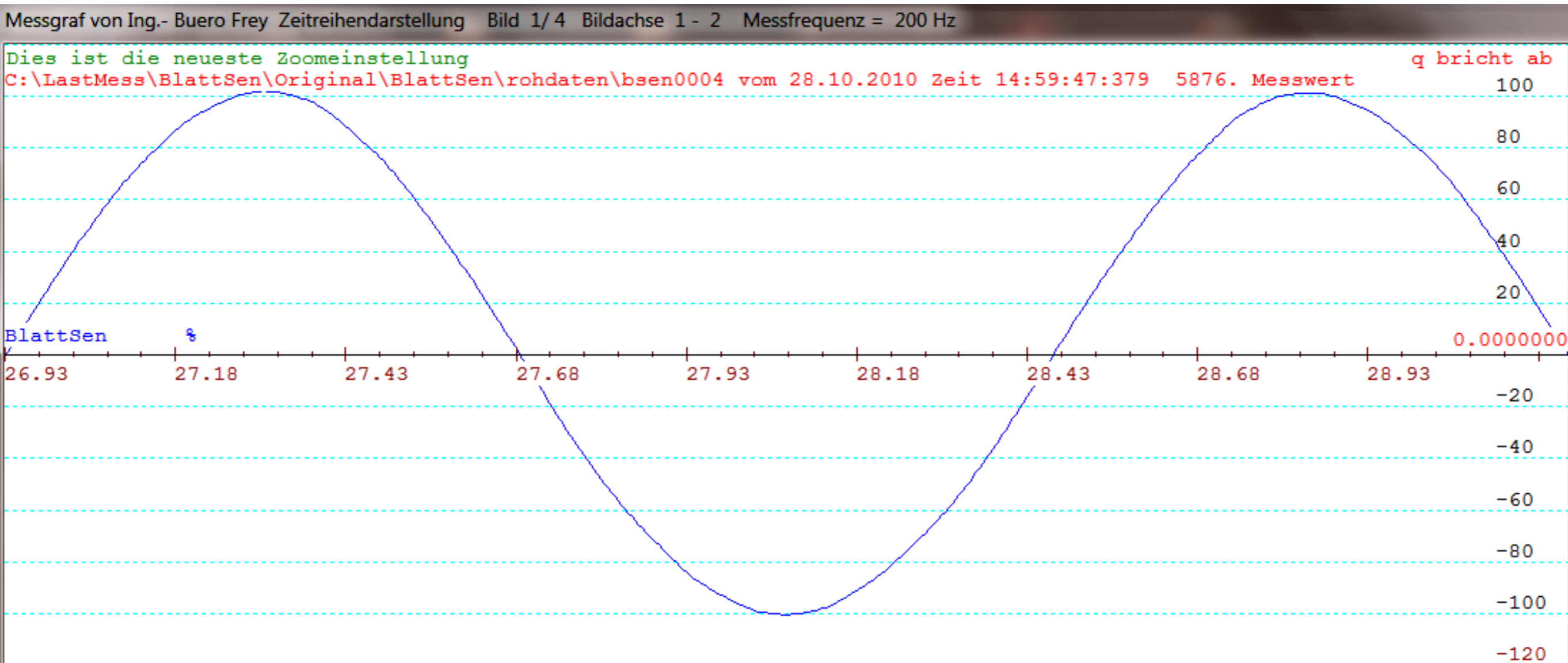
gemessenes Schlagmoment bei 16 m/s und Nennleistung
Rotordrehfrequenz und erste Schlageigenfrequenz

Es gibt das falsche Gerücht, dass DMS nicht ausreichend betriebsfest sind.

Um den Gegenbeweis zu erbringen wurden DMS-Sensoren zusammen mit einem Rotorblatt einer Dauerfestigkeitsuntersuchung unterzogen.

- > Im Testzeitraum vom 28.10.2010 bis 02.02.2011 wurden in der Schwenkebene in die Rotorblattwurzel geklebte DMS-Sensoren bei einem dynamischen Prüfstandsdauertest für das Rotorblatt mit erprobt.
- > Der Versuch simulierte für das Rotorblatt ein Lastkollektiv aus 20 Betriebsjahren.
- > Die DMS-Sensoren lieferten über den gesamten Zeitraum ein ausgezeichnetes Messsignal mit konstanter Amplitude.
- > Auf Grund der Lasthöhe könnten die DMS-Sensoren noch viele weitere derartige Versuche ertragen.

