Herstellungs-, montage- und betriebsbedingte Schäden an Schraubenverbindungen in Windenergieanlagen.

Ursachenermittlung – Abhilfemaßnahmen - Qualitätssicherung

Windenergietage am 06. bis 08. November 2018 in Linstow

MQ Engineering GmbH

Hansestraße 27
18182 Rostock-Bentwisch
Tel.: 0381/ 12836-0

info@mq-engineering.com

© MQ Engineering GmbH 2018

Leistungsspektrum

engineering

- Schadensanalyse und Erarbeitung von Abhilfemaßnahmen
- Zustandsbewertung in Kraftwerken und Anlagen
- Inspektionsleistungen
- Werkstoffprüfungen und -analysen
- Rasterelektronenmikroskopie
- Zustandsüberwachungen an Getrieben, Gleit- und Wälzlagern
- Technische Unterstützung in Versicherungsfällen
- Engineering-Dienstleistungen

© MQ Engineering GmbH 2018

Akkreditierungen

Inspektionsstelle Typ A
Kompetenz nach
DIN EN ISO/IEC 17020:2012

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle

Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

Beliehene gemäß § 8 Absatz 1 AkkStelleG i.V.m. § 1 Absatz 1 AkkStelleGBV
Unterzeichnerin der Multilateralen Abkommen
von EA, ILAC und IAF zur gegenseitigen Anerkennung

Akkreditierung

Die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH bestätigt hiermit, dass die Inspektionsstelle

MQ Engineering GmbH
Hansestraße 27, 18182 Rostock-Bentwisch

die Kompetenz nach DIN EN ISO/IEC 17020:2012 als Inspektionsstelle Typ A besitzt, Inspektionen in folgenden Bereichen durchzuführen:

Inspektionen im Rahmen von Schadensbegutachtungen und Zustandsbewertungen in der metallverarbeitenden Industrie sowie in der Anlagentechnik und im Anlagen-, Maschinen-, Motoren- und Schiffbau auf der Basis der Ergebnisse mechanisch-technologischer Prüfverfahren, zerstörungsfreier Prüfverfahren (visueller Prüfung, Magnetpulverprüfung, Eindringprüfung, Ultraschallprüfung, Durchstrahlungsprüfung), Metallografie, ambulanter Bauteilmetallografie, optischer Funkenemissionsspektralanalyse und Rasterelektronenmikroskopie (auch mit energiedispersiver Röntgenanalyse) durch Feststellung ihrer Übereinstimmung mit bestimmten normativen Anforderungen oder mit allgemeinen Anforderungen auf Grund einer sachverständigen Beurteilung

Die Akkreditierungsurkunde gilt nur in Verbindung mit dem Bescheid vom 13.11.2014 mit der Akkreditierungsnummer D-IS-19274-01 und ist gültig bis 12.11.2019. Sie besteht aus diesem Deckblatt, der Rückseite des Deckblatts und der folgenden Anlage mit insgesamt 9 Seiten.

Registrierungsnummer der Urkunde: **D-IS-19274-01-00**

Berlin, 17.12.2014

Im Auftrag
Ralf Egner
Abteilungsleiter

Siehe Hinweise auf der Rückseite

Prüflaboratorium
Kompetenz nach
DIN EN ISO/IEC 17025:2005

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle

Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH

Beliehene gemäß § 8 Absatz 1 AkkStelleG i.V.m. § 1 Absatz 1 AkkStelleGBV
Unterzeichnerin der Multilateralen Abkommen
von EA, ILAC und IAF zur gegenseitigen Anerkennung

Akkreditierung

Die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH bestätigt hiermit, dass das Prüflaboratorium

MQ Engineering GmbH
Hansestraße 27, 18182 Rostock-Bentwisch

die Kompetenz nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 besitzt, Prüfungen in folgenden Bereichen durchzuführen:

mechanisch-technologische Prüfungen (Biegeversuch, Zugversuch, Kerbschlagbiegeversuch, Härteprüfung), Metallografie, ambulante Bauteilmetallografie und Rasterelektronenmikroskopie an Guss-, Schmiede-, Walz- und Umformprodukten, Rohren und Schweißverbindungen; optische Funkenemissionsspektrometrie (OES) von Stahl- und Eisenwerkstoffen, manuelle zerstörungsfreie Prüfungen (Sicht-, Magnetpulver-, Eindring- und Ultraschallprüfung) an metallischen Werkstoffen in der metallerzeugenden und metallverarbeitenden Industrie sowie in der Anlagentechnik, im Anlagen-, Maschinen-, Motoren- und Schiffbau

Die Akkreditierungsurkunde gilt nur in Verbindung mit dem Bescheid vom 13.11.2014 mit der Akkreditierungsnummer D-PL-19274-01 und ist gültig bis 12.11.2019. Sie besteht aus diesem Deckblatt, der Rückseite des Deckblatts und der folgenden Anlage mit insgesamt 8 Seiten.

