Digitalisiertes, prozesssicheres & mobiles Verschrauben von sicherheitskritischen Schraubverbindungen

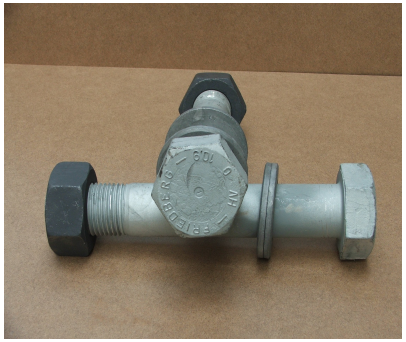
Oder: Wie steigert man die Leistungsfähigkeit von Schraubverbindungen

Stefan Weiß – HYTORC – Barbarino & Kilp GmbH – Krailling bei München

28. Windenergietage vom 05. bis 07.11.2019 in Potsdam

Forum 23: WP Infrastruktur & WEA Tragstrukturen / Planung & Betrieb

Welche Schraubverbindungen werden in der Windkraft verwendet ?



HV - Schraubgarnituren
Hochfeste vorspannbare Schraubgarnituren
(Garnitur = Schraubbolzen + Mutter + U-Scheiben)

mit Korrosionsschutz i.d.R. Feuerverzinkung (tZn)

Festigkeitsklasse 10.9

HV-Muttern Festigkeitsklasse 10

Das Innengewinde von HV-Muttern ist nicht feuerverzinkt und lediglich durch die aufgebrachte Schmierung vor Korrosion geschützt.

HV-Unterlegscheiben: Härteklasse 300HV – 370HV mit Fase

drehmomentgesteuertes Verschrauben
Woher kommen die Anzugs-Drehmomente ?

Soll-Anziehmomente [Nm] von Schraubengarnituren			Zugrunde liegendes Produkt-Regelwerk											
			EN 14399								DASt-Ri 021			
			M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36	M42	M48	M56	M64
10.9-HR/HV EN 1090-2 K2	$M_{A,Soll}$=	min [1]	78	193	377	513	652	954	1296	2265	---	---	---	---
	$1{,}10 \cdot k_m \cdot d \cdot F_{p,C}$	max [1]	179	445	868	1181	1500	2195	2981	5209	---	---	---	---
10.9-HV modifiziert K1	$M_{A,Soll}$*=	genau	96	237	464	631	801	1171	1591	2778	4450	6683	10742	16182
	$0{,}15 \cdot d \cdot F_{p,C}$*	*rund* [2]	***100***	***250***	***450***	***650***	***800***	***1250***	***1650***	***2800***	***4500***	***6500***	***10000***	***15000***
8.8-HR EN 1090-2 K2	$M_{A,Soll}$=	min [1]	62	155	302	412	521	763	1037	1813				
	$1{,}10 \cdot k_m \cdot d \cdot F_{p,C}$	max [1]	143	357	694	947	1199	1755	2386	4170				
8.8-SB modifiziert K1	$M_{A,Soll}$*=	genau	68	168	330	448	570	833	1131	1977				
	$0{,}15 \cdot d \cdot F_{p,C}$*	*rund* [2]	***70***	***170***	***300***	***450***	***600***	***900***	***1200***	***2100***				

[1] nach EN 1993-1-8 / EN 1090-2 (K2) [2] nach DIN EN 1993-1-8/NA (K1)

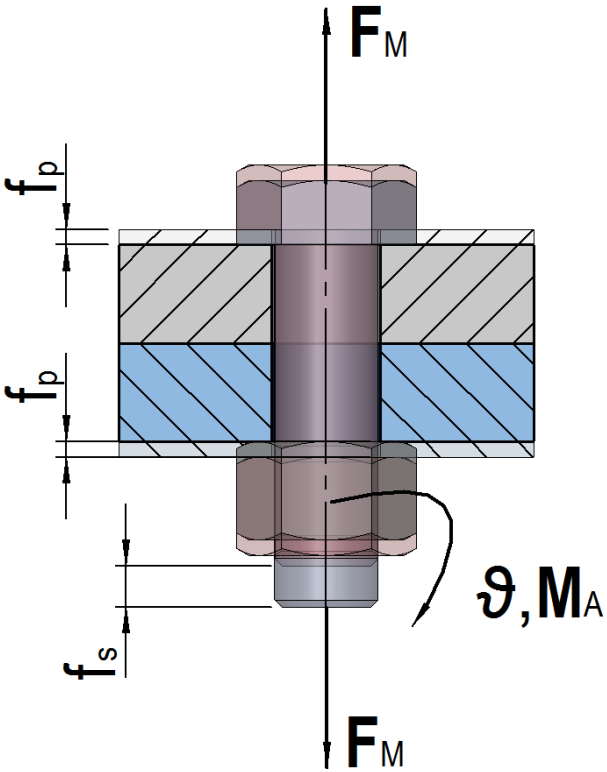
Bisherige Anziehmomente nach DIN 18800-7

... jetzt nach DIN EN 1993-1-8/NA

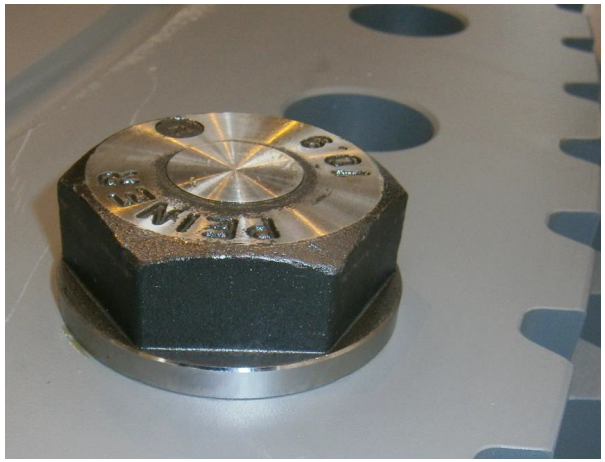
…aber auch die Schrauben-Hersteller geben Empfehlungen zum Anzugs-Drehmoment, die dann als technisches Spezifikationsmerkmal zugrunde gelegt werden.

