

VDI

Wissensforum

Erfolg baut auf Qualifizierung



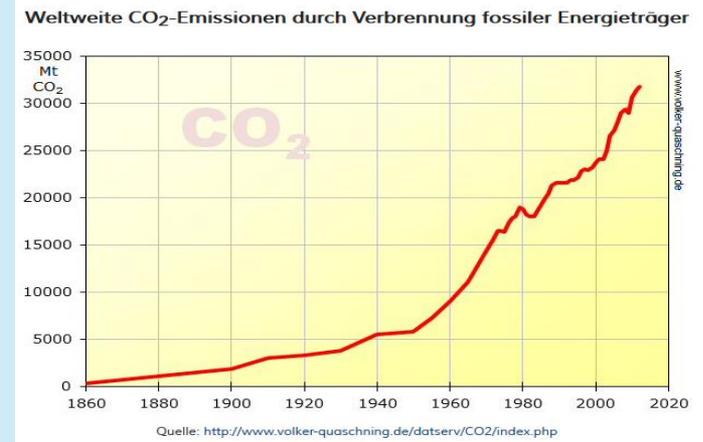
VDI/VDE 2862 Blatt 2 - Theorie & Praxisumsetzung

- Steigende Anforderungen an Schraubverbindungen
- Komplexität eines Schraubfalls im Ishikawa-Diagramm
- Anforderungen der VDI/VDE 2862 Blatt 2 an handgeführte Schraubsysteme
- Praxis: Erkennung von Prozessstörungen bei geringer Schraubenanzahl
- Anforderungen an die Prozessüberwachung

Steigende Anforderungen an Schraubverbindungen

❖ Thema Leichtbau:

- Gewichtersparnis wird immer mehr gefordert. Grund: Deutschland - 931 Mt CO₂ in 2013
- Bestandsaufnahme Leichtbau in Deutschland: Zitat: „...Leichtbau ist Bestandteil einer „modernen Industriepolitik“...“ [1]



[1]: https://www.bundesregierung.de/Content/Infomaterial/BMWI/bestandsaufnahme-leichtbau-in-deutschland_705684.html

❖ Thema Qualität und Sicherheit:

- Neue Richtlinienanforderungen an den Einsatz von Schraubsystemen
- Neue Richtlinienanforderungen an den Prozessfähigkeitsnachweis
- Hersteller möchten Haftungsrisiken vermindern

Komplexität eines Schraubfalls im Ishikawa-Diagramm



VDI 2230 Blatt 1

VDI/VDE 2862 Blatt 2

VDI/VDE 2645 Blatt 2

Regelkreis: Kontrolle und Feedback nach VDI/VDE 2645 Blatt 3 / DGQ-Bände

VDI/VDE 2862 Blatt 2 Theorie & Praxisumsetzung

Aufgaben für den Anwender

- **Klassifizierung der Schraubfälle (A,B,C)**
- **Einsatz von fähigen:**
 - A) Schraubwerkzeugen (MFU)
 - B) Messmitteln
 - C) Prüfmitteln
- **Geschulte Mitarbeiter**
- **Durchführung der Prozessfähigkeitsuntersuchung**
- **Dokumentation**
- **Kenntnis des erforderlichen Standes der Technik**

Beispiel: Kategorie-A
Hohe Risikobewertung: Gefahr für Leib, Leben oder Umwelt



Mindestanforderung an das Schraubsystem

- **Fähigkeit des Schraubsystems gemäß VDI/VDE 2645 Blatt 2 (MFU)**
- **Erfasste Messgrößen:**
 - A) Direkt gemessene Steuergröße
 - B) Direkt gemessene Kontrollgröße
 - C) Steuer- und Kontrollgröße dürfen nicht gleich sein
 - D) Bereitstellung der Schraubergebnisse
- **Selbsttestfähigkeit**
- **Erkennung von Fehlverhalten im Signalaustausch der Schraubersteuerung**
- **Redundanter Aufbau zur Erfassung der Steuer- oder Kontrollgröße**

Hinweis: - Auszug - Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit und Aktualität!. Bitte aktuelle Richtlinie VDI/VDE 2862 Blatt 2 beachten!

Praxisbeispiel: VDI VDE 2862 Blatt 2



Praxisbeispiel für Kategorie A-Verschraubung:

Kunde: Liebherr Werke

Projekt: Drehkranzverschraubung - Mobilkran

Schraubsystemanforderung: Kategorie A-Verschraubung

Anzugsverfahren: Streckgrenzengesteuertes Anziehen

Vorarbeit: Prozessfähigkeitsnachweis durch Vorversuche

Prozessvalidierung: Kontrolle $rp_{0,2}$ der Testschrauben

Plausibilitätsprüfung: Kontrollfenster / Endwertanalyse

Umweltbedingungen: ca. -20°C $+50^{\circ}\text{C}$ (Feldeinsatz)

Applikationsumfang: größer 300.000 Schrauben

Praxisbeispiel: VDI VDE 2862 Blatt 2



Praxisbeispiel für Kategorie A-Verschraubung:

Kunde: Siemens AG

Projekt: Kupplungverschraubung

Anzugsverfahren: Drehmomentgest. drehw.überwacht

Schraubsystemanforderung: Kategorie A-Verschraubung

Vorarbeit: Prozessfähigkeitsnachweis durch Versuche

Prozessvalidierung: Statistische Messdatenanalyse

Plausibilitätsprüfung: Kontrollfenster / Kurvenanalyse

Umweltbedingungen: Raumtemperaturbereich

Applikationsumfang: keine Angabe

Praxisbeispiel: VDI VDE 2862 Blatt 2



Praxisbeispiel für Kategorie A-Verschraubung:

