



HYTORC

# HYTORC

## **Digitalisiertes mobiles prozesssicheres Verschrauben von sicherheitskritischen Schraubverbindungen in der Windkraft**

Autor: Patrick Junkers – HYTORC–Barbarino & Kilp GmbH – Krailing / München

Co-Autor: Holger Junkers – JuKo-Technik GmbH – Wolfratshausen / Obb.

WAB e.V. Bremerhaven Arbeitsgruppe: Gründungsstrukturen & Stahlbau

## Fakten zu Onshore & Offshore-Windkraftanlagen

---

**Regelmäßige Inspektionen und Wartungen** sind bei WEA **notwendig um** kostenintensive **Anlagenausfälle zu vermeiden** als auch um die **Betriebsfähigkeit zu gewährleisten**

**Auch Schraubverbindungen (SV) sind** dahingehend **zu prüfen**, ob unzulässige Veränderungen gegenüber der **genehmigten Ausführung** vorliegen.

Die **Überprüfung der Vorspannung** ist ein **wesentliches Prüfkriterium**, denn ein **selbsttätiges Lösen von SV** ist ein **hohes Sicherheitsrisiko**. Das bedeutet **kurze und somit teure Inspektionsintervalle** von SV.

## Fakten zu Onshore & Offshore-Windkraftanlagen

---

Das Wissen des realen Vorspannkraft-Zeitverhaltens von planmäßig vorgespannten Schraubenverbindungen ermöglicht die Auslegung und Konstruktion wartungsarmer/-freier Schraubflanschverbindungen bei WEA.

Betriebskosten können durch größere Inspektionsintervalle reduziert, kostenintensive Kontrollen verringert, oder ein Austausch kompletter Schrauben-Garnituren verhindert werden.

Die Arbeits- und Anlagensicherheit sowie die Betriebskosten von WEA können deutlich optimiert werden, wodurch eine kosteneffektivere Gewinnung regenerativer Energien erreicht wird.

## Welche Schraubverbindungen werden in der Windkraft verwendet ?

### HV - Schraubgarnituren

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

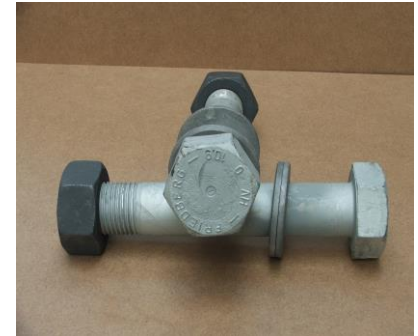
mit Korrosionsschutz i.d.R. Feuerverzinkung (tZn)

Festigkeitsklasse 10.9 mit Gewindetoleranz 6g + tZn

HV-Muttern Festigkeitsklasse 10 mit 6AZ Gewindeübermaß.  
Werksseitig unter Prozessbedingungen mit einem  
Schmiermittel auf Basis MoS<sub>2</sub> beschichtet.

Das Innengewinde von HV-Muttern ist nicht feuerverzinkt und  
lediglich durch die aufgebraute 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	$M_{A,Soll} = 1,10 \cdot k_m \cdot d \cdot F_{p,C}$	min <sup>1)</sup>	78	193	377	513	652	954	1296	2265	---	---	---	---
		max <sup>1)</sup>	179	445	868	1181	1500	2195	2981	5209	---	---	---	---
10.9-HV modifiziert K1	$M_{A,Soll}^{*} = 0,15 \cdot d \cdot F_{p,C}^{*}$	genau	96	237	464	631	801	1171	1591	2778	4450	6683	10742	16182
		rund <sup>2)</sup>	100	250	450	650	800	1250	1650	2800	4500	6500	10000	15000
8.8-HR EN 1090-2 K2	$M_{A,Soll} = 1,10 \cdot k_m \cdot d \cdot F_{p,C}$	min <sup>1)</sup>	62	155	302	412	521	763	1037	1813				
		max <sup>1)</sup>	143	357	694	947	1199	1755	2386	4170				
8.8-SB modifiziert K1	$M_{A,Soll}^{*} = 0,15 \cdot d \cdot F_{p,C}^{*}$	genau	68	168	330	448	570	833	1131	1977				
		rund <sup>2)</sup>	70	170	300	450	600	900	1200	2100				

Bisherige  
Anziehmomente  
nach DIN 18800-7

↓

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

<sup>1)</sup> nach EN 1993-1-8 / EN 1090-2 (K2)    <sup>2)</sup> nach DIN EN 1993-1-8/NA (K1)

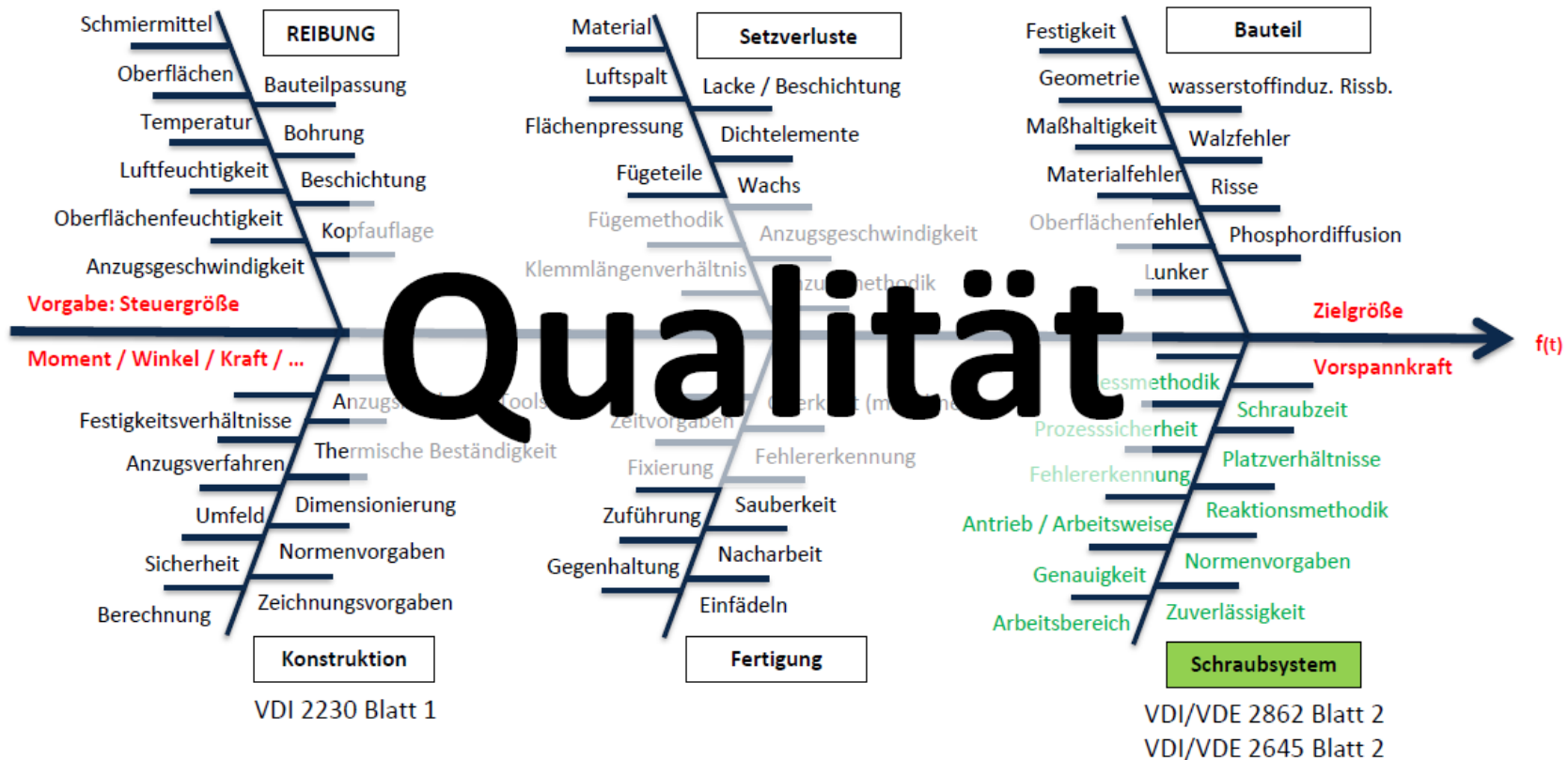
Aber auch Schrauben-Hersteller geben Empfehlungen zum Anzugs-Drehmoment, die dann als technisches Spezifikationsmerkmal wirken.