Registrierungsnummer der Urkunde: **D-PL-19274-01-00**

Berlin, 17.12.2014

Im Auftrag
Ralf Egner
Abteilungsleiter

Siehe Hinweise auf der Rückseite

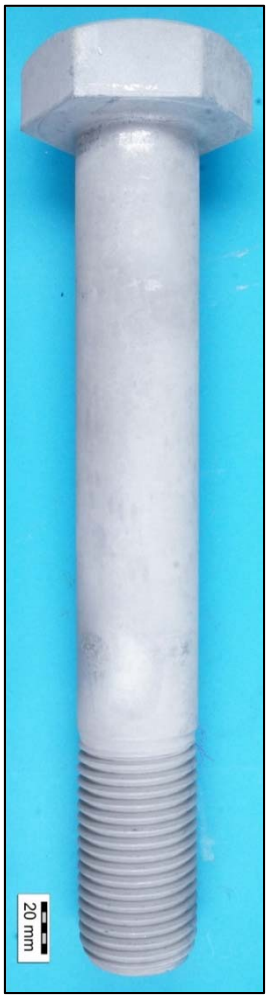
DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-IS-19274-01-00

© MQ Engineering GmbH 2018

ilac-MRA

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-PL-19274-01-00

engineering



Gliederung

1. Einleitung
2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe

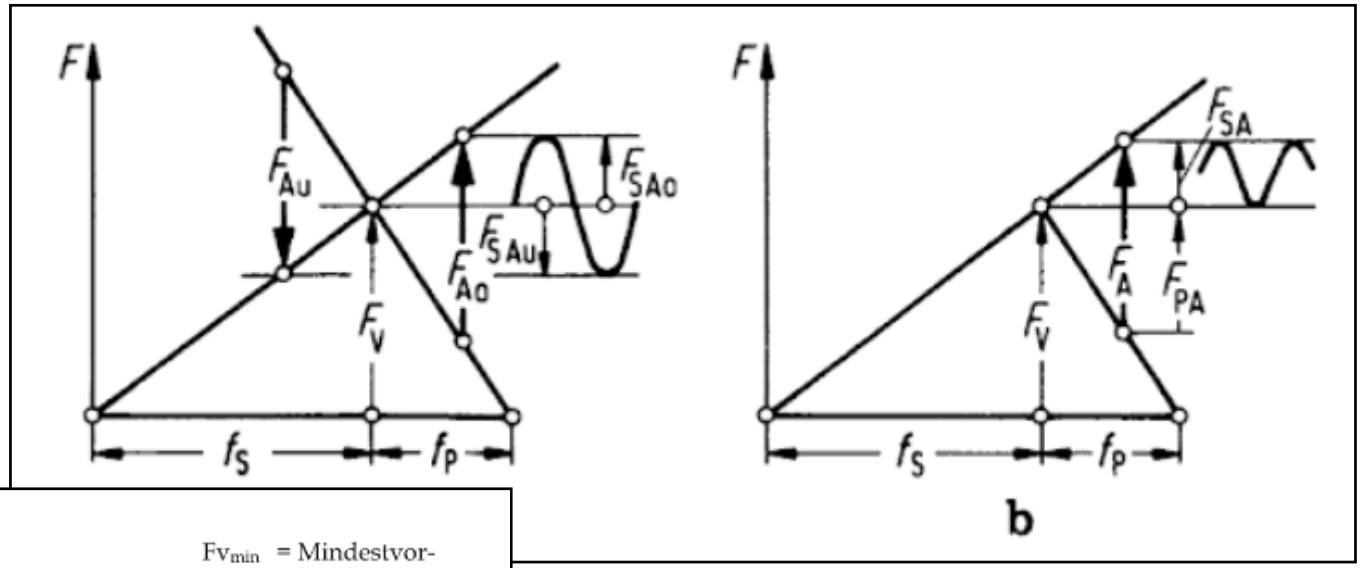
   Ursachenermittlung von Schäden von Schraubenverbindungen