Kunde: Firma Voith

Projekt: Schiffsantrieb

Anzugsverfahren: Drehmoment-Drehwinkel-Verfahren

Schraubsystemanforderung: Kategorie A-Verschraubung

Vorarbeit: Prozessfähigkeitsnachweis durch Versuche

Prozessvalidierung: Längenmessung Schraube

Plausibilitätsprüfung: Analyse der Kurven und Endwerte

Umweltbedingungen: Raumtemperaturbereich

Applikationsumfang : Verschraubungen 50.000/a

Praxisbeispiel: VDI VDE 2862 Blatt 2



Praxisbeispiel für Kategorie A-Verschraubung:

Kunde: KKW-Gundremmingen

Projekt: Castor-Verschraubung Primär-, Sekundärdeckel

Anzugsverfahren: Drehmoment gest. drehw. überwacht

Werkzeuganzahl: Simultorc / 4 Werkzeuge Parallelbetrieb

Vorarbeit: Prozessfähigkeitsnachweis durch Versuche

Prozessvalidierung: Differenzdruckmessung Behälter

Plausibilitätsprüfung: 4 Durchläufe / Weiterdrehmoment

Umweltbedingungen: Raumtemperaturbereich

Applikationsumfang : Alle Primär-, Sekundärdeckel Kunde

Praxisbeispiel: Maschinenfähigkeitsuntersuchung



Fähigkeit des Schraubsystems gemäß VDI/VDE 2645 Blatt 2 (MFU)

- Ermittlung der Fähigkeitskennwerte eines hydraulischen Schraubsystems
- Dynamische Prüfung im Drehmoment-Drehwinkel-Verfahren
- Der Prüfstand simuliert die Schraubverbindung
- Unabhängige Messung vom Ist-Drehwinkel ab dem definierten Fügемoment
- Schraubsystemparameter für die MFU:
 - 300Nm Fügемoment (Winkel 0-Moment)
 - 100° Solldrehwinkel

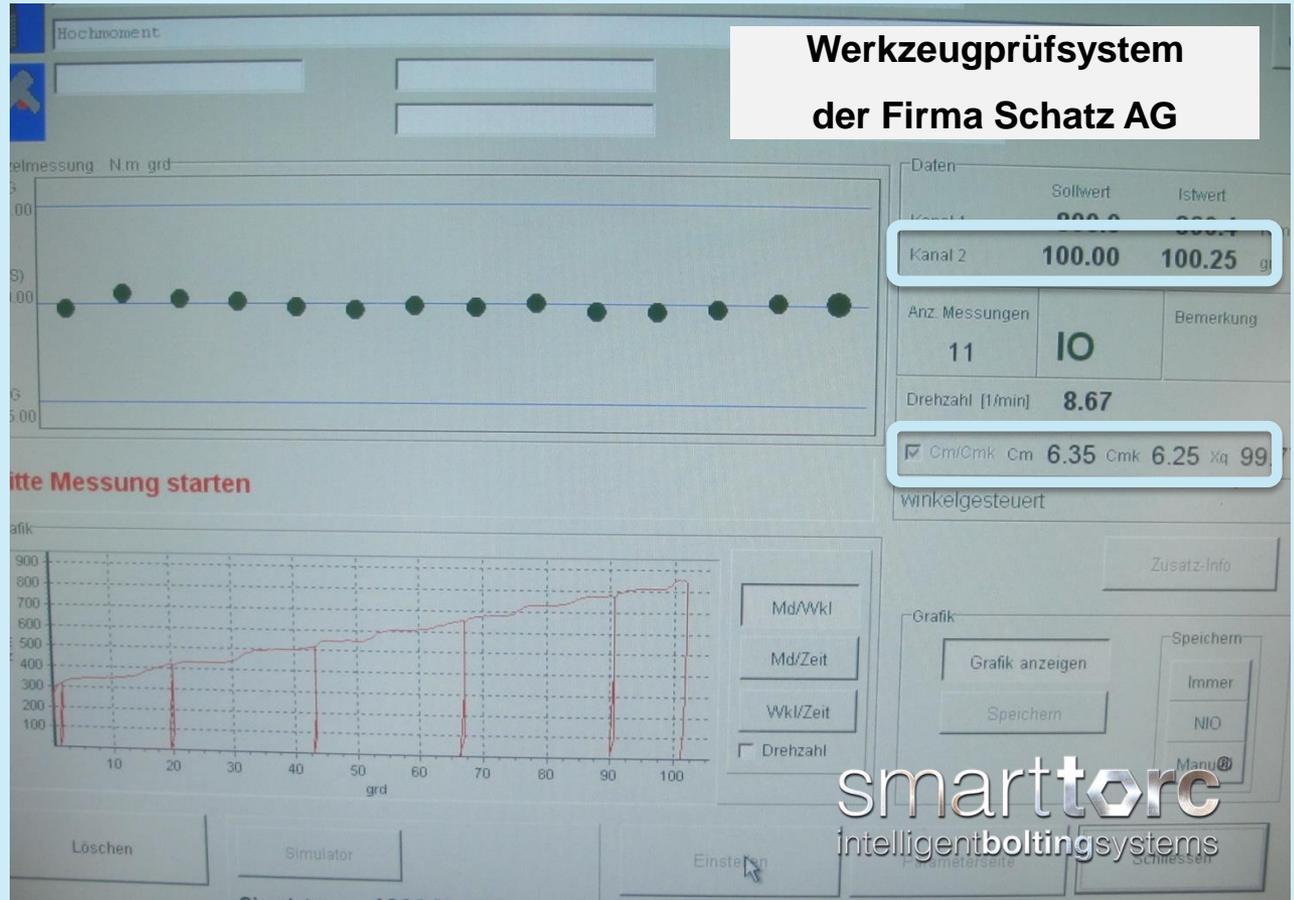


Praxisbeispiel: Maschinenfähigkeitsuntersuchung

zertifikat

IFH

| Kanal 2 | Abw. % |
|---------|--------|
| 99 | -1 |
| 99,75 | -0,25 |
| 99,5 | -0,5 |
| 100 | 0 |
| 98,75 | -1,25 |
| 98,75 | -1,25 |
| 99,25 | -0,75 |
| 100,25 | 0,25 |
| 100,25 | 0,25 |
| 99,5 | -0,5 |
| 98,5 | -1,5 |
| 99,5 | -0,5 |
| 99,75 | -0,25 |
| 99 | -1 |
| 100 | 0 |
| 98,75 | -1,25 |
| 100,25 | 0,25 |
| 100,75 | 0,75 |
| 100,5 | 0,5 |
| 100,5 | 0,5 |