## Warum können Schraubverbindungen versagen ? Faktor Technik !

---

- I) Falsche Auslegung und Berechnung der Schraubvebindung
- II) Geringe Festigkeit der Mutter oder Schraube (Schraubenqualität)
- III) Zu großes Gewindenspiel
- 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 mindestens drehmomentgesteuert – drehwinkelüberwacht anziehen DGD

---

### Eigenschaften vom hydraulischen Verschraubungsverfahren: **Drehmoment gesteuert – Drehwinkel überwacht (DGD)**

- (1) Im DGD-Verfahren gibt es den Steuerwert Sollmoment.
- (2) Die Kontrollgröße ist der erzielte Drehwinkelwert zum Prozessabschluss.
- (3) Optional kann ein externer direkter Verfahrensparameter (externe Zusatzelektronik) zur Prozessvalidierung mit eingebunden werden, welcher über die Strom- oder Spannungsschnittstelle kontinuierlich mitgemessen und als erreichter Maximalwert digital ausgegeben und dokumentiert wird.
- (4) Die Vorhub-/Rückhub- Steuerung läuft über das Sollmoment ab (der Schrauberrückhub wird beim Erreichen des Sollmomentes oder am Hubende eingeleitet)

## Fazit: Schraubverbindungen mindestens drehmomentgesteuert – drehwinkelüberwacht anziehen DGD

---

Eigenschaften vom hydraulischen Verschraubungsverfahren:

### Drehmoment gesteuert – Drehwinkel überwacht (DGD)

(5) Der Spindelstillstand wird „direkt“ mittels Drehwinkelsensor beim Erreichen des Sollmoments gemessen und der Schraubprozess beendet.

(6) Zur IO/NIO-Erkennung wird nach Abschluss der Verschraubung geprüft, ob das parametrisierte Drehmomentfenster und das Drehwinkelfenster erreicht wurde. Zur Prozessvalidierung sind der Dokumentation die Drehwinkel- und Momentenwerte und der grafische Anzugsverlauf hinterlegt.

(7) Die Prozessfähigkeit beginnt bei einem Drehmomentwertäquivalent  $>100\text{Bar}$  ( $>14\%$  vom Endmoment des Werkzeugs).

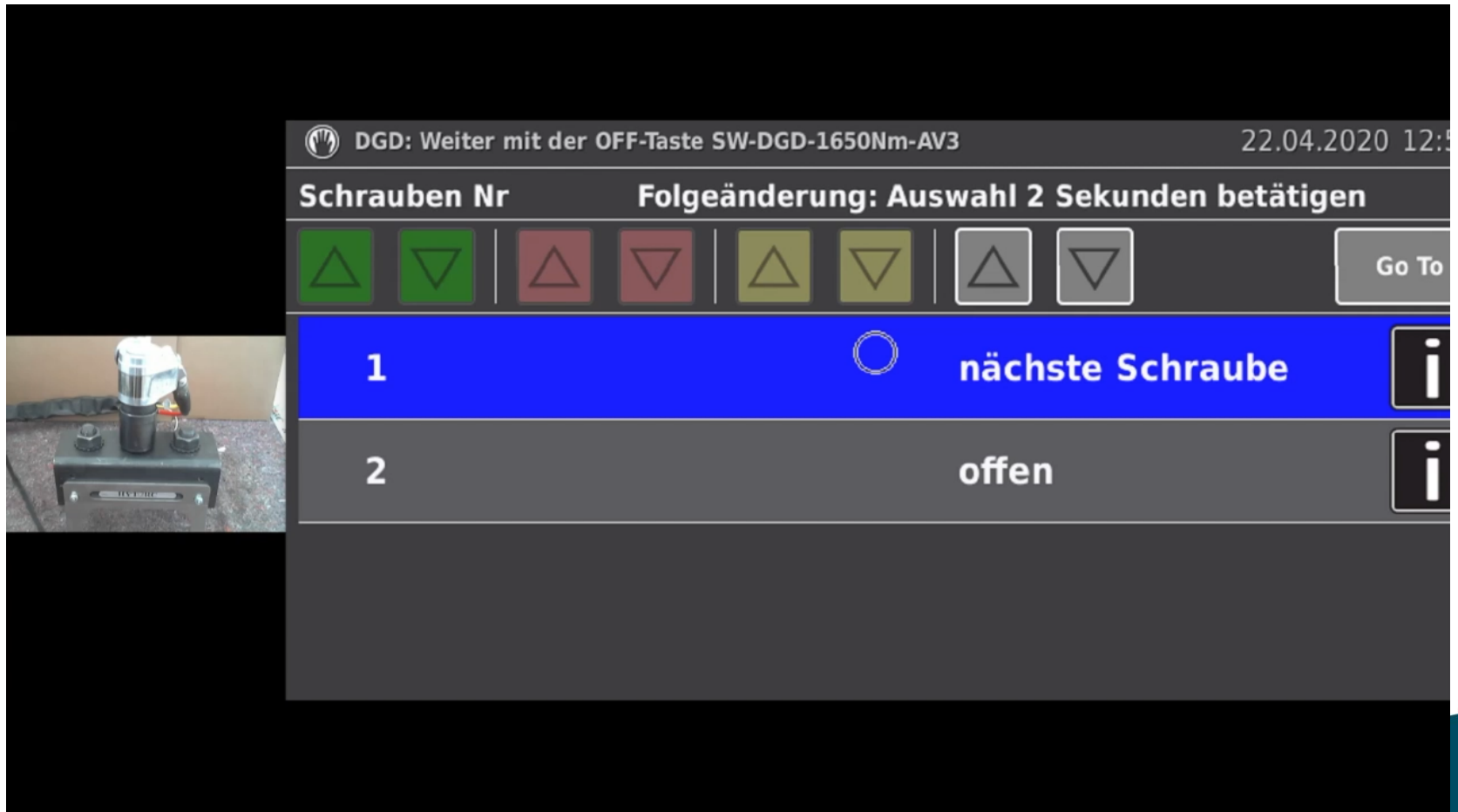
**Hinweis: Bei der DGD-Standardausführung werden die Kategorien A, B und C nach VDI / VDE-2862-Blatt 2 erfüllt.**

## 02 Stück Videos: Anziehen von Schraubverbindungen M30 = SW 46mm drehmomentgesteuert – drehwinkelüberwacht DGD mit 1.650 Nm

---



## 02 Stück Videos: Anziehen von Schraubverbindungen M30 = SW 46mm drehmomentgesteuert – drehwinkelüberwacht DGD mit 1.650 Nm

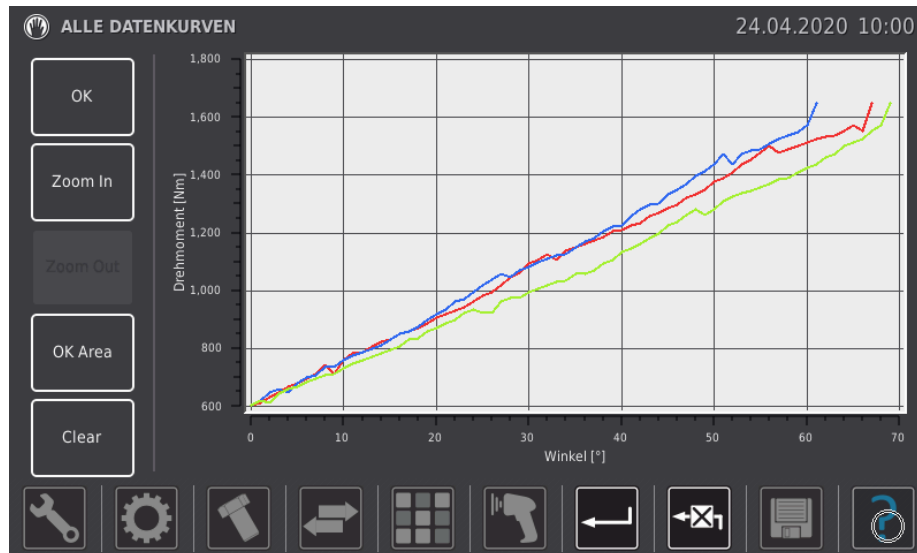


The screenshot displays the control interface for the DGD system. At the top, it shows the status 'DGD: Weiter mit der OFF-Taste SW-DGD-1650Nm-AV3' and the date '22.04.2020 12:5'. Below this, a header indicates 'Schrauben Nr' and 'Folgeänderung: Auswahl 2 Sekunden betätigen'. A row of navigation buttons (up/down arrows) is visible, along with a 'Go To' button. The main area shows a list of screws:

Schrauben Nr	Status	Info
1	nächste Schraube	i
2	offen	i

A small inset image on the left shows the physical HYTORC torque wrench being used on a screw.