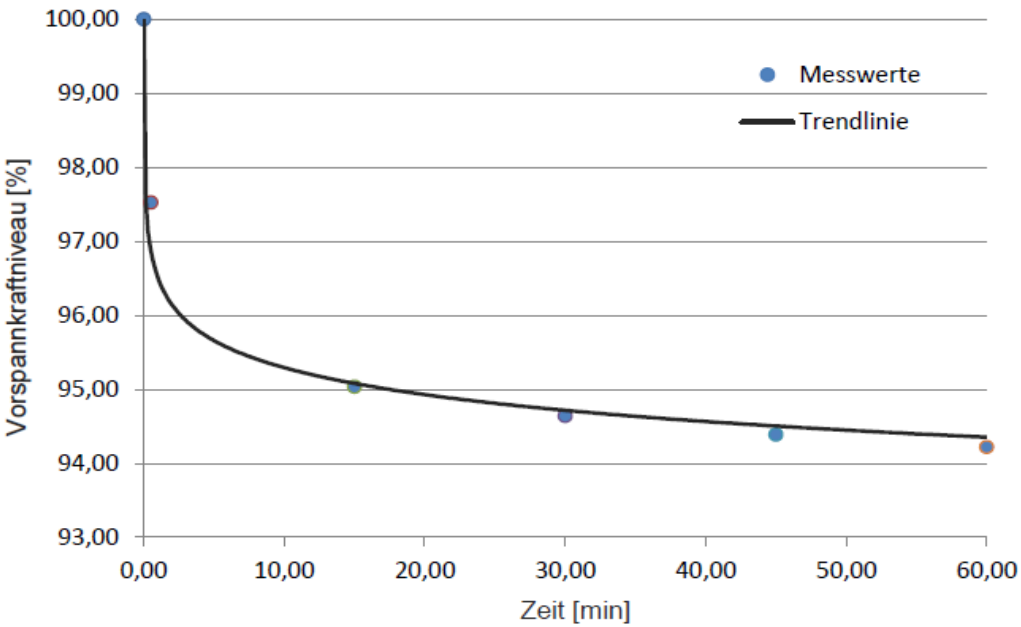
Was ist die Aufgabe einer Schraubverbindung

Eine Schraubverbindung hat die Aufgabe, dass sie wenigstens zwei Bauteile so miteinander verbindet, dass sich diese unter allen **spezifizierten Betriebslasten stets wie ein Bauteil** verhalten. Dies erfolgt mittels der Montagevorspannkraft (F_M), welche zu einer Längung der Schraube (fs) führt. Des Weiteren werden die montierten Bleche durch den Vorgang gestaucht (fp). Das **zeitliche Vorspann-kraftverhalten f(t)** muss **über die Produktlebensdauer berücksichtigt werden!**



Das bedeutet…..





Reproduzierbare und möglichst hohe Vorspannkraftwerte erzeugen und geringen Vorspannkraftverlust während der Betriebsdauer sicherstellen

HYTORC

Warum können Schraubverbindungen versagen ?
Faktor Mensch !

I) fehlendes Prozessverständnis aufgrund mangelhafter oder fehlender Qualifikation

II) Auswahlfehler (bei der Programmwahl) aufgrund unvollständiger Tätigkeitsbeschreibung

III) Falsches Richtlinienverständnis aufgrund unklarer Verantwortlichkeit

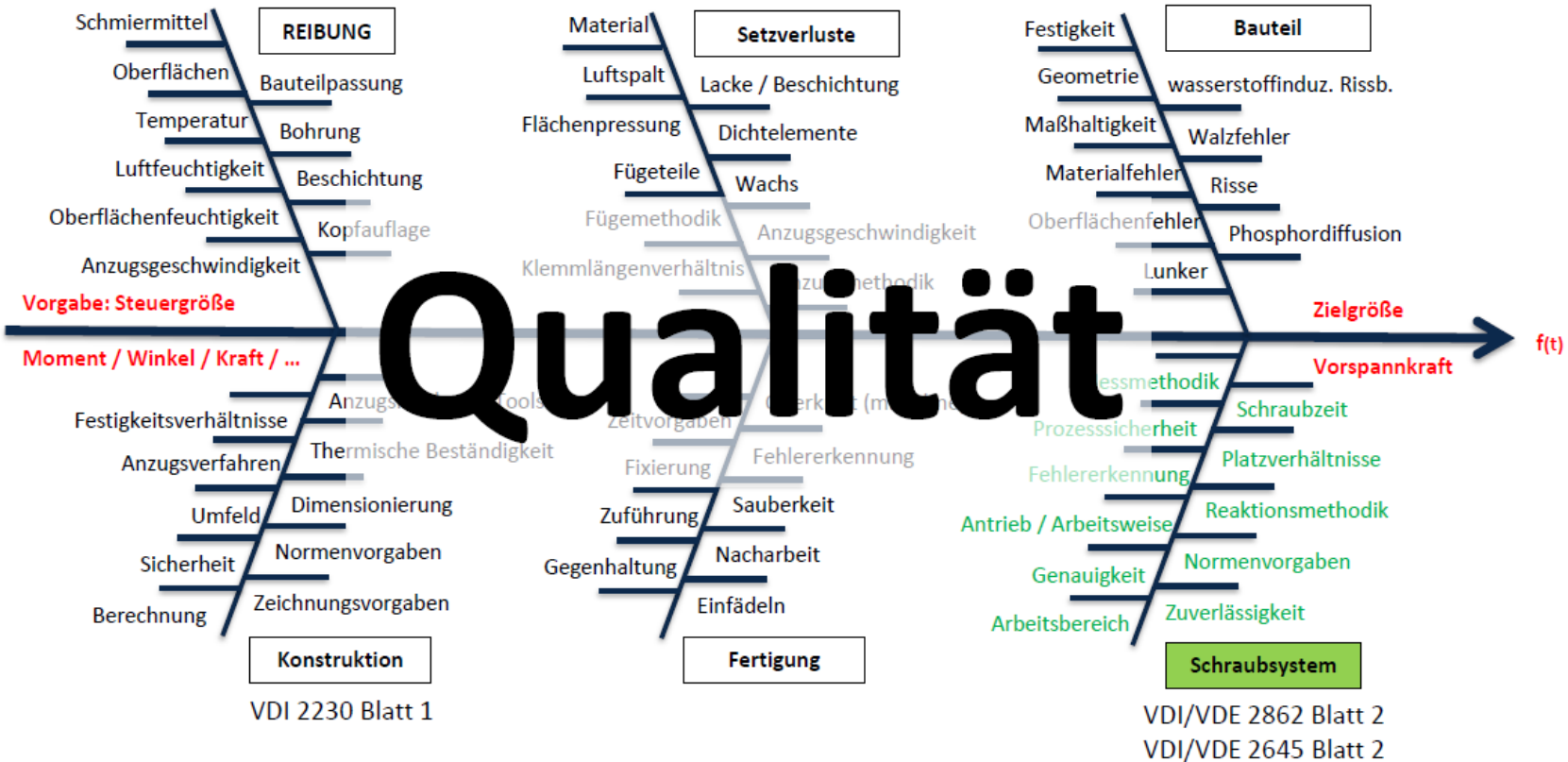
IV) Mangelhafte Sensibilisierung der Mitarbeiter durch Führungskräfte

HYTORC

Warum können Schraubverbindungen versagen ?
Faktor Technik !