Messgrößen: Direkte / indirekte Messung

| Pos: | Sensortyp: | Messgröße: | Direkt: | Indirekt: |
|------|--|---------------|---------|-----------|
| 1 | Druck | Drehmoment | | x |
| 2 | Drehmomentsensor an Achse | Drehmoment | x | |
| 3 | Drehmomentsensor an Reaktionsarm/-hülse | Drehmoment | x | |
| 4 | Strommessung | Drehmoment | | x |
| 5 | Ölflowmessung | Drehwinkel | | x |
| 6 | Winkelsensor am Vierkant / Antrieb (Spindel) | Drehwinkel | x | |
| 7 | Zeitmessung | Drehwinkel | | x |
| 8 | DMS-Längenmessung an der Schraube | Vorspannkraft | x | |
| 9 | Messunterlegscheibe axial | Vorspannkraft | x | |
| 10 | Messunterlegscheibe radial | Vorspannkraft | x | |
| 11 | Ultraschall Längenmessung | Vorspannkraft | x | |

Abgeschwächte Regel

Nur zulässig mit
verstärktem Kontroll- und
Dokumentationsaufwand!

Mindestens eine Größe:
Steuer- oder Kontrollgröße
muss direkt gemessen
werden.

Kategorie A- Verschraubung

Hinweis: Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit. Bitte aktuelle Richtlinien und Normen prüfen.

Aufgabe für den Anwender: PFU

Messmethoden für die Prozessfähigkeitsuntersuchung (PFU)

Messmethoden zur Ermittlung von Fähigkeitswerten:

Kleine Schrauben: Methoden zur Ermittlung des Weiterdrehmomentes
VDI/VDE 2645 Blatt 3, Prozessfähigkeitsuntersuchung – Gründruck

Große Schrauben: Längenmessung,
Schall, DMS, Bügelmessschraube, Vorspannkraftmessung, ...

- DGQ-Band 16-02, Auswerteverfahren
- DGQ-Band 16-31, Statistische Prozesslenkung
- DGQ-Band 16-32, Qualitätsregelkartentechnik

Hinweis: Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit und Aktualität! -- Stand der Technik sowie VDI/VDE 2645 Blatt 3 bzw. DGQ-Bände beachten --

Aufgabe für den Anwender: PFU

Prozessfähigkeitsuntersuchung (PFU)

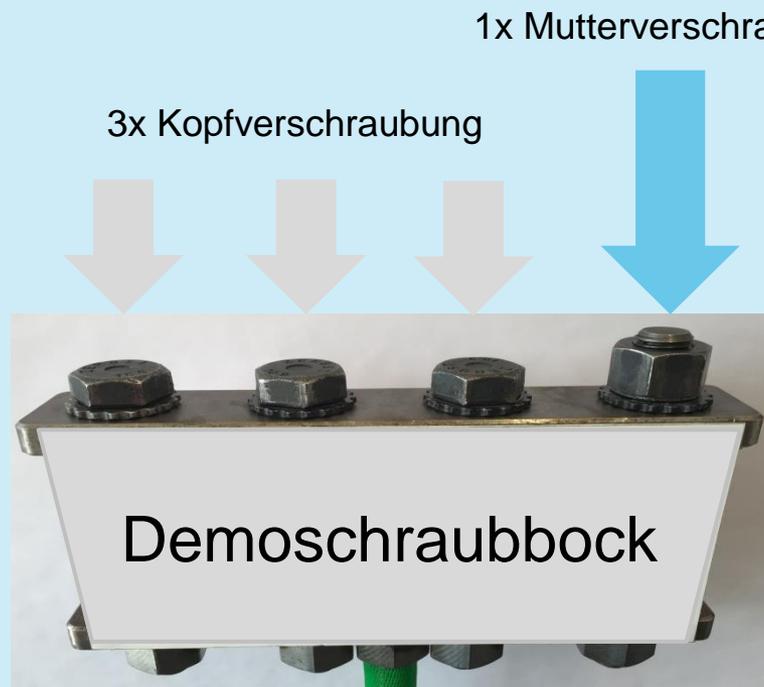
Herausforderung für den Anlagen- und Maschinenbau im Feld und bei Service und Reparatur

| | |
|-----------------------------|---|
| Umgebungstemperatur: | Stark wechselnde Umgebungsbedingungen -30°C +70°C |
| Luftfeuchtigkeit: | Extreme Schwankungen |
| Anzugsverfahren: | Vorzugsverfahren / Notstrategieverfahren |
| Schraubenanzahl: | Kleinserien / Teilweise geringe Schraubenanzahl |
| Messdatenerfassung: | Meist dezentral |
| Herausforderung: | Prozessstabilität wirtschaftlich sicherstellen |
| Parametervorgaben: | Drehmoment und Drehwinkel sind meist nur Orientierungswerte |
| Prozessvalidierung: | Längenmessung |