## Gesamtkurven von je drei Anzugsvorgängen mit 1.650 Nm drehmomentgesteuert – drehwinkelüberwacht DGD



**linke Gesamtkurven  
mit verdrehsicheren  
Unterlegscheiben  
zWasher**



**rechte Gesamtkurven  
mit Reaktionsarm**



## Gesamtergebnisse von je drei Anzugsvorgängen mit 1.650 Nm drehmomentgesteuert – drehwinkelüberwacht DGD

```
Messdaten:
1*****2*****3*****4*****5*****6*****7*****8*****9**
N: 1 S: 1 24.04.2020 t:09:57:57 W: 67° IM: 1648 Nm FM: 600 Nm OK/OA (1)
N: 2 S: 2 24.04.2020 t:09:58:22 W: 61° IM: 1648 Nm FM: 600 Nm OK/OA (1)
N: 3 S: 3 24.04.2020 t:09:59:12 W: 69° IM: 1648 Nm FM: 600 Nm OK/OA (1)
*****
Zusatzinfo
*****
Manuell-OK - Gruende
*****
Prozessfaehigkeit:
*****
Ergebnis: 3 von 3 wurden erfolgreich angezogen.
*****
Datum und Uhrzeit: 24.04.2020 10:00:50
```

**Oben:  
Gesamt-  
ergebnisse  
mit verdreh-  
sicheren  
Unterlegschei-  
ben zWasher**

```
Messdaten:
1*****2*****3*****4*****5*****6*****7*****8*****9**
N: 1 S: 1 24.04.2020 t:11:28:29 W: 36° IM: 1648 Nm FM: 600 Nm OK/OA (1)
N: 2 S: 2 24.04.2020 t:11:28:51 W: 62° IM: 1648 Nm FM: 600 Nm OK/OA (1)
N: 3 S: 3 24.04.2020 t:11:29:15 W: 71° IM: 1648 Nm FM: 600 Nm OK/OA (1)
*****
Zusatzinfo
*****
Manuell-OK - Gruende
*****
Prozessfaehigkeit:
*****
Ergebnis: 3 von 3 wurden erfolgreich angezogen.
*****
Datum und Uhrzeit: 24.04.2020 11:30:15
```

**Unten:  
Gesamt-  
ergebnisse  
mit Reaktions-  
arm (SV wurden  
vorher 18 mal  
verschraubt)**

Wie wäre es aber mit **Kosteneinsparung und Qualitätssteigerung ?**

---

## **Kostengünstiger werden bei gleichzeitiger Qualitätssteigerung !**

Und hier gibt es ein großes bislang noch nicht ausgeschöpftes Potential bei Schraubverbindungen durch Einsatz neuer mobiler, baustellentauglicher und felderprobter intelligenter Verschraubungssysteme

## Kosteneinsparung und Qualitätssteigerung mit dem hydraulischen streckgrenz-gesteuerten Verfahren SGA

---

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** erzeugt 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 bis zu 50% im Schraubenbolzen zurück. Dadurch sinkt bei verbleibender Vorspannkraft die Vergleichsspannung und die Streckgrenz gesteuerte vorgespannte Verbindung gewinnt wieder eine elastische Verbindungsreserve.

## Wie funktioniert hydraulisches streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA) in der Praxis ?

Um Standard HV-Schraubverbindungen **prozesssicher Streckgrenzen gesteuert** im Feld anzuziehen und um allen Anforderungen nach **VDI/VDE 2862-Blatt 2** im Sinne von **Industrie 4.0** gerecht zu werden besteht ein mobiles, praxistaugliches hydraulisches Verschraubungssystem aus einer Prozess- und Verfahrenspumpe Eco2Touch in Kombination mit Standard hydraulischen Drehmomentschraubern mit Drehwinkelsensoren zur Erfassung, Analyse und Kontrolle sämtlicher Schraubvorgänge.



## Wie funktioniert hydraulisches 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 mit abnehmbaren Drehwinkel-Sensoren (wegen der Prozesssicherheit ) UND .....**



## 02 Stück Videos: Anziehen von Schraubverbindungen M30 = SW 46mm streckgrenzgesteuertes Anziehen - SGA

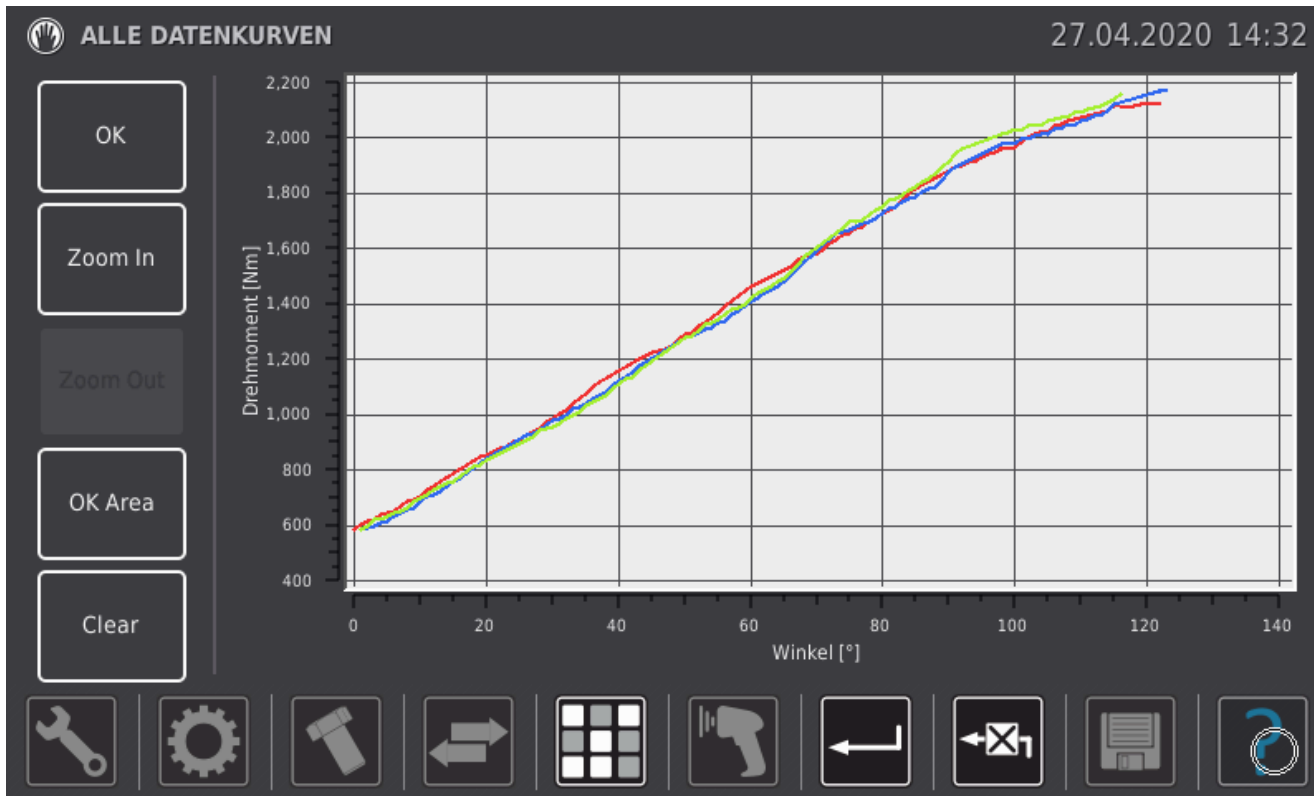


## 02 Stück Videos: Anziehen von Schraubverbindungen M30 = SW 46mm streckgrenzgesteuertes Anziehen - SGA






## Gesamtkurven von drei Anzugsvorgängen streckgrenzgesteuertes Anziehen – SGA (m. RA)



Anziehen von Schraubverbindungen M30 = SW 46mm  
streckgrenzgesteuertes Anziehen - SGA

## Gesamtergebnisse von drei Anzugsvorgängen streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA)

 **REPORT-VIEW** 27.04.2020 14:33

- MA = Manuelles OK: Anzug mit anderem Werkzeug  
- MF = Manuelles OK: Textbeschreibung

(10) [ ] Schraubprogramm-Nummer

\*\*\*\*\*

Messdaten:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N: 1	S: 1	27.04.2020	t:14:05:13	W: 122°	IM: 2121Nm	AS: 6.6	LS: 15.6	OK/OA	(1)
N: 2	S: 2	27.04.2020	t:14:05:53	W: 123°	IM: 2168Nm	AS: 7.8	LS: 16.3	OK/OA	(1)
N: 3	S: 3	27.04.2020	t:14:06:37	W: 116°	IM: 2156Nm	AS: 8.0	LS: 17.0	OK/OA	(1)

\*\*\*\*\*

Zusatzinfo

\*\*\*\*\*

Manuell-OK - Gruende

\*\*\*\*\*

Prozessfaehigkeit:

\*\*\*\*\*

Ergebnis: 3 von 3 wurden erfolgreich angezogen.