I) Falsche Auslegung und Berechnung der Schraubverbindung
II) Geringe Festigkeit der Mutter oder Schraube (Schraubenqualität)
III) Zu großes Gewindespiel
IV) Leichte Schrägstellung der Auflagefläche der Mutter
V) Abstützprobleme beim Verschrauben
V) Die Reibzahl ist zu gering oder zu hoch
- durch unzulässige zusätzliche Schmierung der Einzelkomponenten
- durch fehlerhafte Aufbringung der Schmierung durch den Schrauben-Hersteller
- wenn Schraubengarnituren feucht / nass werden (Schmierstoffe neigen dazu Wasser aufzunehmen)
- durch unsachgemäßen Transport und Lagerung der Schraubverbindungen

Fazit: Die Herstellung einer Schraubverbindung, sprich das Verschrauben, ist ein komplexer Prozess ! Ishikawa



Seit 01.02.2015: Richtlinie VDI/VDE-2862-Blatt 2

VDI/VDE 2862-Blatt 2: **Mindestanforderungen zum Einsatz von Schraubsystemen und –werkzeugen: Anwendungen im Anlagen- und Maschinenbau sowie für Flanschverbindungen an drucktragenden Bauteilen.** Diese hat zwei „Kernaussagen“

„Kernaussage“ 1:
Der Anwender muss lt. Richtlinie VDI/VDE 2862 Blatt 1 und Blatt 2 seine Schraubverbindungen nach **drei Risikoklassen** bewerten.

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

Kategorie B: Mittlere Risikobewertung, Funktionsstörung / Anlagenstillstand

Kategorie C: Niedrige Risikobewertung, Unkritisch

Seit 01.02.2015: Richtlinie VDI/VDE-2862-Blatt 2

„Kernaussage“ 2: Bei Risikoklasse A gilt folgende Mindestanforderung an das Schraubsystem:

- Direkt gemessene **Steuergröße** (Drehmoment, Drehwinkel, Längung,…)
- Direkt gemessene **Kontrollgröße** (Drehmoment, Drehwinkel, Längung,)
- **Steuergröße und Kontrollgröße dürfen nicht gleich sein**
- Bereitstellung der Ergebnisse zur Weiterverarbeitung und die Schraubsystemselbsttestfähigkeit
- Redundanter Aufbau zum Erfassen der Steuer- und/oder Kontrollgröße → Alternativ kann bei diesem Punkt eine Plausibilitätskontrolle angewendet werden

Seit 01.02.2015: Richtlinie VDI/VDE-2862-Blatt 2

„Kernaussage“ 2 (Fortsetzung):

Bei Risikoklasse B gilt folgende Mindestanforderung an das Schraubsystem:

- **Direkt oder indirekt** gemessene **Steuergröße** (Druck, Drehmoment, Drehwinkel,…)
- **Direkt oder Indirekt** gemessene **Kontrollgröße** (Druck, Drehmoment, Drehwinkel,…)
- **Steuergröße und Kontrollgröße sind erforderlich**
- Bereitstellung der Ergebnisse zur Weiterverarbeitung

Bei Risikoklasse C gilt folgende Mindestanforderung an das Schraubsystem:

- **Direkt oder indirekt gemessene Steuergröße** (Druck, Drehmoment, Drehwinkel,…)

Fazit: Schraubverbindungen der Klasse A&B mindestens drehmomentgesteuert – drehwinkelüberwacht anziehen DGD

Fazit: Auszug Protokoll drehmomentgesteuert – drehwinkelüberwacht anziehen DGD

```
Schraubprogramm-Name: 1
Schraubprogrammersteller: Patrick Junkers
Schraubertyp: HYTORC-AVANTI-1
Fuegemoment [Nm]: 257
Sollmoment [Nm]: 750
Schraubschema-Name: 4er-Bock
Einzustellendes Pumpenmoment  [Nm]: 825 (743Nm - 907Nm)
Minimalmoment fuer Vorgang OK[Nm]: 675
Maximalmoment fuer Vorgang OK[Nm]: 825
Minimaldrehwinkel fuer Vorgang OK [°]: 0
Maximaldrehwinkel fuer Vorgang OK [°]: 64000
Dokumentation Istwinkel: Ein
Externer Steuerparameter : AUS

N:  1 S:  1 16.03.2017 t:10:07:10  W:    47° IM:    751 Nm FM:    257 Nm                    O (1)
N:  2 S:  2 16.03.2017 t:10:07:39  W:    42° IM:    751 Nm FM:    257 Nm                    O (1)
N:  3 S:  3 16.03.2017 t:10:08:00  W:    38° IM:    751 Nm FM:    257 Nm                    O (1)
N:  4 S:  4 16.03.2017 t:10:08:19  W:    37° IM:    751 Nm FM:    257 Nm                    O (1)
*****************************************************************************************************
```

HYTORC

Kosteneinsparung, Qualitätssteigerung und Erhöhung der Leistungsfähigkeit vorhandener Schraubverbindungen !

Besser wäre es kostengünstiger zu werden, bei gleichzeitiger Qualitätssteigerung und Erhöhung der Leistungsfähigkeit <u>vorhandener</u> Schraubverbindungen!

HYTORC

Kosteneinsparung und Qualitätssteigerung mit dem hydraulischen streckgrenzgesteuerten Verfahren SGA