Aufgabe für den Anwender: PFU

Beispiel: Einfache Analysemethoden bei geringer Schraubenanzahl

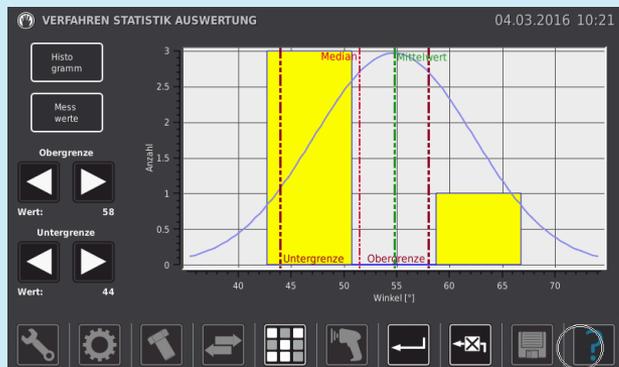
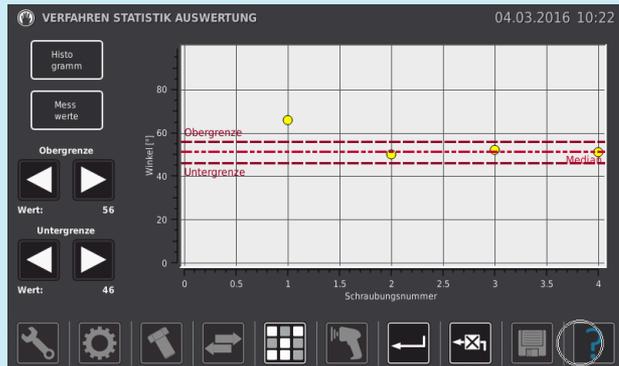


Spezifikation:

- Festigkeitsklasse: 10.9 HV
- Größe: M30 = SW 46mm
- Klemmlänge: 164,8mm
- 3 x Schraubenkopf
- 1 x Mutter
- 4 x Z-Washer (reaktionsarmfrei)
- Gleiche Klemmlängen
- Gleiche Oberflächen
- Gleichen Pastenschmierstoff
- Verfahren: DGD – 1.000Nm

Aufgabe für den Anwender: PFU

Beispiel: Einfache Analysemethoden bei geringer Schraubenanzahl



DGD: Drehmomentgesteuertes drehwinkelüberwachtes Anziehen 4er-Bock 04.03.2016 10:08

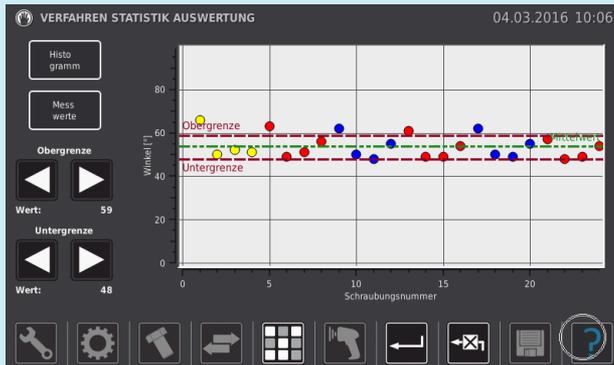
| Schrauben Nr | Folgeänderung: Auswahl 2 Sekunden betätigen |
|--------------|---|
| 1 | erledigt / OK |
| 2 | erledigt / OK |
| 3 | nächste Schraube |
| 4 | erledigt / OK |

Zusammenfassung:

- Statistischer Aussagewert ist aufgrund der Messungen (4 Stück) ungenügend.
- Auffälligkeiten können über Multigrafik und Markierung in Schraubenliste gut sichtbar gemacht werden.
- Zusätzliche externe Messdaten können ergänzt und ausgewertet werden.
- Erkennung von Auffälligkeiten trotz geringer Anzahl von Messungen gegeben!

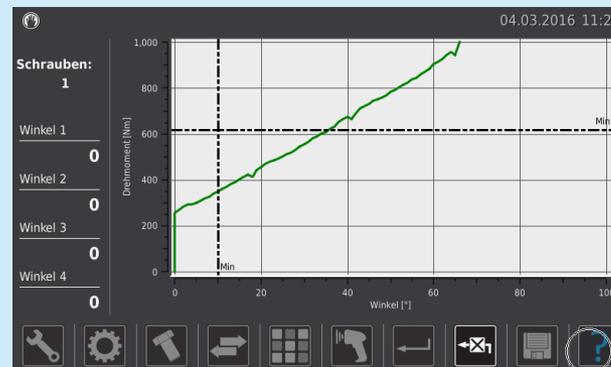
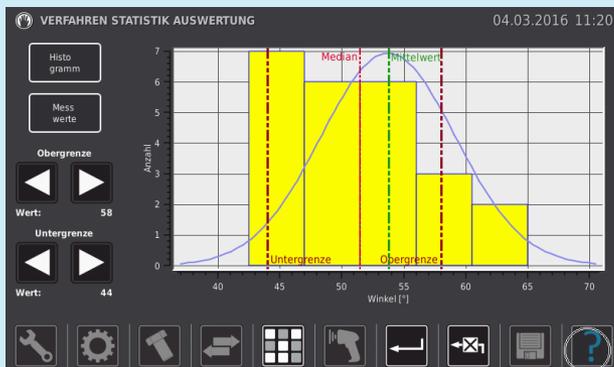
Aufgabe für den Anwender: PFU

Beispiel: Einfache Analysemethoden bei geringer Schraubenanzahl



Zusammenfassung:

- Statistischer Aussagewert ist aufgrund des Vergleichs von Daten (24 Stück) besser
- Durch Einzelkurvensicht mit Grenzlimits kann der Einzelvorgang besser beurteilt werden.
- Dem jeweiligen Vorgang kann ein Hinweis hinterlegt werden
- Externe Messwerte können analog ausgewertet werden.
→ Ansatz: Industrie 4.0