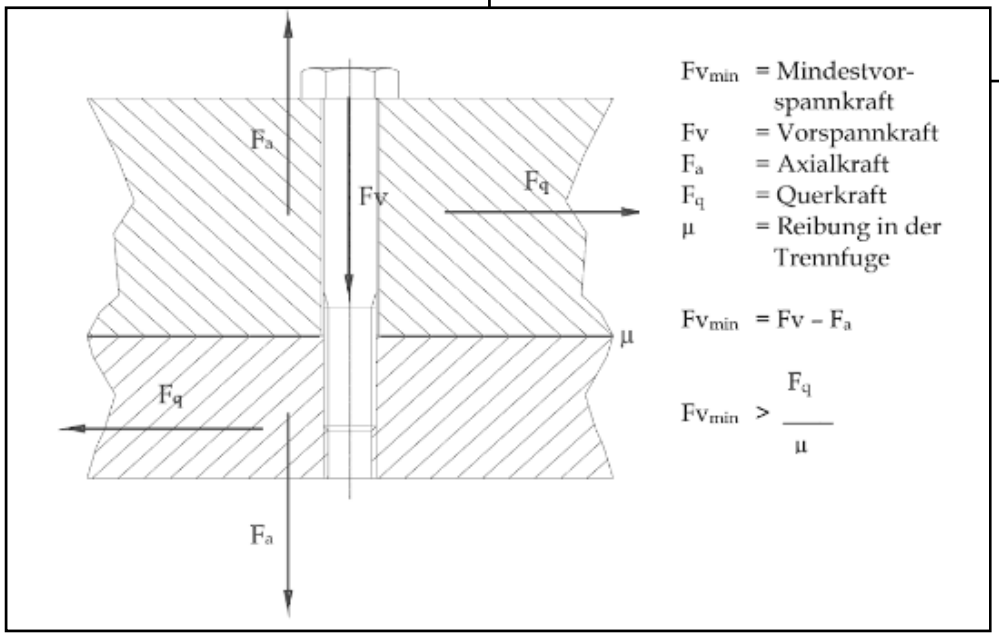
3. Fazit

© MQ Engineering GmbH 2018

Schäden an Schraubenverbindungen

1. Einleitung





- ***Mechanische Beanspruchungen***
- ***Korrosive Beanspruchungen***

Darstellungen aus /1/ und /2/

© MQ Engineering GmbH 2018

Schäden an Schraubenverbindungen

1. Einleitung

Entwicklungen der Schraubenverbindungen in Windenergieanlagen

- ***Steigende Baugrößen der Anlagen und der Verbindungselemente***
- ***Breiter Einsatz hochfester Schrauben (10.9 und 12.9)***
- ***Anwendung verschiedenster Anziehverfahren***
- ***Umsetzung des Wunsches nach einer „wartungsfreien“ Schraubenverbindung***

© MQ Engineering GmbH 2018

Schäden an Schraubenverbindungen

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe

- *M56x400 10.9 HV-Garnitur (feuerverzinkt) mit Kopfabriss*
- *Ca. 1 Monat nach Montage der Verschraubungen wurden Brüche an mehreren Schrauben festgestellt*

© MQ Engineering GmbH 2018

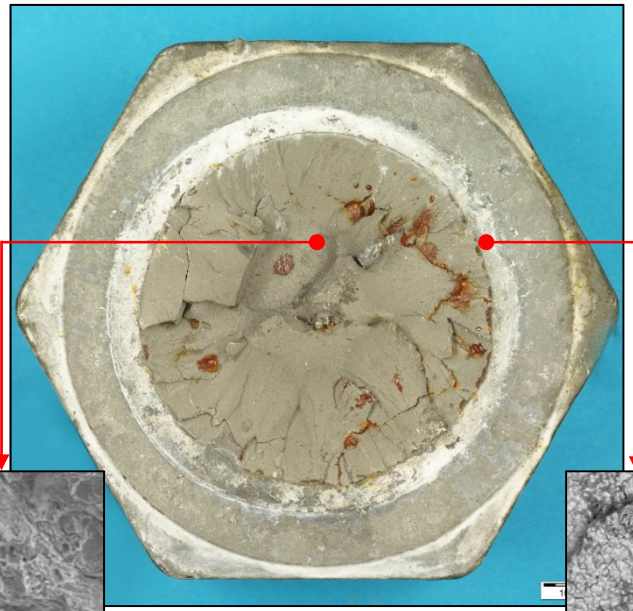
Schäden an Schraubenverbindungen

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe

Interkristalline Bruchbereiche

↓

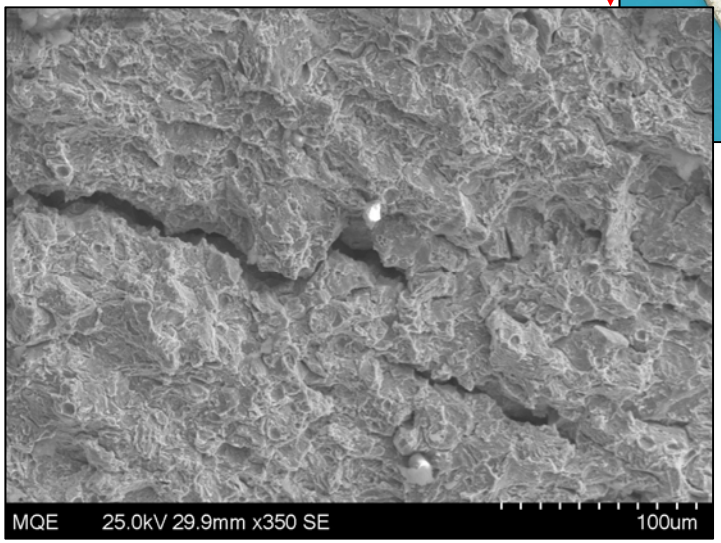
Härteriss?
Wasserstoffversprödung?

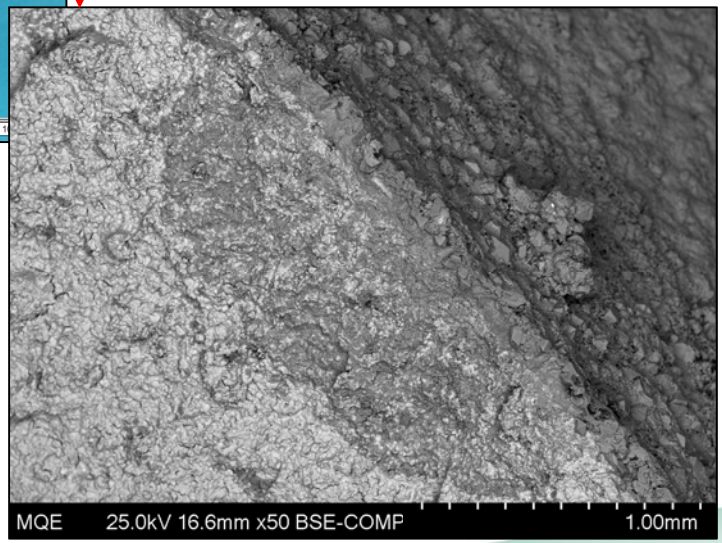


zinkbelegte Bruchflächen

↓

flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion?