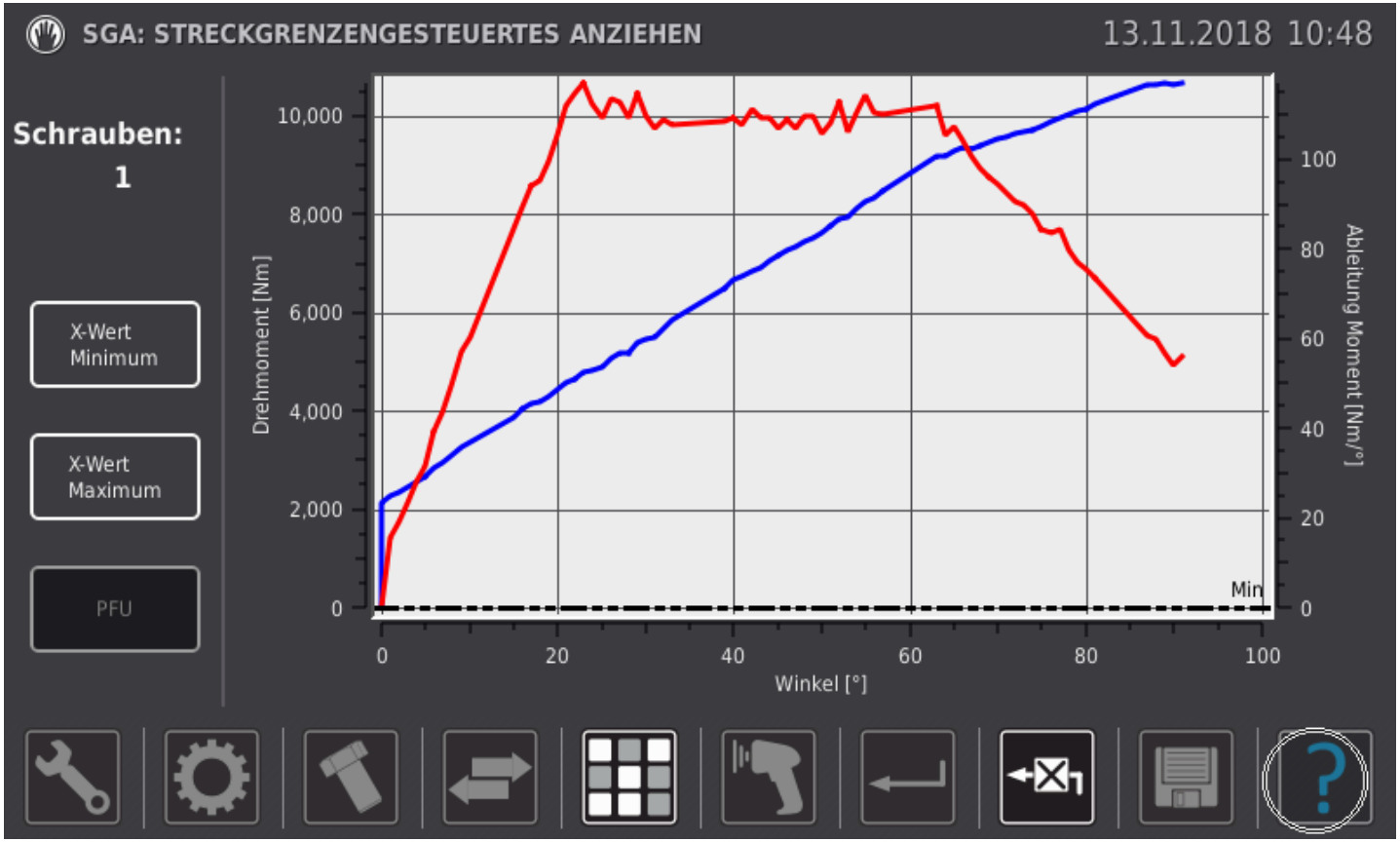
mobil mit der Prozess- und Dokumentationspumpe ECO2Touch in Kombination mit hydraulischen Standard-Drehmomentschraubern

Hier nutzt man den Umstand, dass beim Anziehen von SV durch gegenseitiges Verdrehen von Mutter und Schraubenbolzen **nicht nur eine AXIALSPANNUNG**, sondern **auch eine TORSIONSSPANNUNG infolge der Gewindereibung beansprucht wird**.

Das Fließen des Schraubbolzens beginnt dann dort, wo die Vergleichsspannung aus Zug- und Torsion die **Werkstoff-Fließgrenze** erreicht.

Unmittelbar nach erfolgter Vorspannung **federt der Torsionsanteil zu 50% im Schraubenbolzen zurück**. **Dadurch sinkt** bei verbleibender Vorspannkraft **die Vergleichsspannung**, und **die Streckgrenzgesteuerte, vorgespannte Verbindung gewinnt wieder an elastischer Verbindungsreserve.**

Kosteneinsparung und Qualitätssteigerung mit dem hydraulischen streckgrenz-gesteuerten Verfahren SGA



HYTORC

Was bedeutet eigentlich Streckgrenze ?

Ist im Kontext von Verschraubungen von „Streckgrenze“ die Rede, ist an sich die Dehngrenze gemeint. Denn bei technischen Werkstoffen wird statt der Streckgrenze in der Regel die $R_p0{,}2$-Dehngrenze oder Elastizitätsgrenze $R_p0{,}2$ angegeben.

Fazit:
mit dem streckgrenzgesteuerten Anzugsverfahren:

- **können Schrauben niemals abgerissen werden**
- **hat man stets eine ausreichende elastische Verbindungsreserve**

HYTORC

Fazit: Mit dem mobilen, hydraulischen streckgrenzgesteuerten Schraubverfahren (SGA) lassen sich:

Im Zusammenspiel mit einer fachgerecht dauerfesten Auslegung der Verbindungselemente können: **ganze Komponenten** insgesamt kleiner, schlanker und leichter konstruiert und somit von vornherein **deutlich kostengünstiger hergestellt werden**.

ist der Weg zur **wartungsarmen Standard-Schraubverbindung mit Standard-Werkzeugen möglich**.

Der Zweck von Schraubverbindungen wird sicher gestellt: Nämlich zwei oder mehrere Komponenten so zu verbinden, dass diese sich unter allen vorkommenden Betriebskräften **stets wie ein Teil verhalten !**

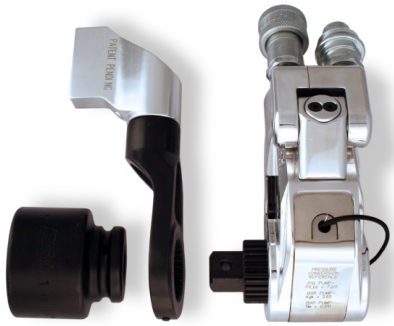
Selbst lackierte Bauteile lassen sich mit dem STRECKGRENZ gesteuerten Anzugsverfahren (SGA) **prozesssicher** Verschrauben !!! Denn**:**

- Es wird stets eine Vorspannkraft in ausreichender Höhe prozesssicher erzeugt
- Es entsteht ein Kraftfluss in der lackierten Verbindung
- Ein mögliches Gleiten in der Trennfuge wird von vornherein durch den erzeugten Reibschluss vermieden

Wie funktioniert hydraulishes streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA) in der Praxis ?