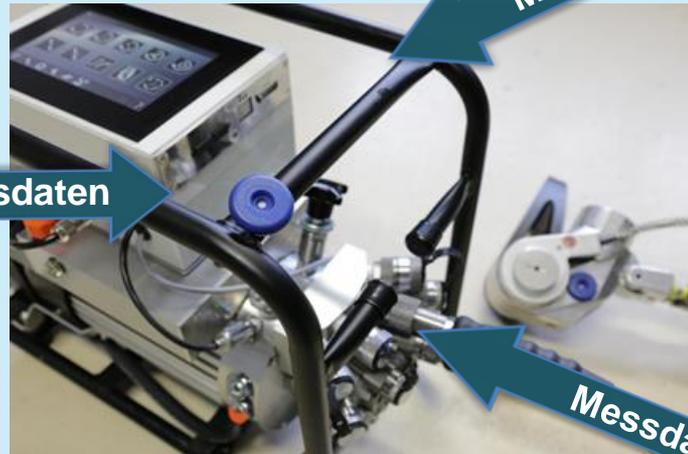
Verfahrensauswahl für Messwertermittlung

Praxisbeispiel: Automatisierte Messdatenerfassung

Quelle: Möller Metalldichtungen GmbH



Beispiel: Direkte Messung der Montagevorspannkraft mittels einer Messunterlegscheibe



Messdaten

Messdaten

Messdaten

Übernahme der extern erfassten Messdaten und zentrale Dokumentation *aller* Schraubprozessdaten mit der Eco2Touch.

Quelle: AMG Intellifast GmbH



Beispiel: Ultraschall-Längenmesssystem

Beispiel: DMS-Messschraube - smarttorc



smarttorc
intelligentboltingsystems

Verfahrensauswahl für Messwertermittlung

Praxisbeispiel: Manuelle Messdatenerfassung



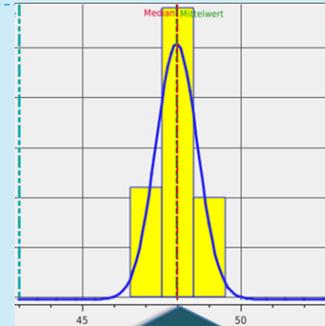
Mögliche Messmittel:

- Bügelmessschraube
- Schieblehre
- Tiefenlehre

Messdaten

Messung:

- Verspannte Messung in Tieflochbohrung
- Verspannte Messung der Außenabmessung
- Unverspannt – SGA, bleibende Längung der Schraube wird erfasst



Auswertung der Langzeituntersuchung unmittelbar nach dem Verschrauben möglich.

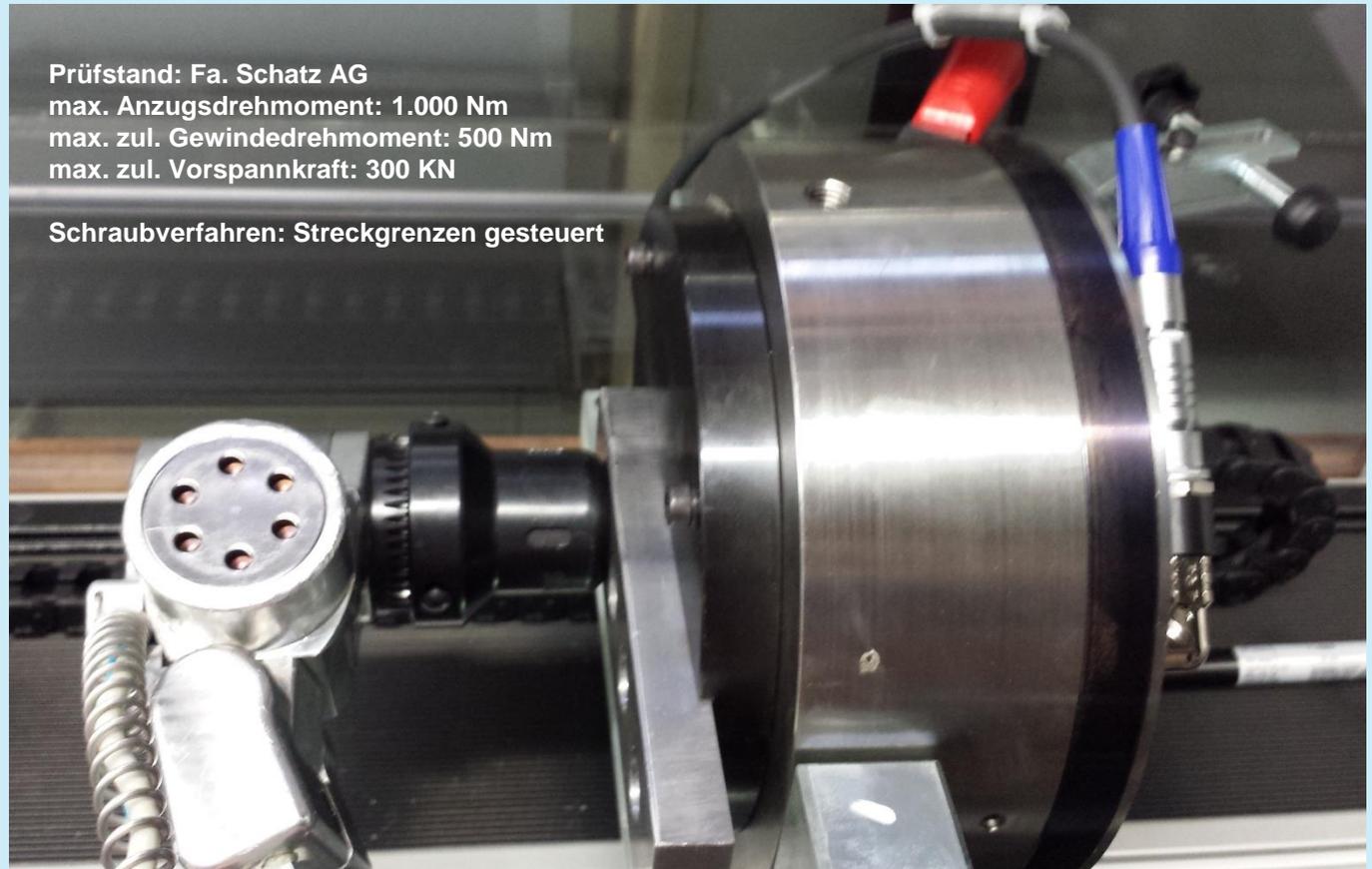
Dies erleichtert die Arbeitsprozesse erheblich und erhöht die Sicherheit!