© MQ Engineering GmbH 2018

Schäden an Schraubenverbindungen

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe

Schadensmechanismus

- *Flüssigmetallinduzierte Spannungsrisskorrosion als Vorschädigung aus der (Normaltemperatur-) Verzinkung*
- *Gleichzeitige Wasserstoffaufnahme aus dem Zinkbad*
- *Zeitverzögerter Bruch der bereits vorgeschädigten Schrauben*
- *Begünstigung des Schadens durch hohes Festigkeitsniveau und die großen Abmessungen*

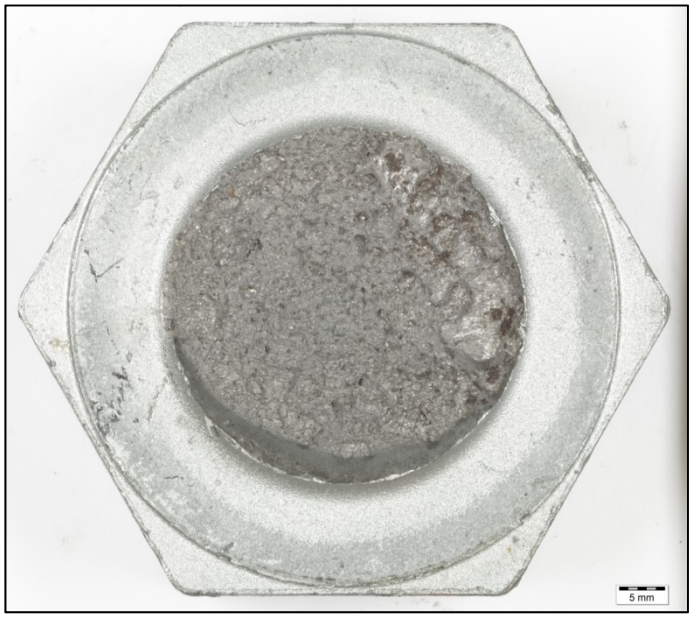
Abhilfemaßnahmen

- *Begrenzung des Festigkeiten (in der Norm sind für die Festigkeitsklassen keine Obergrenzen für die zulässigen Festigkeiten definiert)*
- *Eingrenzung der chemischen Zusammensetzung (P, Si)*
- *Zusätzliche Begrenzung der Zinkbadtemperatur innerhalb des „Normfensters“*

© MQ Engineering GmbH 2018

Schäden an Schraubenverbindungen

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe



- ***M36x200 10.9 HV-Garnitur mit Kopfabriss unmittelbar während der Demontage***
- ***Schraubenhersteller aus einem Schwellenland (Stichwort local content)***

© MQ Engineering GmbH 2018

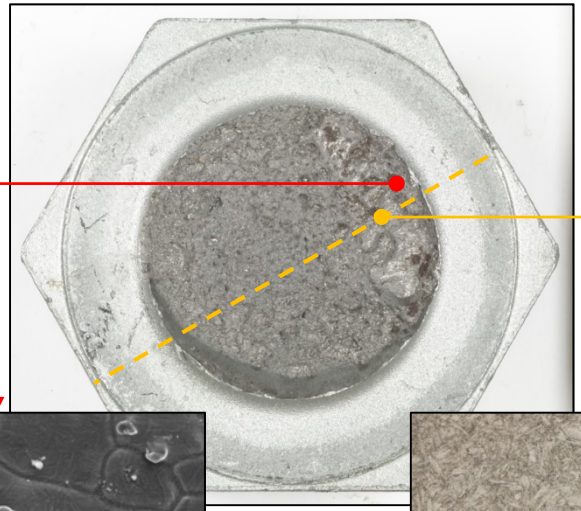
Schäden an Schraubenverbindungen

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe

Merkmale einer frei erstarrten Oberfläche

↓

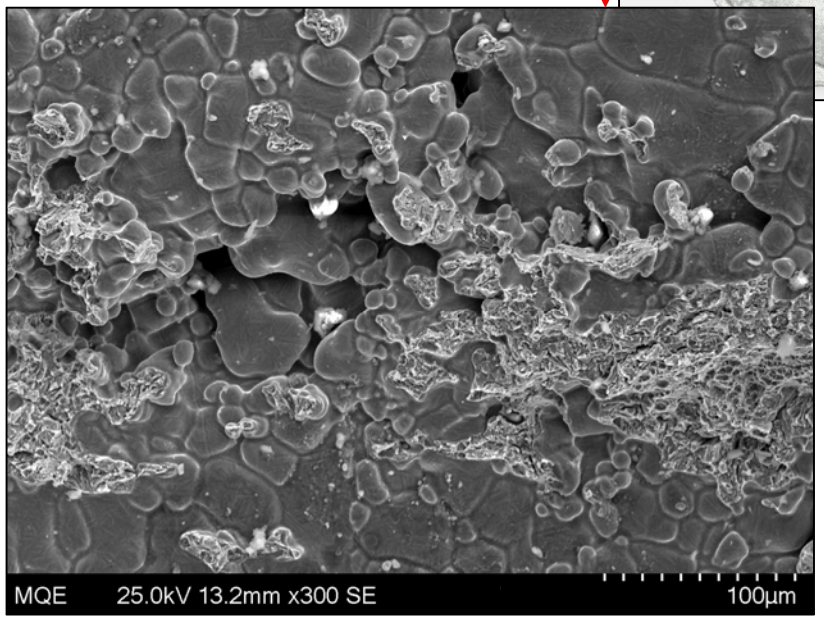
lunkerartige Trennung?