Mobiles felderprobtes Streckgrenzen gesteuerte Anziehen mit hydraulischen Standard Vierkant- und Wechselkassetten-Drehmomentschraubern ab 60 Nm bis 190.000 Nm als „unbegrenzte“ Kraftquelle mit abnehmbaren Drehwinkel-Sensoren

UND …..



Wie funktioniert hydraulishes streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA) in der Praxis ?

…..in Kombination mit der Prozess- und Dokumentationspumpe ECO2Touch / 230 Volt bzw. 400 Volt

Standard-Eco-Pumpe

+

Touch-Control-Unit

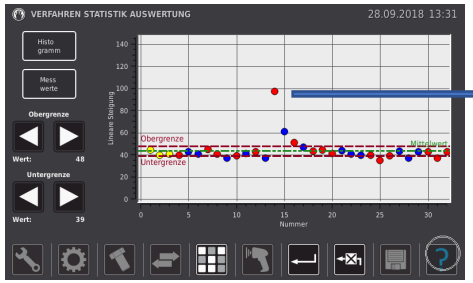
=

ECO2Touch-Pumpe

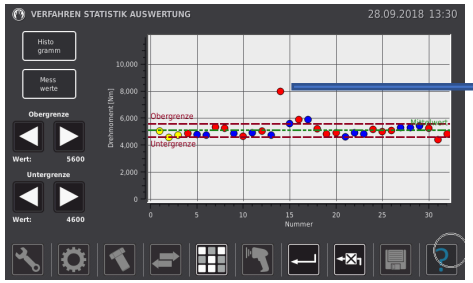
Hinweis: Eine bereits vorhandene Standard-ECO-Pumpe / 230 Volt / 400 Volt, kann ohne Probleme später auf eine Prozess- und Dokumentationspumpe ECO2Touch umgerüstet werden !

hydraulishes streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA)
Erkennung der Leistungsfähigkeit dank statistischer Daten

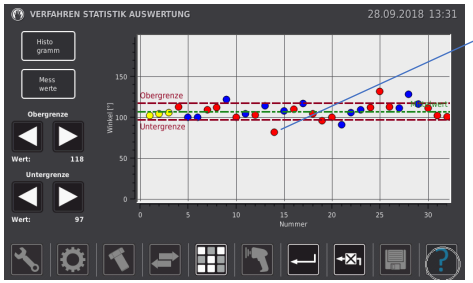
statistische SGA-Auswertung (auf Knopfdruck) der von Schraube zu Schraube jeweils einzeln aufgebrachten Werte: lineare Steigung; Drehmoment und



1) Die **Ursache** - hier: **Deutlich erhöhter Reibwert** zu erkennen an der **linearen Steigung** (Nm pro Grad) (SV-Nr 14 zu erkennen an der X-Achse)



2) Die **Folge** – hier: **erhöhtes Drehmoment** zu erkennen an der **Drehmoment**-Statistik (Nm) (SV-Nr.14 zu erkennen an der X-Achse)



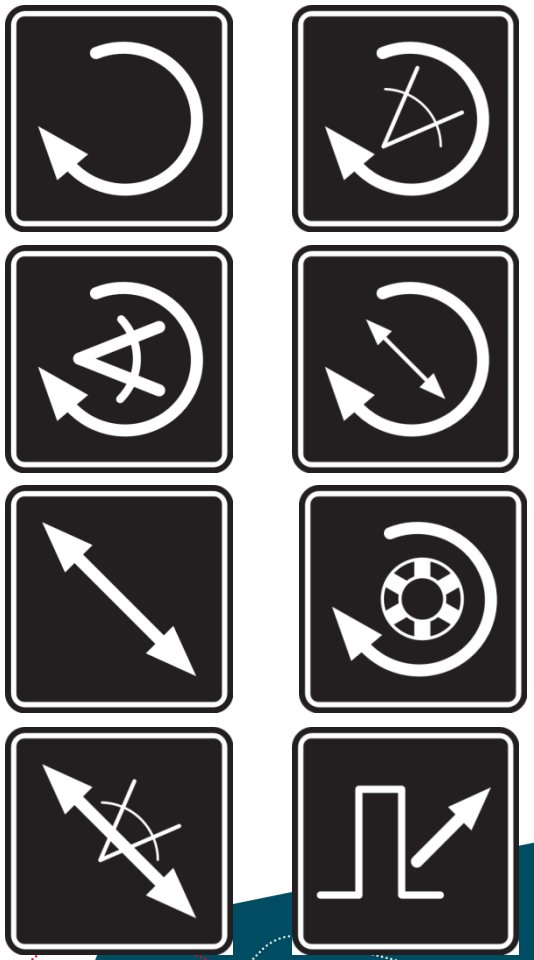
3) **Hinweis auf Ort der Prozessstörung** (SV-Nr. 14) Hier: Im Schraubengewinde, da höhere Torsions-belastung. SGA schaltet ab aufgrund der Ver-gleichsspannung (=Torsionsspannung + axiale Belastung). Zu erkennen an **Drehwinkel-Statistik (°)**

Wie funktioniert hydraulishes streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA) in der Praxis ?

Mögliche Anzieh- und Analyseverfahren

(1) drehmomentgesteuertes Anziehen (*indirekt!)
(2) drehmomentgest. drehwinkelüberw. Anziehen
(3) Drehmoment-Drehwinkelgesteuertes Anziehen
(4) Drehmomentgest. streckgrenzüberw. Anziehen
(5) streckgrenzgesteuertes Anziehen
(6) vorspannkraftgesteuertes Anziehen (*indirekt!)
(7) streckgrenzgesteuertes drehw. überw. Anziehen
(8) externe Prozesssteuerung mit Drucksteuerung mit Standard Industrieschnittstelle 0..10V / 0..20mA

- Sequenzer (Verkettung von Schraubprogrammen)
- Drehmoment-Analysetool



* Standardausführung - Erweiterbarkeit ist gegeben

Vorteile des hydraulischen streckgrenzgesteuerten Anziehverfahrens (SGA)

Anziehfaktor αA = 1,0 Zitat VDI2230: *Die Vorspannkraftstreuung wird wesentlich bestimmt durch die Streuung der Streckgrenze im verbauten Schraubenlos. Die Schrauben werden hier für F_{Mmin} dimensioniert;* ***eine Auslegung der Schrauben für F_{Mmax} mit dem Anziehfaktor αA entfällt deshalb für diese Anziehmethode.***

Max. Vorspannkraft: Die Schraube erreicht beim Anziehen auf Grund der Belastung auf Zug und Torsion ihre individuelle Streckgrenze. Durch den Wegfall der Torsions-belastung beim beenden des Anziehvorgangs wird eine Vorspannkraft von ca. 90% von $Rp_{0,2}$ erreicht.