Übernahme der extern erfassten Messdaten und zentrale Dokumentation „aller“ Schraubprozessdaten im System!

Verfahrensauswahl für Messwertermittlung

Ermittlung von Steuer- und Kontrollgröße - Parameterermittlung

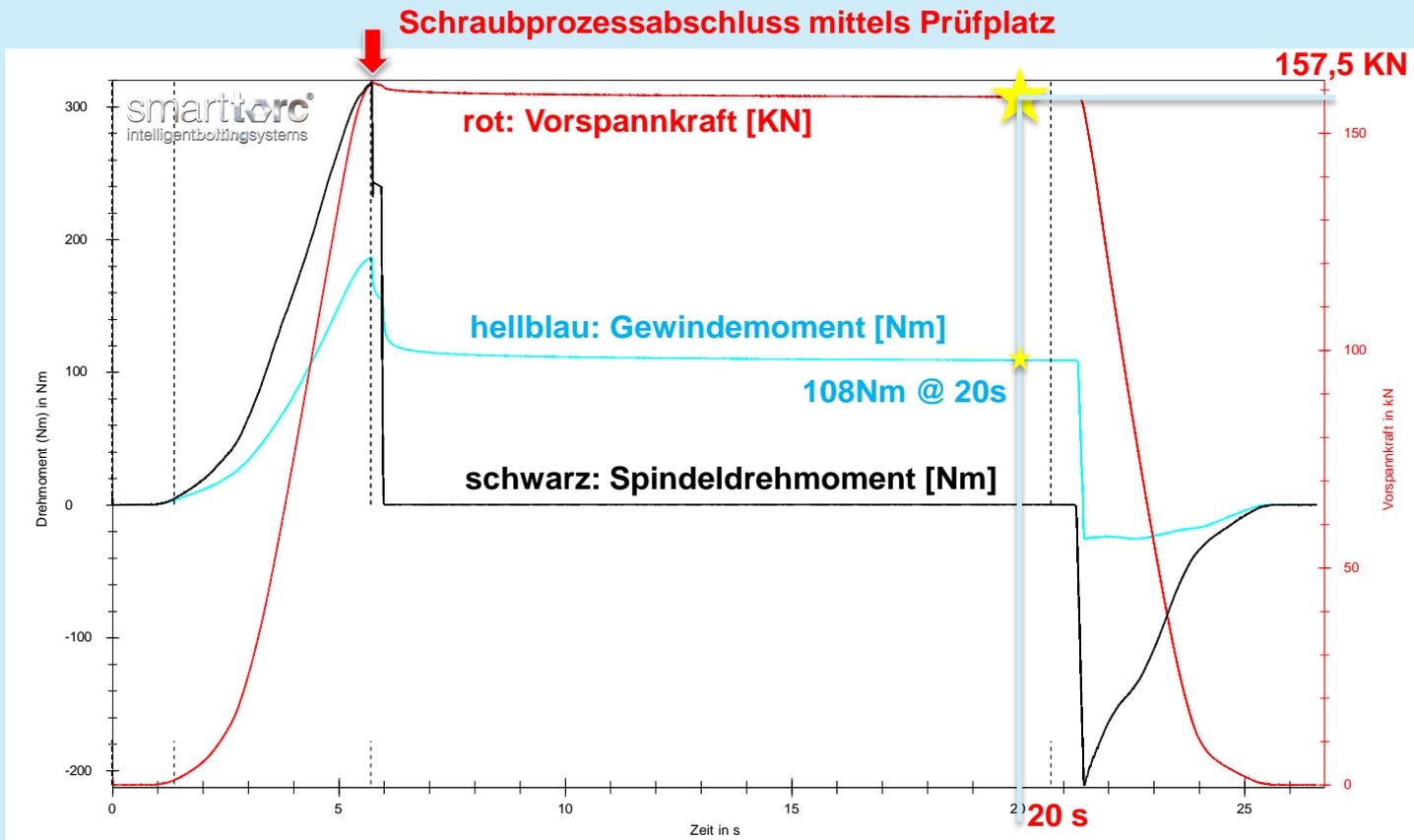


Prüfstand: Fa. Schatz AG
max. Anzugsdrehmoment: 1.000 Nm
max. zul. Gewindedrehmoment: 500 Nm
max. zul. Vorspannkraft: 300 kN

Schraubverfahren: Streckgrenzen gesteuert

Verfahrensauswahl für Messwertermittlung

Ermittlung von Steuer- und Kontrollgröße - Parameterermittlung



Schraube:
M16x2, Länge:102mm,
Zeichnungsschraube
mit Dehnschaft,
Festigkeitsklasse: 10.9,
Mindestfestigkeit DIN EN ISO 898-1:
147,58kN

Anzugsverfahren:
Streckgrenzengesteuertes
Anziehen

Anzug der Schraubverbindung:
Mittels Spindel des
Analyseprüfstands (10 U¹/_{min})