\*\*\*\*\*

Datum und Uhrzeit: 27.04.2020 14:07:32

\*\*\*\*\*

Hinweis: Das Protokoll enthaelt die Verfahrenswerte bei bestimmungsgemaessem Gebrauch der Anlage.  
Beachten Sie dazu die Hinweise in der Bedienungsanleitung.

\*\*\*\*\*



## Längenmessergebnisse von je drei Anzugsvorgängen streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA)

Nulllänge ( $L_0$ ) - [mm] Zero Measurement ( $L_0$ )	182,08	184,06	183,24
Vorgespann. Länge ( $L_1$ ) - [mm] Preloaded Bolt Length ( $L_1$ )	182,85	184,92	184,18
Unverspann. Länge ( $L_2$ ) - [mm] Untightened Bolt Length ( $L_2$ )	182,22	184,15	183,41
Schraubentyp Fastener	ISO 4017 M30 x 3,5 Fk: 10.9	ISO 4017 M30 x 3,5 Fk: 10.9	ISO 4017 M30 x 3,5 Fk: 10.9
Plastische Längung in % Plastic Elongation [%]	0,0760%	0,0488%	0,0928%

## hydraulisches streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA) Praxisbeispiel aus der Windkraft



```

Schraubprogramm-Name: 1
Schraubprogrammersteller: Holger
Schraubertyp: HYTORC-MXT-20
Steuermoment [Nm]: 23000
Schraubschema-Name: 16-bolt
Einzustellendes Pumpenmoment [Nm]: 22000 (19800Nm)
Minimalmoment fuer Vorgang OK[Nm]: 10000
Maximalmoment fuer Vorgang OK[Nm]: 21000
Relative Abschaltchwelle [%]: 50
Minimaler Kriechwinkel [°]: 4
Externer Steuerparameter : AUS
Doppelverschraubung/Fuegemoment-Schwelle [%]: 150
    
```

N: 1 S: 9 02.11.2017 t:11:24:07 W: 133° IM: 18805Nm AS: 71.1 LS: 147.5 OK/OA (1)

**WEA-Onshore-Turmverschraubung M64x300mm-10.9 = SW 100mm mit  
HYTORC hydraulischen Drehmomentschrauber HY-20 MXT  
streckgrenzgesteuert angezogen ! Bei dieser SV wurde ein  
Drehmoment: 18.805 Nm benötigt. Die lineare  
Steigung betrug hier: 147,5 N pro Grad**

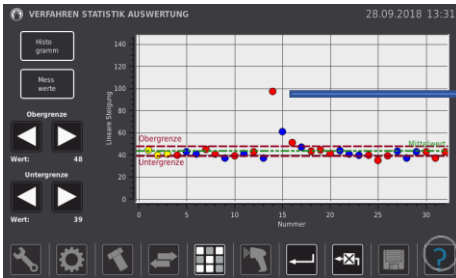
## hydraulisches streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA) Praxisbeispiel

N: 1 S: 2	02.11.2017	t:12:18:20	W: 131°	IM: 19425Nm	AS: 66.2	LS: 165.2	OK/OA	(1)	
N: 2 S: 3	02.11.2017	t:12:26:02	W: 121°	IM: 17487Nm	AS: 63.0	LS: 141.0	OK/OA	(1)	
N: 3 S: 4	02.11.2017	t:12:28:26	W: 147°	IM: 21292Nm	AS: 68.1	LS: 153.9	NOK/MG/OA	(1)	Streckgrenze OK
N: 4 S: 5	02.11.2017	t:12:33:33	W: 134°	IM: 19347Nm	AS: 69.5	LS: 147.5	OK/OA	(1)	
N: 5 S: 6	02.11.2017	t:12:39:50	W: 166°	IM: 23004Nm	AS: 77.0	LS: 137.7	NOK/MG/OA	(1)	
N: 6 S: 7	02.11.2017	t:13:22:52	W: 133°	IM: 18495Nm	AS: 63.0	LS: 144.2	OK/OA	(1)	
N: 7 S: 8	02.11.2017	t:13:25:28	W: 127°	IM: 18921Nm	AS: 63.0	LS: 147.4	OK/OA	(1)	
N: 8 S: 9	02.11.2017	t:13:27:58	W: 133°	IM: 21642Nm	AS: 76.2	LS: 174.8	NOK/MG/OA	(1)	Streckgrenze OK
N: 9 S: 10	02.11.2017	t:13:32:01	W: 127°	IM: 19270Nm	AS: 69.5	LS: 153.9	OK/OA	(1)	
N: 10 S: 11	02.11.2017	t:13:34:13	W: 107°	IM: 16285Nm	AS: 63.1	LS: 152.1	OK/OA	(1)	
N: 11 S: 12	02.11.2017	t:13:37:01	W: 133°	IM: 23004Nm	AS: 147.0	LS: 173.4	NOK/MG/OA	(1)	
N: 12 S: 13	02.11.2017	t:13:39:24	W: 151°	IM: 23004Nm	AS: 111.0	LS: 160.5	NOK/MG/OA	(1)	
N: 13 S: 14	02.11.2017	t:13:41:19	W: 135°	IM: 18533Nm	AS: 58.1	LS: 148.9	OK/OA	(1)	
N: 14 S: 15	02.11.2017	t:13:43:21	W: 130°	IM: 20475Nm	AS: 74.5	LS: 158.7	OK/OA	(1)	

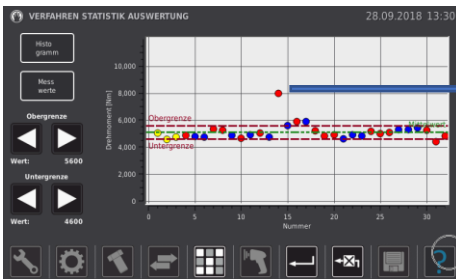
Gesamtprotokoll aller streckgrenzgesteuert angezogenen Onshore WEA-Turmverschraubung M64x300mm-10.9 = SW 100mm.  
ALLE angezogenen SV waren in der Streckgrenze vor  $R_{p0,2}$

## hydraulisches streckgrenzgesteuertes Anziehen (SGA) Erkennung der Leistungsfähigkeit dank statistischer Daten

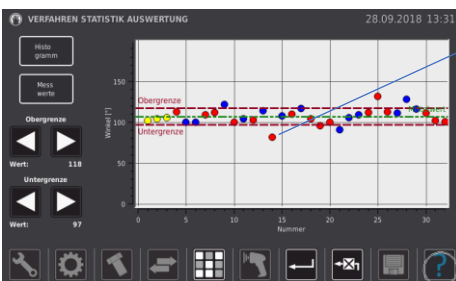
statistische **SGA-Auswertung** der von Schraube zu Schraube jeweils einzeln aufbrachten Werte: **lineare Steigung**; **Drehmoment** und **Drehwinkel**



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 Torsionsbelastung. SGA schaltet ab aufgrund der Vergleichsspannung (=Torsionsspannung + axiale Belastung). Zu erkennen an **Drehwinkel-Statistik** (°)

## 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 einem prozesssicheren mobilen hydraulischen streckgrenzgesteuerten Anzugsverfahren:**

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



Zitat aus „Schraubenverbindungen“ 4. Auflage Springer-Verlag Heinrich Wiegand, Karl-Heinz Kloos und Wolfgang Thomala

---

Das überelastische Anziehen von Schraubenverbindungen mit Hilfe von streckgrenzüberschreitenden Montageverfahren gestattet die **optimale Ausnutzung der Schraube beim Anziehen** und führt zu **maximal möglichen Montagevorspannkräften** (Kapitel 8 ).