Reibwertunabhängig: Unabhängig von der Reibung wird jede Schraube bis zur Streckgrenze belastet. Unterschiedliche Reibbeiwerte führen lediglich zu einer Veränderung der Torsionsbelastung in der Schraube und damit nur zu einer Vorspannkraftstreuung kleiner± 5%

Keine Sonderschrauben: Das Anziehverfahren kann sowohl am Schrauben-kopf, als auch an der Mutter angewendet werden.

Vorteile des hydraulischen streckgrenzgesteuerten Anziehverfahrens (SGA)

Wiederverwendbar : Da das Verfahren sicher vor $Rp_{0,2}$ abschaltet, können die Verbindungselemente wiederverwendet werden.

Verschiedene Hersteller: Schrauben und Muttern von verschiedenen Herstellern können problemlos vermischt werden, da jede Schraube auf ihre individuelle Streckgrenze angezogen wird, gibt es keine Einschränkungen bei der Wahl der Lieferanten.

Geringste Setzverluste: Da sich alle Bauteile ständig im Kraftfluss befinden und eine besonders hohe Vorspannkraft erreicht wird, hat dieses Verfahren die geringsten Setzverluste.

Anerkanntes Verfahren: Das streckgrenzgesteuerte Anziehen wird seit Jahrzenten eingesetzt – beispielsweise im PKW und Nutzfahrzeugbau

Erfüllt VDI 2862: Erfüllt die Anforderungen der VDI 2862 für alle Verschraubungen.

Vorteile des hydraulischen streckgrenzgesteuerten Anziehverfahrens (SGA)

Dokumentation: Jeder Schraubvorgang wird über Drehmoment und Drehwinkel dokumentiert

Qualitätskontrolle: Da nicht nur die Schraube sondern die gesamte Verbindung beim Anziehen „vermessen“ wird, werden Abweichungen in der Qualität sofort erkannt.

Dauerschwingfestigkeit: Auf Grund des hohen Vorspannkraftniveaus erhöht sich auch die Dauerschwingfestigkeit der Verbindung.

hydraulisches streckgrenzgesteuertes Anziehverfahren (SGA) – seit März 2019 zugelassen vom DNV-GL Hamburg

DNV·GL

Certificate No:
TAM00000UM

TYPE EXAMINATION CERTIFICATE

This is to certify:

That the Bolt connection

with type designation(s)
Yield controlled tightening procedure

Issued to
Hytorc Drehmomentmaschinen Seis GmbH
Dörth, Rheinland-Pfalz, Germany

is found to comply with
DNV GL class guideline DNVGL-CG-0372 – Foundation and mounting of machinery
VDI 2230 Systematic calculation of high duty bolted joints - Joints with one cylindrical bolt

Application :

Pretensioned bolts for connection of housings, flanges, etc. as covered by DNVGL-RU-SHIP Pt.4Ch.4+5

Issued at **Hamburg** on **2019-03-04**

This Certificate is valid until **2024-03-03**.
DNV GL local station: **Essen**

Approval Engineer: **Stanislav Avanesov**

for **DNV GL**

Burkhard Lilienthal
Head of Section

This Certificate is subject to terms and conditions overleaf. Any significant change in design or construction may render this Certificate invalid. The validity date relates to the Type Examination Certificate and not to the approval of equipment/systems installed.

Form code: TE 211 Revision: 2016-12 www.dnvgl.com Page 1 of 3

© DNV GL 2014. DNV GL and the Horizon Graphic are trademarks of DNV GL AS.

Job Id: **262.1-028306-1**
Certificate No: **TAM00000UM**

Product description

Yield strength controlled bolt tightening procedure. This procedure provide that the yield strength utilisation of the bolt material will not exceed 90% after the tightening procedure will be completed.

Alternative place of production

Hytorc-Süd
Barbarino and Kilp GmbH
Justus-von-Liebig.Ring 17
82152 Krailing, Germany

Hytorc USA
HYTORC Unex Corp.
333 Route 17 North
7430 Mahwah, New Jersey U.S.A.

Hytorc NL
HYTORC Nederland B.V.
Platinawerf 8
6641 TL Beuningen, Niederlande

Juko-Tech
Juko Technik GmbH
Bürgermeister Graf Ring 28
82538 Geretsried, Germany

Application/Limitation

Pretensioned bolts for connection of housings, flanges, etc as covered by DNVGL RU-SHIP Pt.4 Ch.4+5

Type Examination documentation

Report-No.M-W-ADE 2018.079, Rev.0: Strain measurements on two sets of bolts using yield controlled tightening technique Experience report for slewing ring on the Liebherr Crane of 01/2015.

Tests carried out

Type and acceptance test according to DNVGL
Test-report for materials for the bolts M45 and M36, Test-No.18 06 016 HH, Part 1 and 3 accordingly
3.1 Certificate for the bolts M45
3.1 Certificate for the bolts M36

Periodical assessment

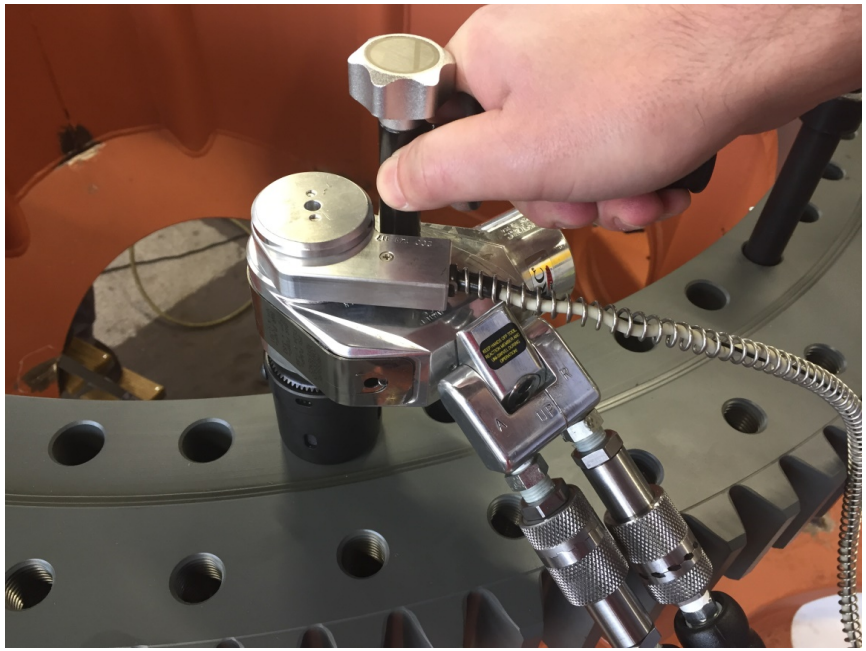
For retention of the Type Approval, a DNV surveyor shall perform a survey after 2 and 3,5 years after issue of certificate to verify that the conditions of the Type Approval are complied with.