lunkerartige Materialtrennung

↓

Heißrisse/ Aufschmelzungsrisse



© MQ Engineering GmbH 2018

Schäden an Schraubenverbindungen

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe

Schadensmechanismus

- *Bildung von Heißrissen (Aufschmelzungsrissen) während der Erwärmung der Schrauben im Rahmen der Warmumformung*
- *Deformation dieser Heißrisse durch die Wärmumformung unter Bildung der lunkerartigen Struktur*
- *Versagen durch Querschnittsreduzierung bei der Montage*
- *Bei geringerer Ausprägung ist im Betrieb mit vorzeitigem Versagen aufgrund der Kerbwirkung der Fehlstellen zu rechnen*

Abhilfemaßnahmen

- *Verbesserung der Temperaturführung*
- *Hier: Lieferantenertüchtigung zur Einhaltung der Local-Content-Vorgaben*
- *Bei bereits verbauten Schrauben: Ultraschallprüfung*

© MQ Engineering GmbH 2018

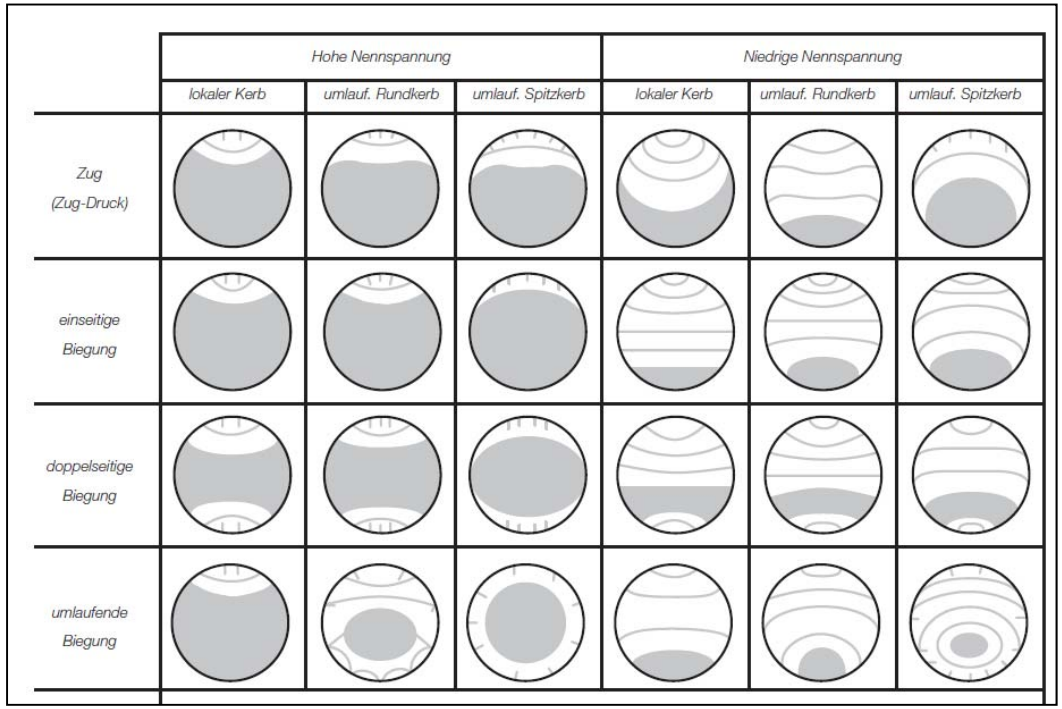
Schäden an Schraubenverbindungen

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe

- *M36x250 10.9 Rotorblattbolzen*
- *Versagen mehrerer Bolzen an der selben Pitchdrehverbindung während des Betriebes*