Prozesssteuerung:
Gradientensteuerung am Prüfplatz

Messzeitpunkt:
Messung der Vorspannkraft erfolgt
nach 20 Sekunden

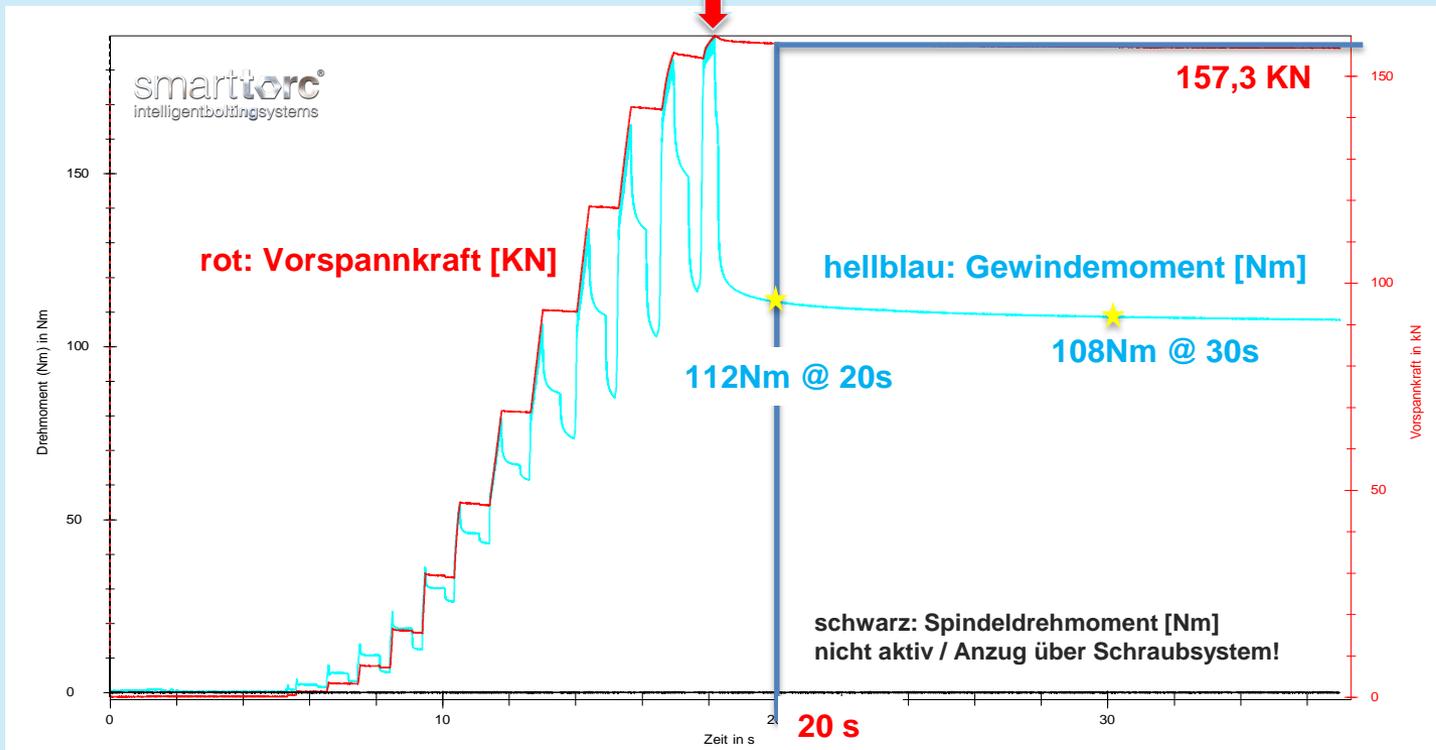
Vorspannkraftergebnis Prüfplatz:

157,5 kN @ 100% Rp0,2

Verfahrensauswahl für Messwertermittlung

Ermittlung von Steuer- und Kontrollgröße - Parameterermittlung

Schraubprozessabschluss mittels Schraubsystem



Schraube:
M16x2, Länge:102mm,
Zeichnungsschraube
mit Dehnschaft,
Festigkeitsklasse: 10.9,
Mindestfestigkeit DIN EN ISO 898-1:
147,58KN

Anzugsverfahren:
Streckgrenzengesteuertes
Anziehen

Anzug der Schraubverbindung:
Mittels hydraulischen
Schraubsystems (4 U¹/_{min})
- Eco2Touch mit AVANTI-0.7 ohne
Reaktionsarm

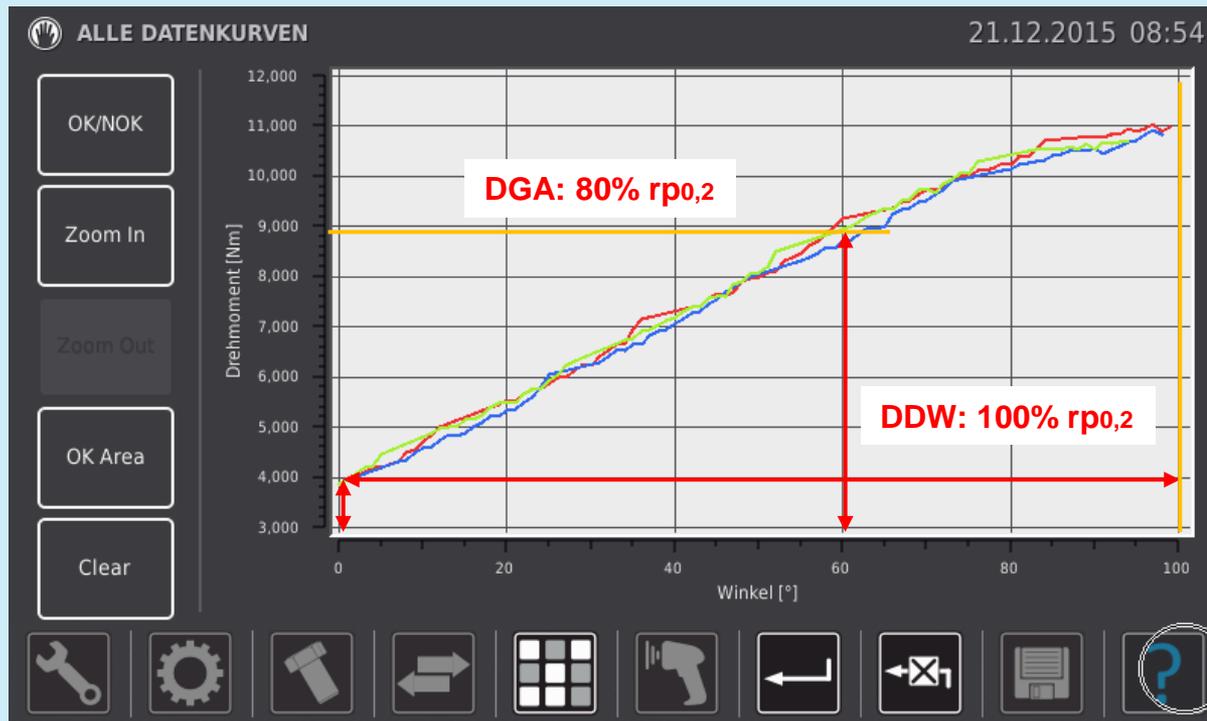
Prozesssteuerung:
Gradientensteuerung durch
Schraubsystem