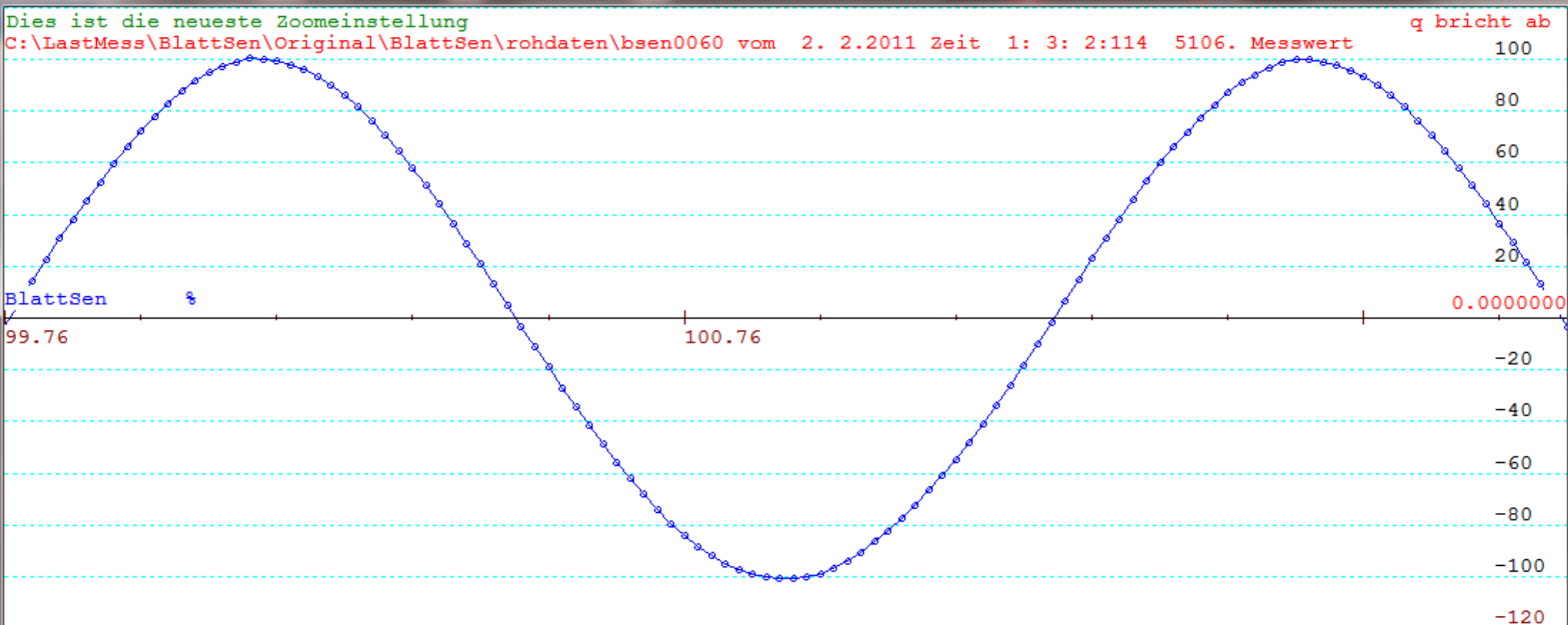
Blattprüfstand 200 Hz Messfrequenz



gemessenes Schwenkmoment
Versuchsanfang

Blattprüfstand 25 Hz Messfrequenz

Messgraf von Ing.- Buero Frey Zeitreihendarstellung Bild 1/4 Bildachse 1 - 2 Messfrequenz = 50 Hz



gemessenes Schwenkmoment
Versuchsende

Die folgende Seite zeigt eine rechnerisch in der Zeitachse und Amplitude einer realen Messung nachempfundene Zeitreihe, die kurzzeitig sehr starke (nicht dauerhaft ertragbare) Rotorblattschwingungen darstellt. Der informativ notwendige Verlauf des gerechneten Messsignales ist richtig. Eine Maßeinheit ist nicht notwendig.