Da hochfeste **Schrauben der Festigkeitsklasse 8.8 bis 12.9 ausreichende Zähigkeitseigenschaften** besitzen, können sie im Allgemeinen **gefahrlos in den teilplastischen Verformungsbereich vorgespannt werden.**

Die **Betriebshaltbarkeit der Verbindung wird** nicht negativ beeinträchtigt, sondern **deutlich verbessert !!!**

Oder anders ausgedrückt  
( Quelle: Schraubfachausbildung DSV)

---

Bei überelastischer Montage wie dem hydraulischen **streckgrenz-gesteuerten Verschrauben** wird die Fließgrenze der Schraube bewusst überschritten. Wichtig sind zwei Besonderheiten:

Durch Setzkraftverluste wird die Verbindung **trotzdem elastisch betrieben** ( Rückfederung; oft kritisch eingeschätzt, falls keine Erfahrung mit überelastischer Montage existiert – aber mittlerweile seit Jahren etabliert )

Durch Torsionsspannungsrückgang im Betrieb entsteht eine angehobene Fließgrenze, d.h. es entstehen neue **Belastungsreserven** ( daher **ist eine überelastisch montierte Schraube absolut betriebssicher** )

## Vorteile des hydraulischen streckgrenzgesteuerten Anziehverfahrens (SGA)

---

**Anziehungsfaktor  $\alpha_A = 1,0$**  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 Anziehungsfaktor  $\alpha_A$  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 Torsionsbelastung beim beenden des Anziehvorgangs wird eine Vorspannkraft von ca. 90% von  $R_{p0,2}$  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  $\pm 5\%$

**Keine Sonderschrauben:** Das Anziehverfahren kann sowohl am Schraubenkopf, als auch an der Mutter angewendet werden.

## Vorteile des hydraulischen streckgrenzgesteuerten Anziehverfahrens (SGA)

---

**Wiederverwendbar** : Da das Verfahren sicher vor  $R_{p_{0,2}}$  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 Jahrzehnten 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



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 PL.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**  
Digitally Signed By: Heidemarie, Sven  
 Location: DNV GL, Hamburg, Germany  
 Signing Date: 2019-03-12 10:56:00

**Burkhard Lilienthal**  
 Head of Section

This Certificate is subject to terms and conditions outlined. Any significant change in design or construction may render this Certificate invalid. The validity data 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 Hytortc 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 Krölling, Germany

Hytorc USA  
 HYTORC Lines 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 PL.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

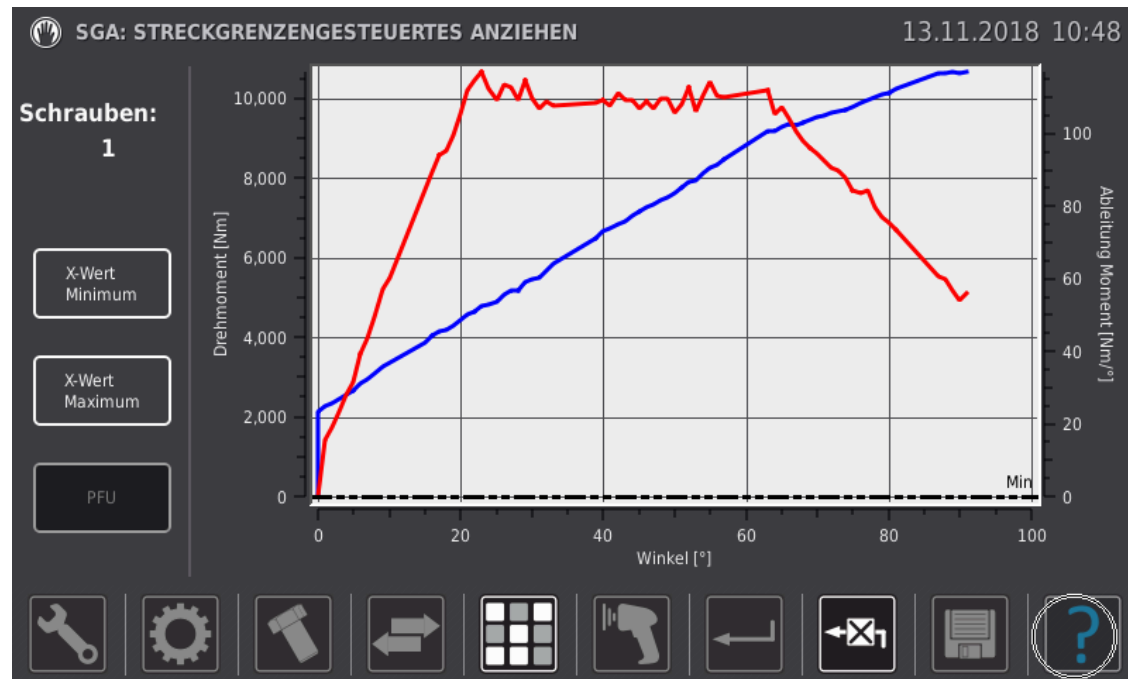
For retention of the Type Approval, a DNV surveyor shall perform a survey after 2 and 3,5 years after issue of certificate to verify that the conditions of the Type Approval are complied with.

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

## Kosteneinsparung und Qualitätssteigerung mit dem hydraulischen streckgrenz-gesteuerten Verfahren SGA





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

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

ist der Weg zur **wartungsreduzierten 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 !**

Siehe Veröffentlichung Forschungsprojekt Hochschule Offenburg auf dem ASME-Congress, Phoenix, Arizona, USA; Nov.11-17, 2016  
<https://asmedigitalcollection.asme.org/IMECE/proceedings-abstract/IMECE2016/50527/V002T02A076/265260>

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

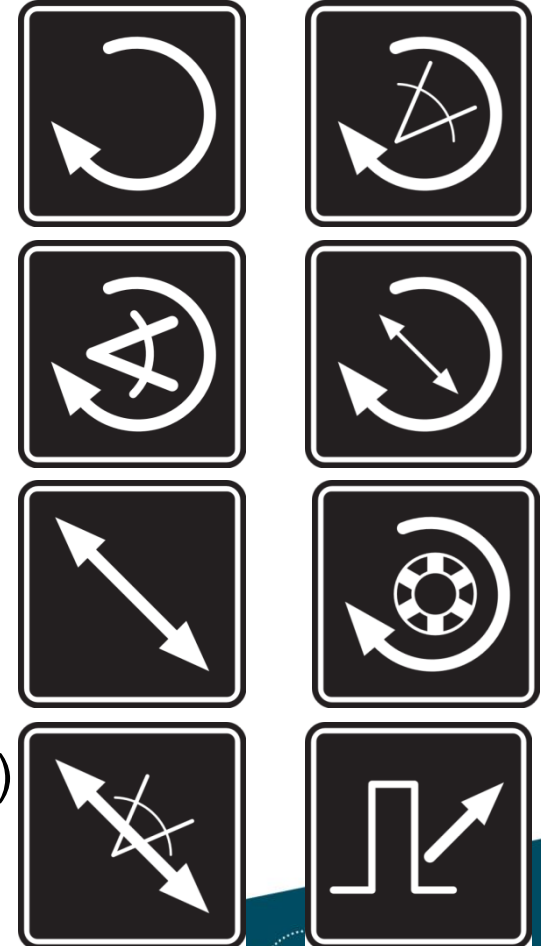
- Es wird stets eine Vorspannkraft in ausreichender Höhe prozesssicher erzeugt
- Es entsteht ein Kraftfluss in der lackierten Verbindung
- Ein mögliches Gleiten in der Trennfuge wird von vornherein durch den erzeugten Reibschluss vermieden

## Weitere Möglichkeiten mit der hydraulischen Prozess- und Verfahrenspumpe Eco2TOUCH

### Mögliche Anzieh- und Analyseverfahren

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

\* Standardausführung - Erweiterbarkeit ist gegeben



## **Beispiel:** externe Prozesssteuerung Eco2TOUCH mit Standard **Industrieschnittstelle an Messschrauben** der Firma **Sensorise GmbH** - Smart Screw System S4

---

Patentierte Lösung: Dehnungssensor  
wird in Gewindegang integriert

Keine Beeinflussung der mechanischen  
Eigenschaften der Schraube

Montage wie herkömmliche Schraube

Kontinuierliche Überwachung der  
Schraube bzgl. Dehnung und  
Temperatur

Kontinuierliche Auswertung der  
statischen und dynamischen Lastanteile



Quelle: Herr Dr. Cord Winkelmann – Sensorise GmbH Bremerhaven [www.sensorise.de](http://www.sensorise.de)

## **Beispiel:** externe Prozesssteuerung Eco2TOUCH mit Standard **Industrieschnittstelle an Messschrauben** der Firma **Sensorise GmbH** - Smart Screw System S4

---

### **Sensorise - typisches Spektrum (v.l.n.r):**

M24 Gewindestange,

M72 HV,

M42 Blattbolzen,

M24 Gewindestange.