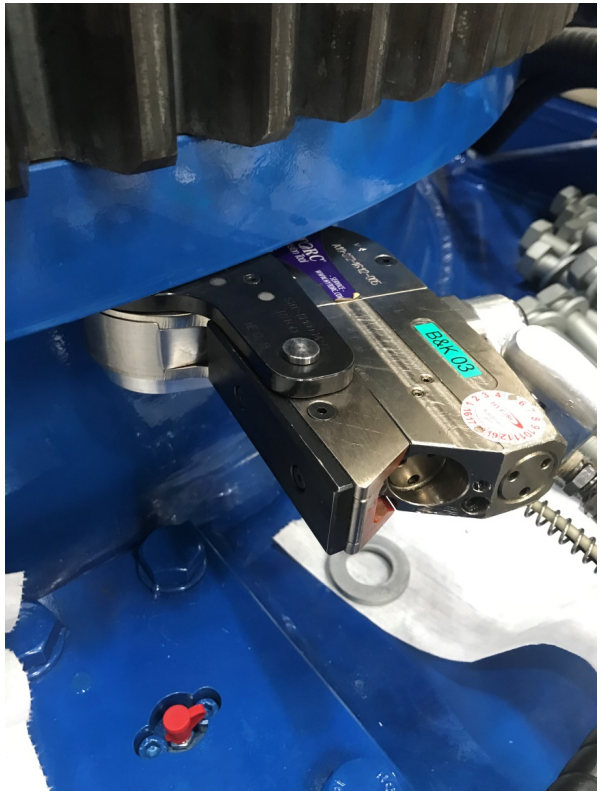
The objective of the Periodical Assessment is to verify that the conditions for the Type Approval are not altered since the Type Approval Certificate was issued. The main scope of the Periodical Assessment will normally include:

- Verification of the Type Approval applicant's production and quality system w.r.t. ensuring continued consistent production of the Type Approved products at the Type Approval applicant's own premises and at other companies that are given the responsibility for manufacturing of the products.
- Review of the Type Approval documentation and that this is still used as basis for the production

Form code: TE 211 Revision: 2016-12 www.dnvgl.com Page 2 of 3

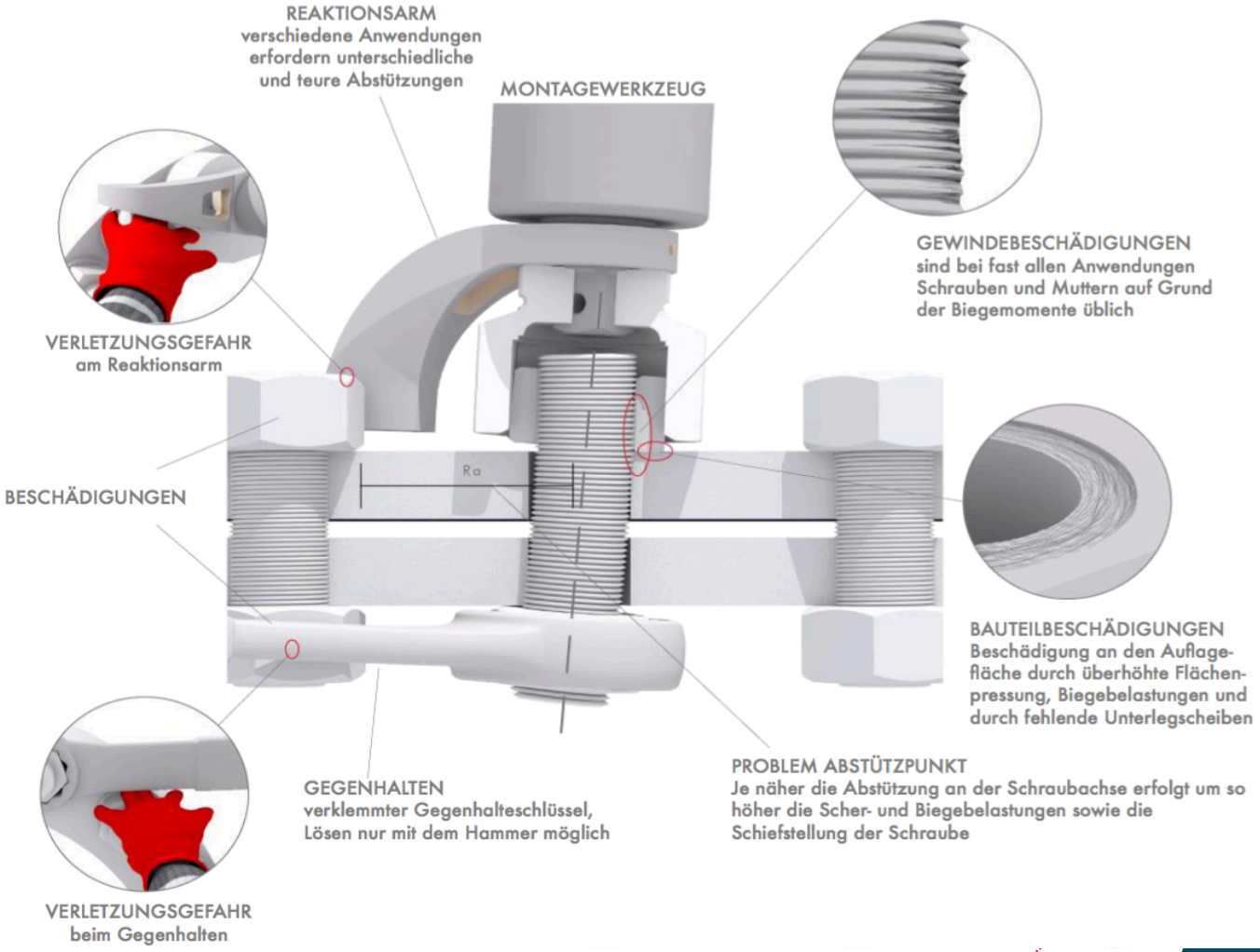
hydraulishes streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA) ohne externes Abstützen und gegenhalten möglich