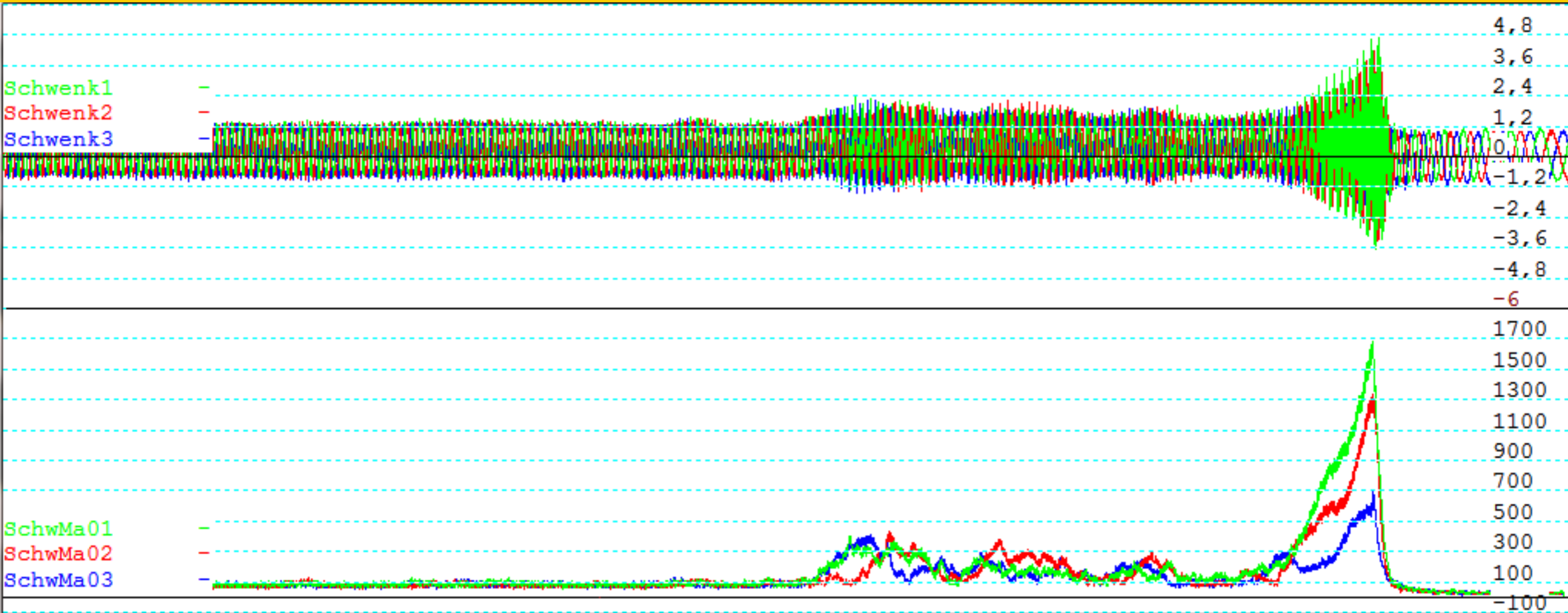
Vom linken Rand bis in die Mitte der Zeitreihe herrscht wie Monate zuvor auch normaler Betrieb, bevor die Rotorblätter anfangen kräftiger zu schwingen. Die nur etwas stärkere Schwingung, schwächt sich nochmals leicht ab, bevor die Blätter sich stark aufschwingen.

Aus dem Messsignal der Schwenkmomente kann sehr leicht nach nur wenigen Schwingungen, rechnerisch das erhöhte Lastniveau abgeleitet werden und dem Betriebsführungsprogramm als Warn- oder Stoppsignal dienen.

Das Lastniveau in den drei Blättern unterscheidet sich deutlich.

Die im Turm vorhandene herkömmliche Sicherheitseinrichtung hatte nicht rechtzeitig angesprochen.

Schenkmoment, berechneter Belastungsgrad



oberer Kanal	gerechnete Zeitreihe
unterer Kanal	berechneter Belastungsgrad
linker Rand bis Mitte	normaler Betrieb
Mitte bis $\frac{3}{4}$	mäßige Schwingung in Blatteigenfrequenz
ganz kurz	nochmals normaler Betrieb
Letztes Viertel	starke Schwingung in Blatteigenfrequenz

DMS-Sensoren zur permanenten Betriebsüberwachung liefern das Messsignal:

- > aus dem ohne Unterbrechung der aktuelle Belastungsgrad für den Rotor bestimmt werden kann.
- > um extreme Biegemomente aus Wetterereignissen oder der Betriebsweise zu erkennen.
- > um Resonanzschwingungen im Rotor zu erkennen.
- > für die Einzel-Rotor-Blatt-Verstellung.
- > um aus der Änderung der Eigenfrequenz den Eisansatz am Rotorblatt zu erkennen.
- > um geringste Änderungen der Rotorblatteigenfrequenz zu erkennen.

Sachkundige Anwender haben sicherlich weitere Ideen.

Alleine der erste Punkt ist ausreichend um sich für eine **permanente Betriebsüberwachung im Rotor** zu entscheiden.

Die robusten DMS- Sensoren sind:

- > dauerhaft für den Betrieb auf Windenergieanlagen geeignet
- > leicht auch in rauer Umgebung ohne spezielle Fachkenntnis zu installieren
- > auf bestehenden Windenergieanlagen nachrüstbar
- > sehr preiswert in der Beschaffung und Montage
- > ggf. mit mechanischem Werkzeug tauschbar

Die robusten DMS- Sensoren:

- > erzeugen ein ausgezeichnetes Messsignal
- > können statische Lasten und, da sie nahezu masselos sind, auch dynamische Lasten mit sehr hohen Frequenzen wiederholbar mit allerfeinster Auflösung messen

Aus dem Messsignal der robusten DMS- Sensoren,

- > kann in der Betriebsführung ein eindeutiges Maß für die aktuelle Belastung des Rotors berechnet werden.

**Ausgezeichnete, störungsarme Sensorsignale sind
die Grundvoraussetzung für
eine gute Regelung und
sichere Überwachung
der Windenergieanlage.**

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**