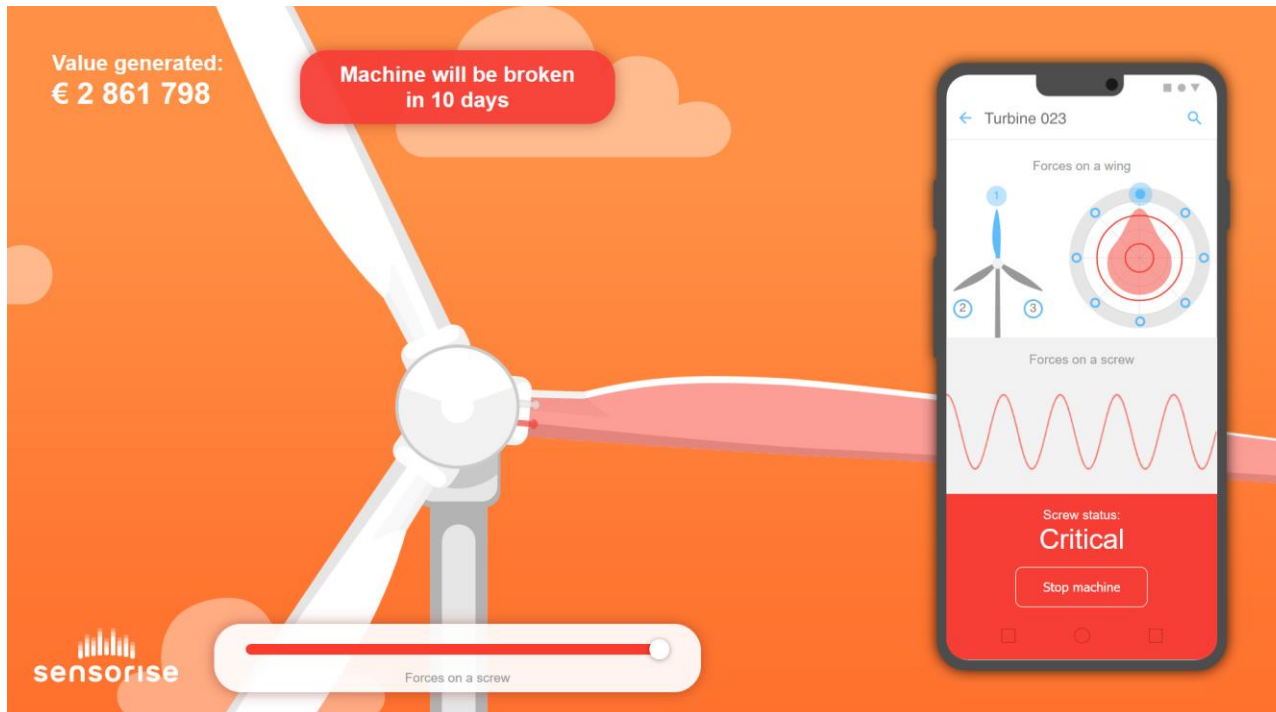
Verschiedene **Stecker/Buchsenkonfigurationen**  
sind auf Kundenwunsch **realisierbar**.

**In der Schraube** befindet sich **keine aktive Elektronik**, da die Haltbarkeit von Schrauben die Haltbarkeit von Elektronik i.d.R. weit übersteigt.

Elektrisch **verhält sich** die Schraube **wie** ein **Dehnungsmessstreifen** und ist damit zu den üblichen Messkraftverstärkern vollständig kompatibel.



## Beispiel: externe Prozesssteuerung Eco2TOUCH mit Standard Industrieschnittstelle an Messschrauben der Firma Sensorise GmbH - Smart Screw System S4



**Anwendungsbeispiel:** Einfluss der Kraft auf einen **Blattbolzen**. Auf [www.sensorise.de](http://www.sensorise.de) gibt es eine interaktive Demo – einfach mal ausprobieren!

## Beispiel: externe Prozesssteuerung Eco2TOUCH mit Standard Industrieschnittstelle an Messschrauben der Firma Sensorise GmbH - Smart Screw System S4



Sensorintegration zweier Welten: Klassischer Maschinenbau mit Mikrosystemtechnik

Minimale Gewindegröße: M24

Geeignet für zeichnungsgebundene Produkte und Normteile (bspw. HV-Garnituren nach DAST 021)

Fokus auf der **kontinuierlichen Überwachung**, weil über die **Auswertung** der **dynamischen Lastanteile** wertvolle **Informationen** über die Umgebung (bspw. dynamischen Verhalten der Rotorblätter im Falle von sensorischen Blattbolzen) **gewonnen werden können**.



## Exkurs: Stichprobenprüfung der Anzugsmomente von bereits fest angezogenen Schraubverbindungen – z.B. nach vier Jahren.

---

**Überprüfen der Weiterdrehmomente bei bereits fest angezogenen Schraubverbindungen** baustellentauglich Dank der mobilen Weiterdrehmomentmessung

Nach gewissen Zeitabständen müssen Schraubverbindung regelmäßig überprüft werden.

Dabei soll festgestellt werden **bei welchem Drehmoment die Weiterdrehung in Anzugsrichtung der festangezogenen Schraubverbindung erfolgt**, selbst wenn diese das letzte Mal vor vier Jahren oder länger mit einem definierten Drehmoment verschraubt worden ist.

## Exkurs: Stichprobenprüfung der Anzugsmomente von bereits fest angezogenen Schraubverbindungen – z.B. nach vier Jahren.

Anwendbar hierzu ist das Weiterdrehmomentverfahren gemäß VDI/VDE 2645 Blatt 3. Hierbei beträgt das Drehwinkelstartmoment ca. die Hälfte vom Anzugswert der entsprechenden Schraubverbindung. Der parametrierte Drehwinkel beträgt i.d.R. nur 5° bis 10°. Aufgrund der grafischen Darstellung ist erkennbar bei welchem Drehmoment sich die Schraube weiter gedreht hat. Diese Art der Drehmomentüberprüfung ist eine **anerkannte Prüfmethode im Maschinenbau gemäß VDI / VDE 2645 Blatt 3.**

Dieses DDW-Verfahren besteht aus einer Prozess- und Dokumentationspumpe ECO2Touch sowie handelsüblichen HYTORC hydraulischen Drehmomentschraubern mit abnehmbaren Drehwinkelsensor auf dem Werkzeug.





## Exkurs: Definition direkt messende Drehwinkelsysteme

**Die VDI/VDE 2648 Blatt 1** definiert eindeutig **direkt messende Drehwinkel-messsysteme** [7] Daraus geht hervor das eine direkte Winkelmessung wie folgt gestaltet ist: Die Winkelmessung erfolgt direkt in oder an einer Messachse nach folgenden Verfahren:

- a) direkte Winkelcodierung
- b) zählen von Inkrementen auf einer Teilkreisscheibe
- c) Messen einer proportionalen Messgröße (z.B. magnetisch, induktiv und potentiometrisch) Siehe hierzu Originaldokument [7]: VDI/VDE 2648 Blatt 1 / Seite 3 / Punkt 2 Begriffe – Direkte Winkelmessung

**Fazit:** Schraubsysteme welche nicht über einen Drehwinkelsensor auf der Werkzeugachse arbeiten fallen unter „indirekte“ Messung! Die VDI/VDE 2648 Blatt 1 [7] definiert diese Aussage eindeutig. Indirekte Messung: Durch ein komplexes Berechnungsverfahren werden die gewonnenen Messwerte auf die Größe Drehwinkel umgerechnet. [7] Siehe hierzu Originaldokument [7]: VDI/VDE 2648 Blatt 1 / Seite 3 / Punkt 2 Begriffe – Direkte Winkelmessung

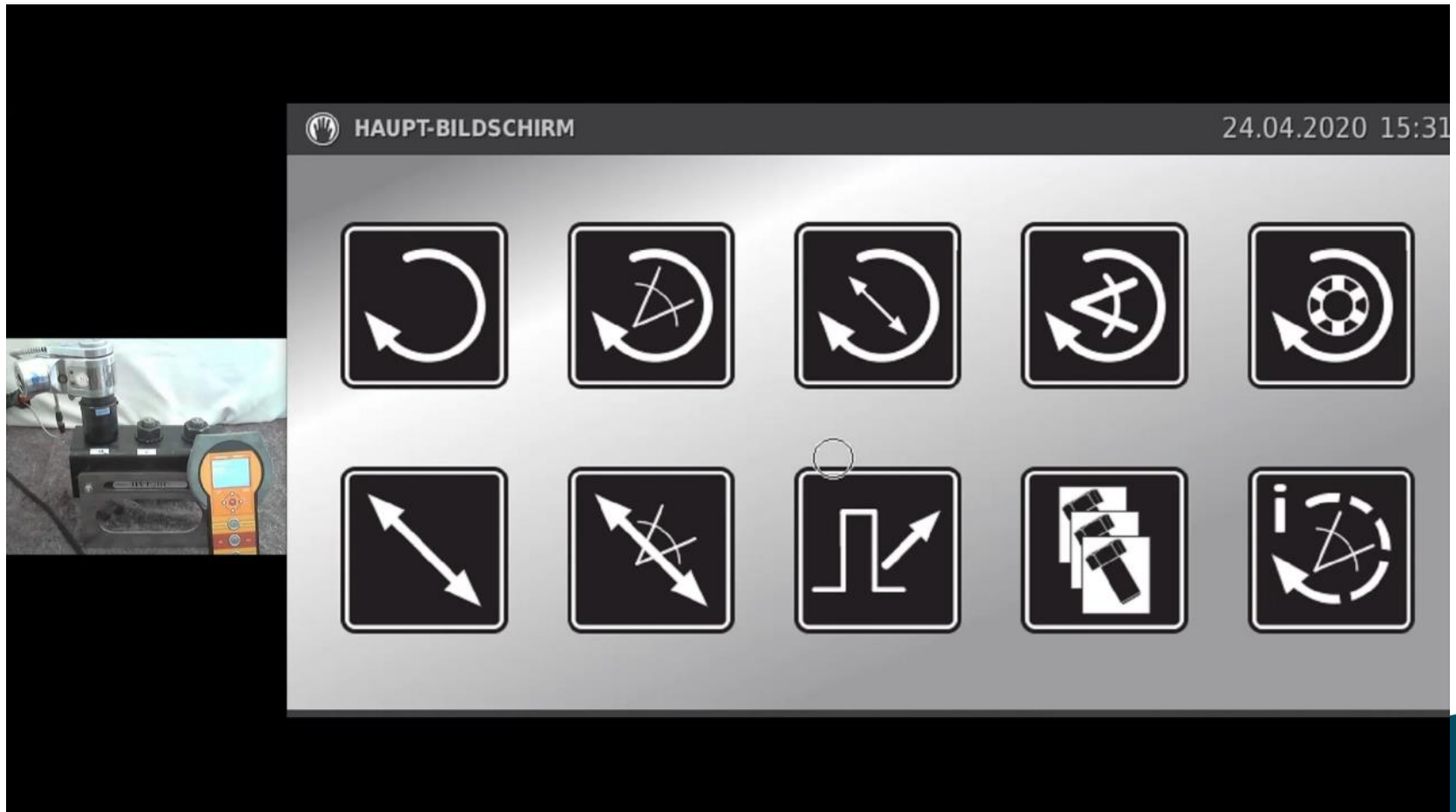
## Exkurs: 02 Stück Videos: Überprüfen von bereits vorher auf 1.650 Nm fest angezogenen Schraubverbindungen mit Verfahren DDW\* ( DDW-Stern)