© MQ Engineering GmbH 2018

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe

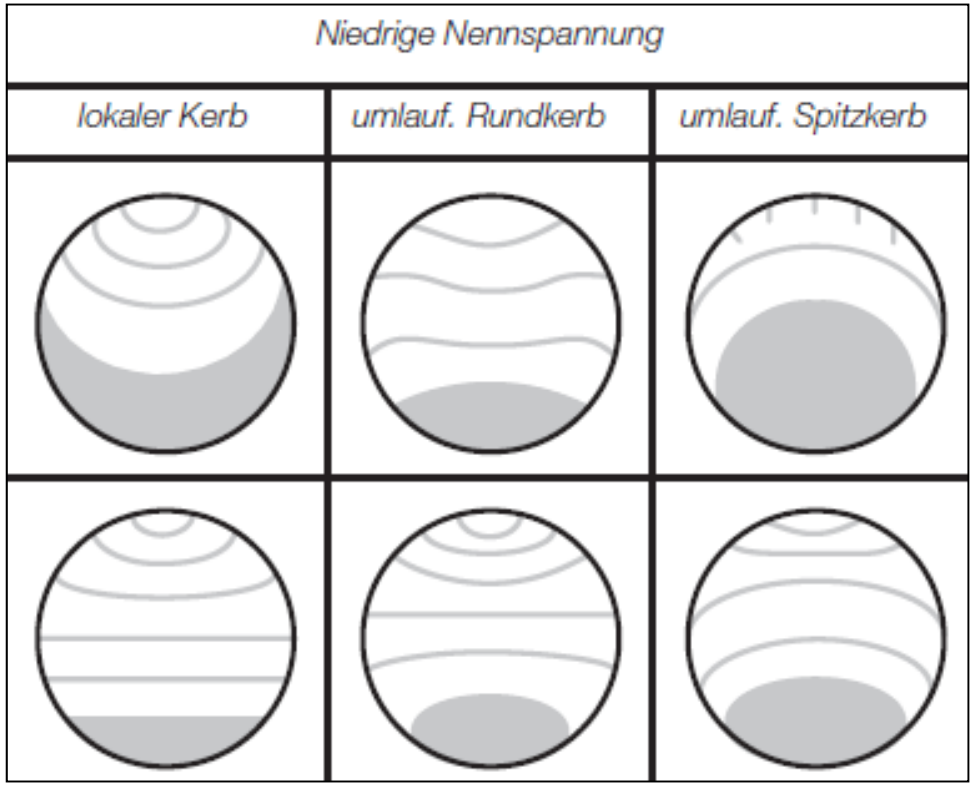


Darstellung aus /3/

- ***Bruchfläche mit makroskopisch sichtbaren Bruchfortschrittsmerkmalen***

© MQ Engineering GmbH 2018

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe



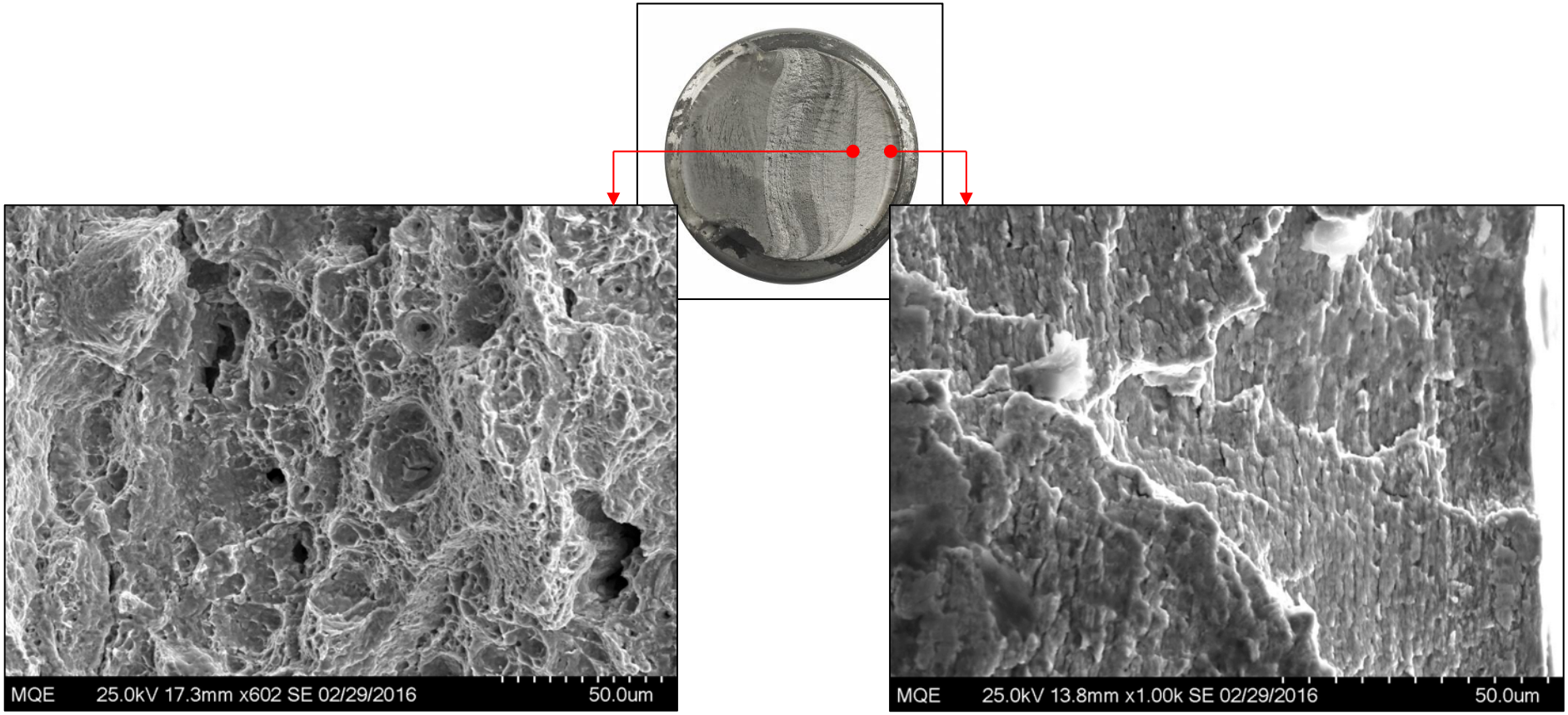
Darstellung aus /3/

- ***Bruchfläche mit makroskopisch sichtbaren Bruchfortschrittsmerkmalen***

© MQ Engineering GmbH 2018

Schäden an Schraubenverbindungen

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe