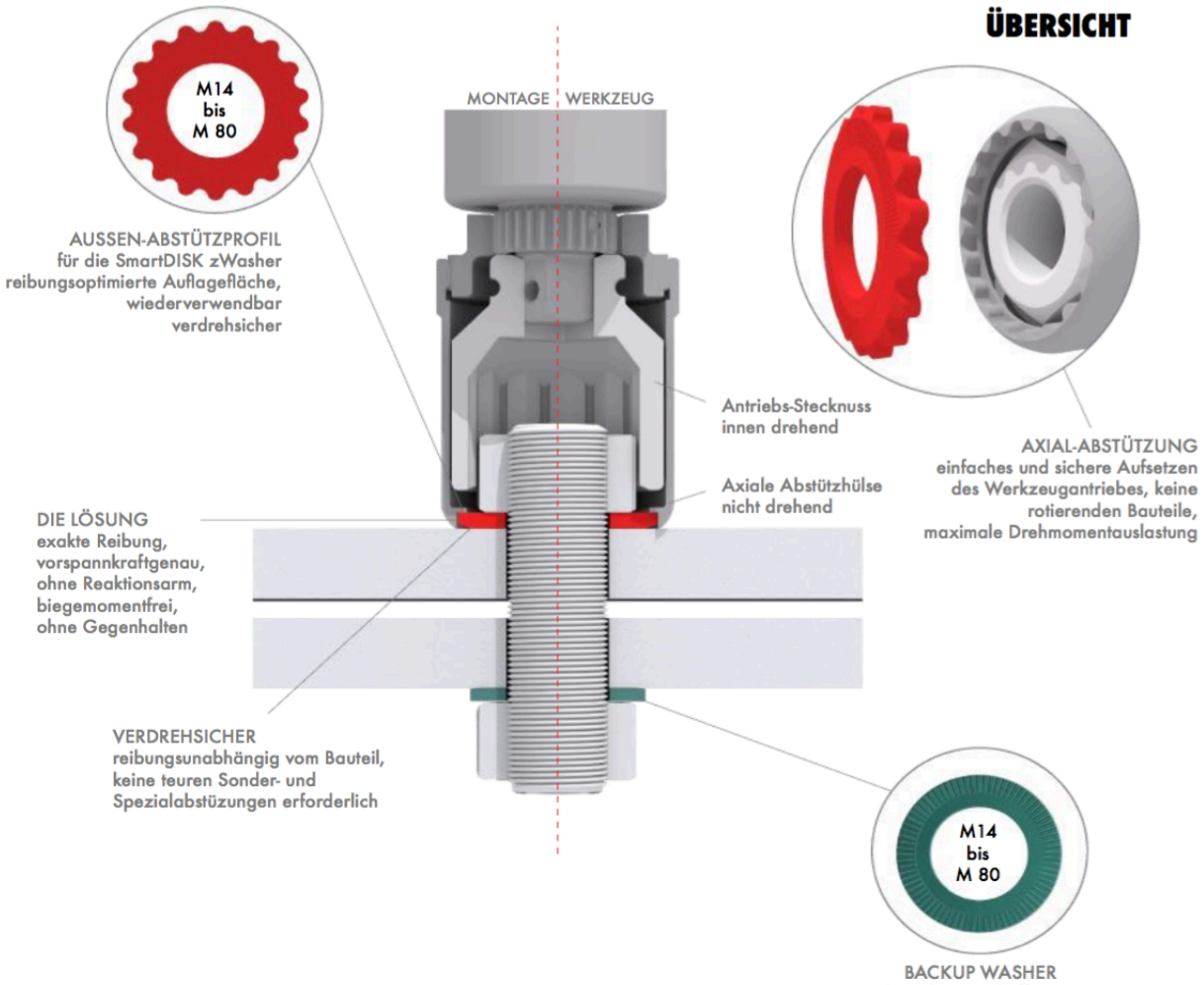


und als „Schmankerl“ - prozesssicheres Verschrauben ohne Reaktionsarm und Gegenhalteschlüssel dank verdrehsicherer Unterlegscheiben

Nachteile beim üblichen Verschrauben mit Reaktionsarm und mit Gegenhalteschlüssel



Verdrehsichere gehärtete Unterlegscheiben arbeitssicher und anlageschonend



Zusammenfassung

- ALLE Schraubverbindungen haben da Potential zu versagen
- Jeder Hersteller von Schraubverbindungen (egal ob anziehen oder lösen) muss seinen Schraubfall kennen
- Jede Person, die indirekt oder direkt mit Schraubtechnik/Schraubverbindungen zu tun haben, ist verantwortlich für das Ergebnis
- Verschrauben ist ein komplexer Prozess, der sicher beherrscht werden muss
- Deshalb sollten Schaubfälle der Klasse A und B min. Drehmoment gesteuert und Drehwinkelüberwacht verschraubt werden. Vorteil hierdurch, der Anwender erkennt bereits beim Anziehvorgang mögliche Prozessstörungen (grafische Darstellung und Text)
- Besser wäre eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Schraubverbindung, was durch das Streckgrenzverfahren (nicht „SCHRECKGRENZE“) möglich ist. Vorteile: Man spart Geld, Zeit und erhält nahezu wartungsfreie Schraubverbindungen.
- Mit der Eco2Touch ist dieses möglich und dank des modularen Aufbaus, jederzeit erweiterbar
- Mit der Streckgrenze kann keine Schraube mehr abgerissen werden!!!

Hinweis: 9. Münchener Forum Verbindungstechnologie in München-Unterhaching vom 27. bis 28.11.2019

Veranstalter:

HYTORC – Barbarino & Kilp GmbH
Kempchen Dichtungstechnik GmbH
F. REYHER Nchfg. GmbH & Co. KG

Schrauben-Verschrauben-Dichtungen
München-Unterhaching 27. bis 28.11.2019
www.vt-forum.de

Dort wird unter anderem die Thematik behandelt:
„Die Bedeutung überelastischer Montageverfahren für die Dauerfestigkeit schwingend belasteter Schraubverbindungen“

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !!!

www.anziehverfahren.de

www.hytorc.de **www.vt-forum.de**

HYTORC-Barbarino & Kilp GmbH
sowie **devotec GmbH**
Justus-von-Liebig-Ring 17
D-82152 Krailling / Nähe München

Stefan Weiß
Business Development Manager für digitalisierte Schraubtechnik
Mobil: +49 (0)152 22 80 99 78
eMail: s.weiss@hytorc.de
eMail: info@hytorc.de

Besuchen Sie uns auf den 28. Windenergietagen vom 05. bis 07.11.2019 - HYTORC-Stand: 93 !!!