---

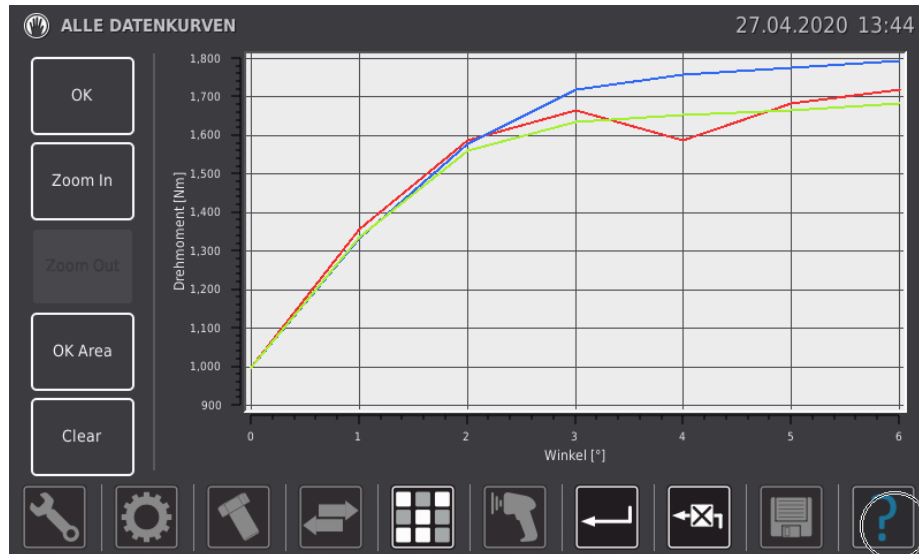


## Exkurs: 02 Stück Videos: Überprüfen von bereits vorher auf 1.650 Nm fest angezogenen Schraubverbindungen mit Verfahren DDW\* ( DDW-Stern)

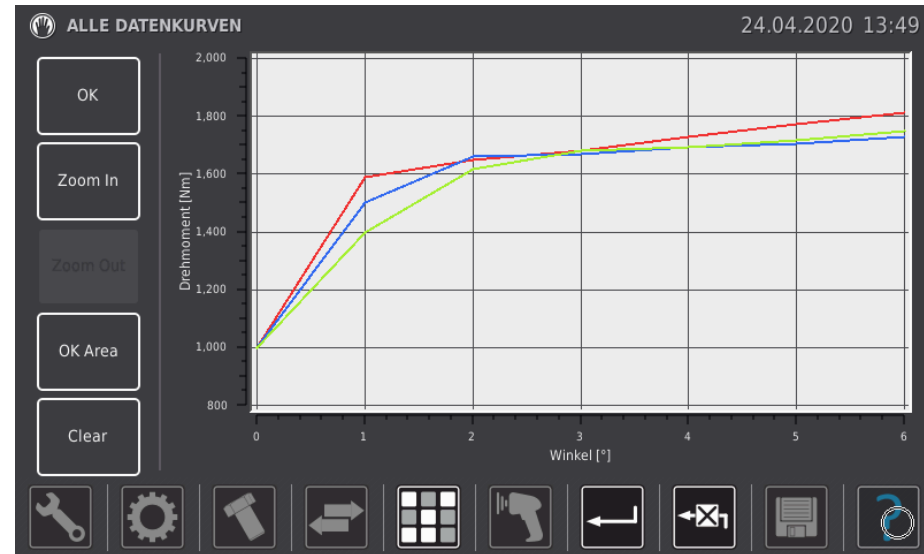
---



## Exkurs: Gesamtkurven Überprüfen von bereits vorher auf 1.650 Nm fest angezogenen Schraubverbindungen mit Verfahren DDW\* ( DDW-Stern)



linke Gesamtkurven  
mit Reaktionsarm



rechte Gesamtkurven  
mit verdrehsicheren  
Unterlegscheiben  
zWasher

## Exkurs: Gesamtergebnisse Überprüfen von bereits vorher auf 1.650 Nm fest angezogenen Schraubverbindungen mit Verfahren DDW\* ( DDW-Stern)

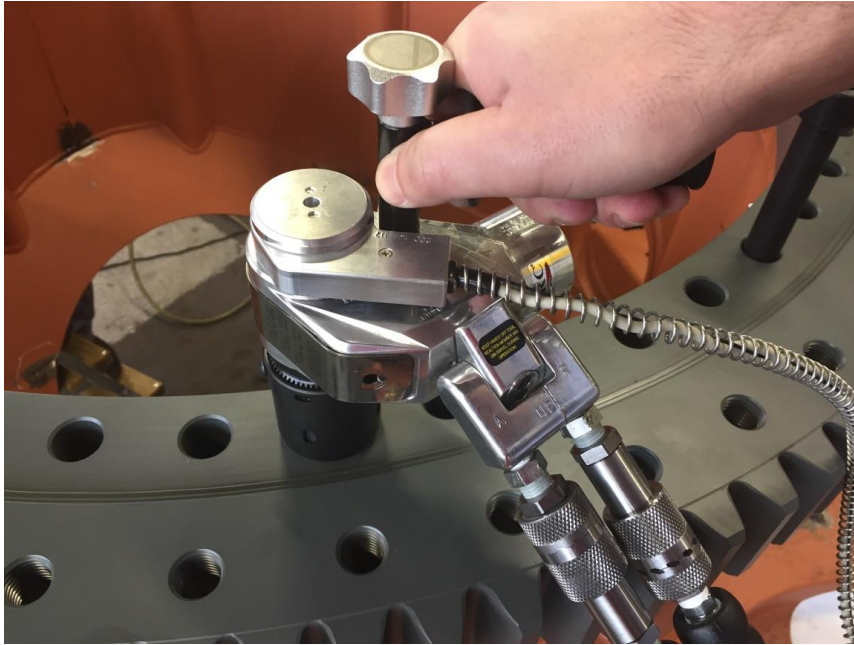
```
Messdaten:
1*****2*****3*****4*****5*****6*****7*****8*****9**
N:  1 S:  1 27.04.2020 t:13:37:20 W:    6° IM:  1718 Nm FM:  1000 Nm      OK/OA      (1)
N:  2 S:  2 27.04.2020 t:13:37:36 W:    6° IM:  1794 Nm FM:  1000 Nm      OK/OA      (1)
N:  3 S:  3 27.04.2020 t:13:37:46 W:    6° IM:  1683 Nm FM:  1000 Nm      OK/OA      (1)
*****
Zusatzinfo
*****
Manuell-OK - Gruende
*****
Prozessfaehigkeit:
*****
Ergebnis: 3 von 3 wurden erfolgreich angezogen.
*****
Datum und Uhrzeit: 27.04.2020 13:38:12
```

**Oben:  
Gesamt-  
ergebnisse  
mit Reak-  
tionsarm**

```
Messdaten:
1*****2*****3*****4*****5*****6*****7*****8*****9**
N:  1 S:  1 24.04.2020 t:13:47:51 W:    6° IM:  1811 Nm FM:  1000 Nm      OK/OA      (1)
N:  2 S:  2 24.04.2020 t:13:48:09 W:    6° IM:  1730 Nm FM:  1000 Nm      OK/OA      (1)
N:  3 S:  3 24.04.2020 t:13:48:22 W:    6° IM:  1747 Nm FM:  1000 Nm      OK/OA      (1)
*****
Zusatzinfo
*****
Manuell-OK - Gruende
*****
Prozessfaehigkeit:
*****
Ergebnis: 3 von 3 wurden erfolgreich angezogen.
*****
Datum und Uhrzeit: 24.04.2020 13:48:39
```

**Unten:  
Gesamt-  
ergebnisse  
mit verdreh-  
sicheren Unter-  
legscheiben  
zWasher**

## verdrehssichere gehärtete Unterlegscheiben arbeitssicher - anlagenschonend – reibwertoptimiert für alle Anzugsverfahren !