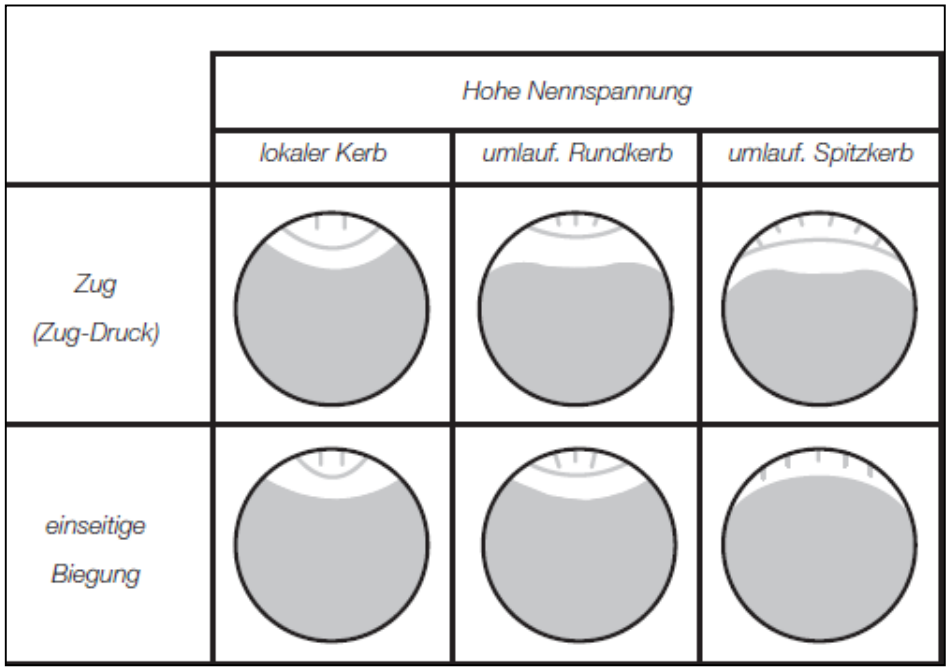


duktiler Gewaltbruch

Schwingbruch mit Schießscharten

© MQ Engineering GmbH 2018

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe



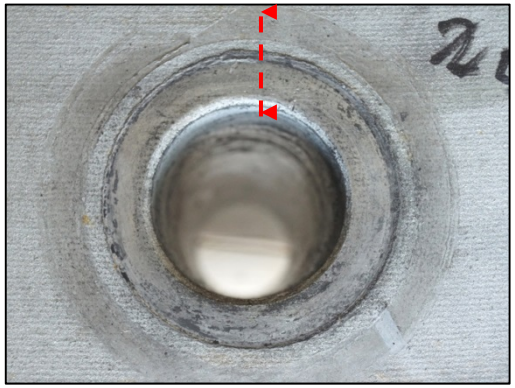
Darstellung aus /3/

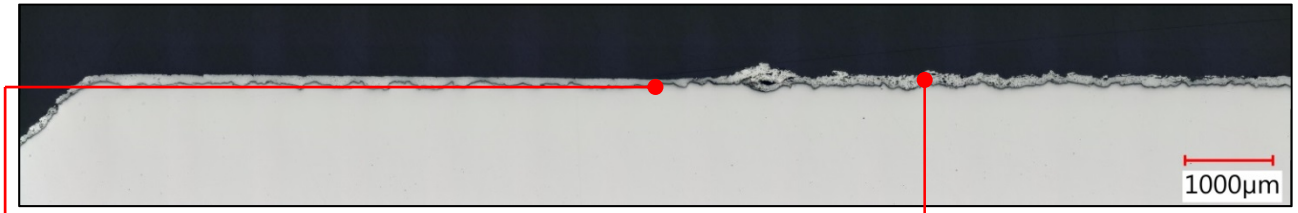
- ***Deutlich höheres Nennspannungsniveau als (makroskopisch) angenommen***
- ***Suche nach dem ersten Bolzenbruch basierend auf dem Nennspannungsniveau***
- ***Vorspannungskraftverluste als häufigste Ursache von Schwingbrüchen***