Messzeitpunkt:
Messung der Vorspannkraft erfolgt
nach 20 Sekunden

Vorspannkraftergebnis Prüfplatz:
157,3 KN @ 100% Rp0,2

Verfahrensauswahl für Messwertermittlung

Ermittlung von Steuer- und Kontrollgröße - Parameterermittlung



Zusammenfassung:

- Multigrafikanalyse erlaubt einfache Beurteilung der Prozessstreuung bei geringer Schraubenanzahl
- Das SGA-Verfahren an der Applikation eliminiert optimal externe Störgrößen, welche den Reibwert beeinflussen.

Beispielanalyse:

- DGA @ 80% rp0,2
M = 8.800Nm
- DDW @ 100% rp0,2
Mα0 = 4.000Nm
α = 100°

Verfahrensauswahl für Messwertermittlung

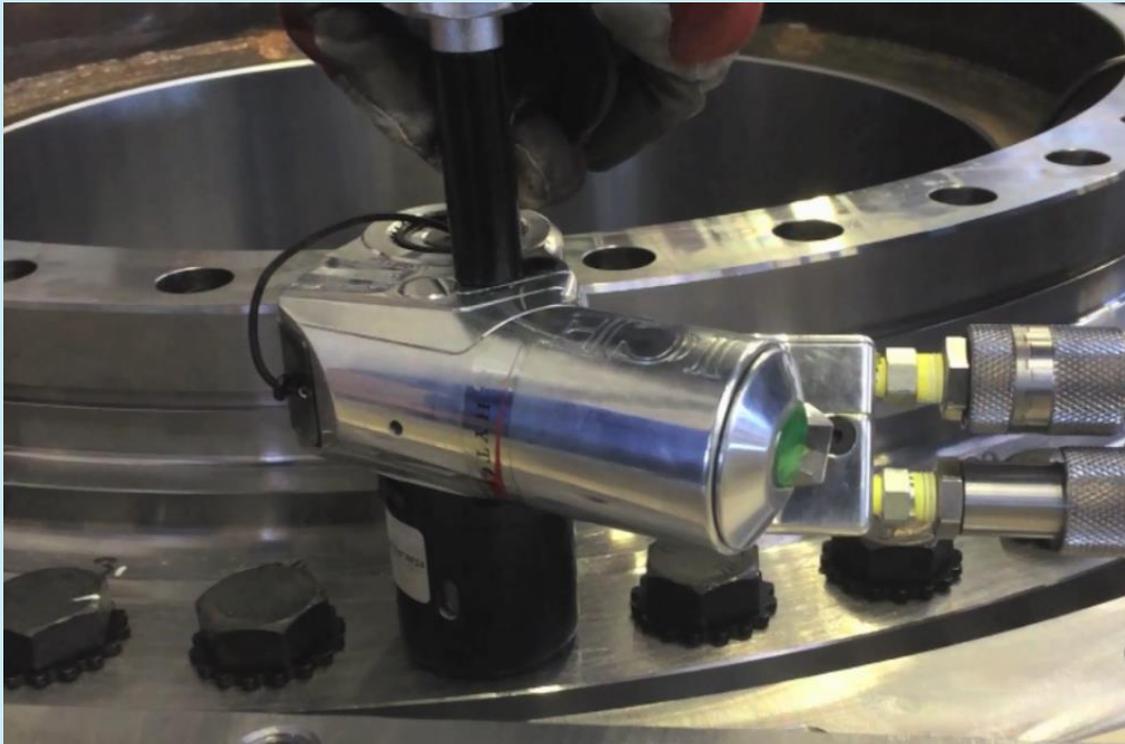
Ermittlung von Steuer- und Kontrollgröße - Parameterermittlung

Eigenschaften:

- Ausreichende Losgröße für Datenermittlung muss bestimmt werden
- Prüfplatzdaten oder SGA-Daten geben Aufschluss über Potential der Schraubverbindung
- Das SGA-Verfahren erlaubt darüber hinaus die direkte Analyse auf der Applikation
- Die Messdaten geben Aufschluss über Drehmoment, Drehwinkel und Potential der Schraubverbindung
- Die Daten können für alle gängigen Schraubverfahren zur Analyse genutzt werden.
- Der Abgleich mit den Konstruktionsannahmen ist somit sehr einfach möglich
- Die Messdatenermittlung sollte bei gleicher Drehzahl wie bei der Serienschraubung erfolgen

Verfahrensauswahl für Messwertermittlung

Praxisbeispiel für eine Kategorie C-Verschraubung



| | |
|-------------------------|----------------------|
| Anwendung: | Getriebegehäuse |
| Schraubengröße: | M24x180-10-9 |
| Beschichtung: | keine |
| Drehmoment: | 840Nm |
| Schmierung: | nur Konservierungsöl |
| Zusatzsicherung: | Loctite |
| Verfahren: | Drehmoment gest. |
| Besonderheit: | Reaktionsarmfrei |

Vielen Dank für Ihr Interesse!

Kontakt:

smarttorc®

JUKO Technik GmbH

Herr Holger Junkers

Bgm.- Graf- Ring 28

82538 Geretsried

www.smarttorc.de

E-mail: info@jukotechnik.de