© MQ Engineering GmbH 2018

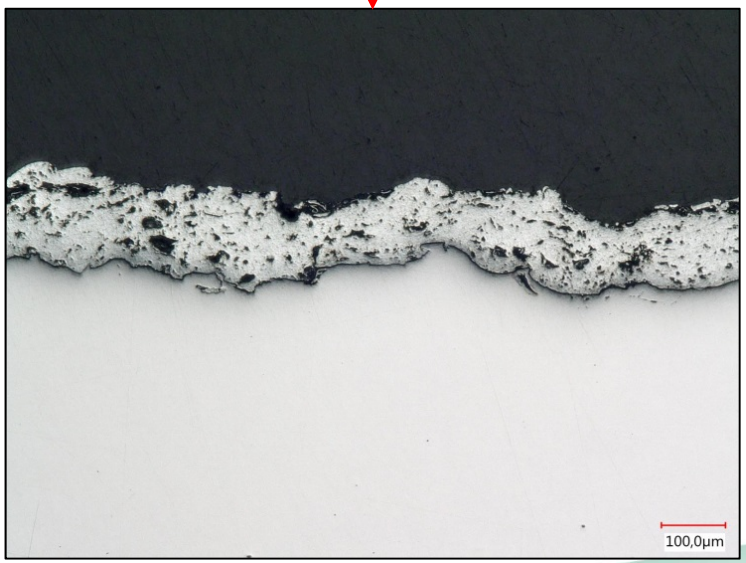
Schäden an Schraubenverbindungen

2. Der schmerzhafte Weg zur Abhilfe





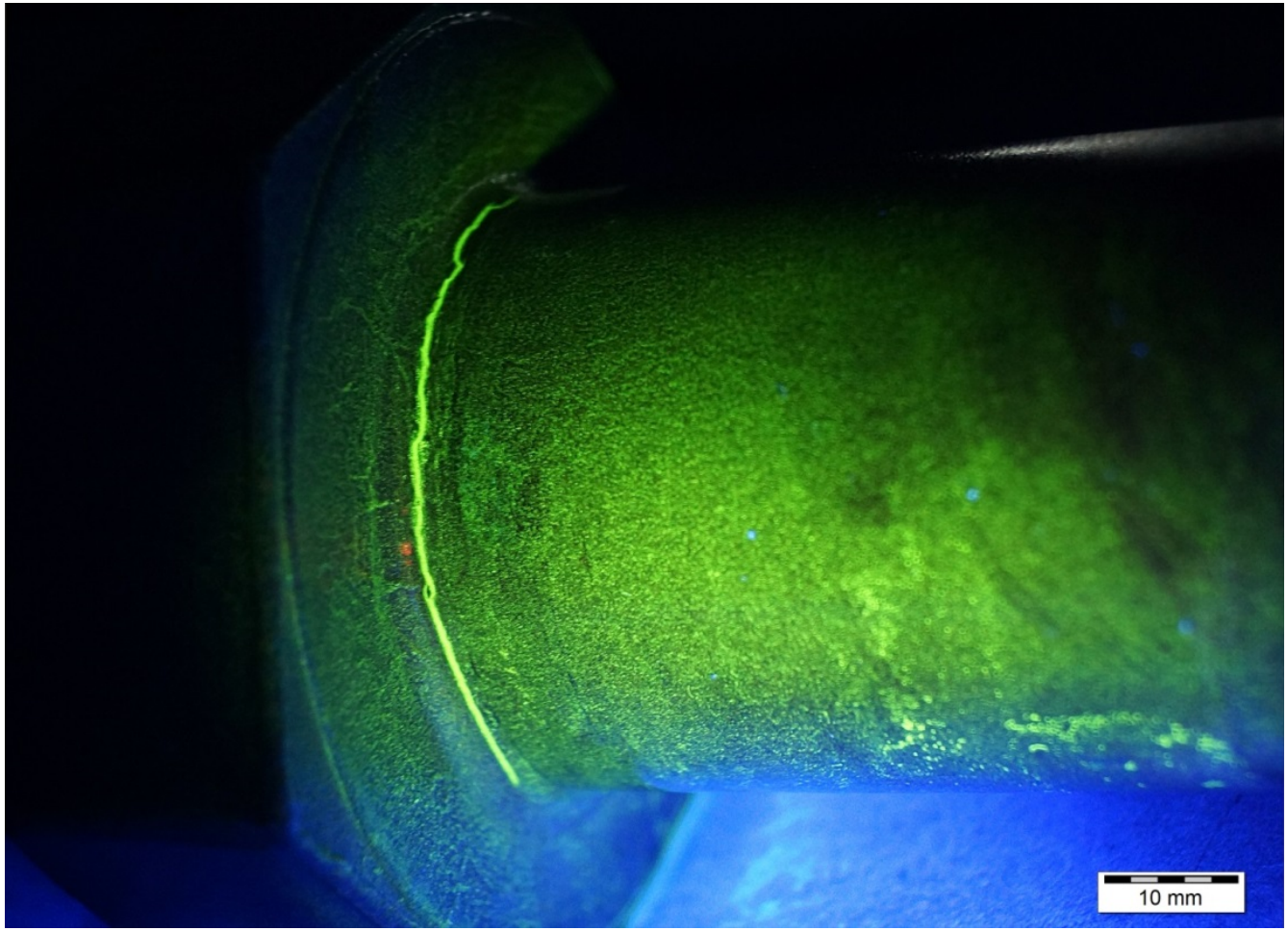
Mögliche Ursache für Vorspannungskraftverluste:
Einebnen und Setzen der Verzinkung



© MQ Engineering GmbH 2018

Schäden an Schraubenverbindungen

3. Fazit



© MQ Engineering GmbH 2018

Schäden an Schraubenverbindungen

3. Fazit

- ***Steigende Baugrößen und Festigkeitsniveaus von Schraubenverbindungen führen zum verstärkten Auftreten bekannter und technisch prinzipiell „gelöster“ Schadensphänomene.***
- ***Zusätzlich zu gängigen Normvorgaben sind daher weitere Einschränkungen bezüglich Festigkeiten und chemischen Zusammensetzungen sinnvoll.***
- ***Eine stetige Kontrolle der Fertigungstechnologie sowie sorgfältig ausgeführte zerstörungsfreie Prüfungen sind Grundlage sicherer Schraubenverbindungen.***
- ***Die Ermittlung von Schadensursachen kann zu Vermeidung kostenintensiver zukünftiger Schäden beitragen.***

Literatur:

/1/ Schatz, V.: 10 Schritte zur sicheren Schraubverbindung, Tectum Verlag Marburg, 2007

/2/ Beitz, W.; Küttner, K.-H.: DUBBEL Taschenbuch für den Maschinenbau, 18. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1995

/3/ Woodtli, J.: Praktische Fraktographie, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA, 2003

© MQ Engineering GmbH 2018

Schäden an Schraubenverbindungen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

© MQ Engineering GmbH 2018