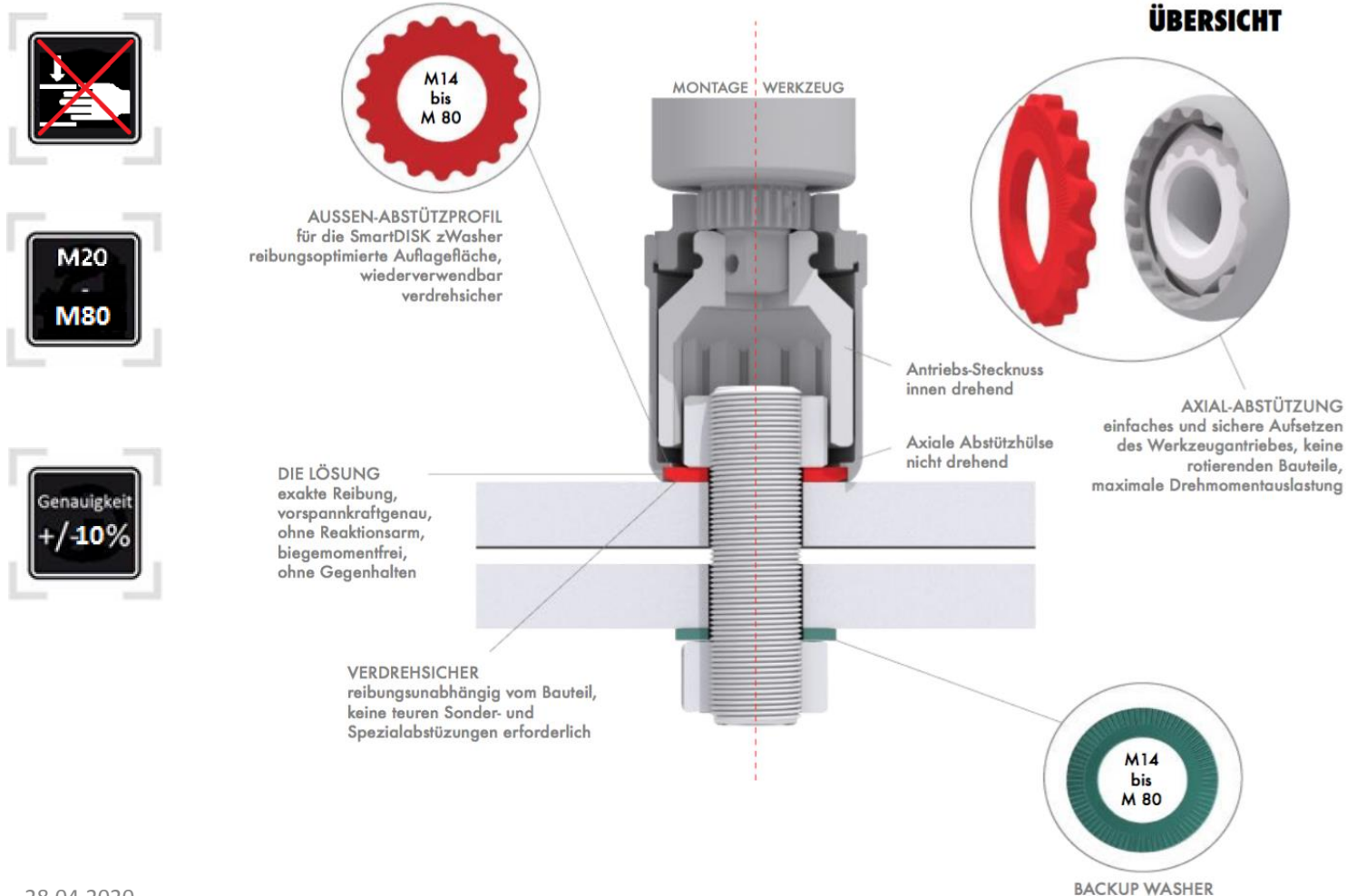


und als „Schmankerl“ - prozesssicheres Verschrauben  
ohne Reaktionsarm und Gegenhalteschlüssel dank  
verdrehssicherer Unterlegscheiben





## verdrehssichere gehärtete Unterlegscheiben arbeitssicher - anlagenschonend – reibwertoptimiert !



## 36 Volt Akkuschauberserie Lithium-Series II (LST)

Die digitalen, akkubetriebenen Drehmoment-/Drehwinkel-Schrauber von 200 Nm bis 6.799 Nm



Die LITHIUM SERIES II misst die Steuergröße und die Kontrollgröße direkt für noch bessere Ergebnisse.

- Geringes Gesamtgewicht bei maximaler Leistung, optimale Gewichtsverteilung
- Dokumentation und Überwachung der wichtigsten Schraubparameter, dank TorcSense Technologie
- Datenübertragung über Bluetooth (oder Standard-USB-Verbindung)
- Voll-Aluminium-Gehäuse
- Stoßsicher und fallgeschützt
- Hochstabiles Getriebe mit korrosionsbeständigen, vernickeltem Gehäuse



# Literaturverzeichnis

März 2019	Literaturhinweise
Februar 2019	Prof. Dr. Christoph Friedrich Universität Siegen - Interview in der HY/NRW-08
Januar 2019	Dipl.-Ing. Ulrich Oehms / HYTORC-Seis GmbH - Dörth Fachbericht zum streckgrenzgesteuerten Montageverfahren
September 2018	HY-Wind Sonderausgabe zur Windenergy-Hamburg 2018
08.03.2018	DI; KR; PJ: Tagungsband 26. Kranfachtagung-2018 Technische Universität Dresden März 2018
2018	Deutscher Schraubenverband e.V. / Hagen Ausbildung zum Schraubfachingenieur
07.12.2017	Dr.-Ing. Selcuk Güres / August Friedberg GmbH - 8. Münchener Forum Verbindungstechnik
November 2015	VDI-Richtlinie 2230 Blatt 1: Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen
Februar 2015	VDI/VDE 2862 Blatt 2 Mindestanforderungen zum Einsatz von Schraubsystemen und –werkzeugen / Anwendungen im Anlagen- und Maschinenbau sowie für Flanschverbindungen an drucktragenden Bauteilen,
2014	Isele, D. et al, Verhalten von Lackschichten in Schraubenverb., Schraubmontage 2014, VDI-Berichte Nr. 2219, 2014, S. 17-18
2014	Holger Junkers, nicht veröffentlichte Schulungsunterlagen zum Smarttorc System, München, 2014, JUKO Technik GmbH
29.06.2012	Univ.-Prof. em. Dr.-Ing. Herbert Schmidt Ingenieurbüro Prof. Schmidt & Partner, Essen Arbeitstagung 2012 Vereinigung für Prüfeningenieure für Bautechnik
Februar 2007	Wiegand Kloos und Thomala – Springer Verlag: Schraubverbindungen 5. Auflage
2002	Dr.-Ing. Uwe Hasselmann / G. Valtinat - Stahlbalkenkalender „Geschraubte Verbindungen“ Verlag Ernst & Sohn

## Hinweis: 4. Hamburger Verschraubungsforum vom 09. bis 10.12.2020 im east-Hotel Hamburg

---



### Veranstalter:

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

Schrauben-Verschrauben-Dichtungen  
Hamburg 09. bis 10. Dezember 2020  
[www.verschraubungsforum.de](http://www.verschraubungsforum.de)

### Dort wird unter anderem die Thematik behandelt:

„Die Bedeutung überelastischer Montageverfahren für die  
Dauerfestigkeit schwingend belasteter Schraubverbindungen“

## Teil 2

Informationen zum Forschungsprojekt

---

IGF Forschungsvorhaben 19.675 B von der TU-Dresden und dem Fraunhofer-IGP-Rostock zum Thema:

**QUALIFIZIERUNG eines VERFAHRENS zur MONTAGE und vorspannkrafterhaltenden SICHERUNG von SCHRAUBVERBINDUNGEN !**

## UW-Schrauben

*„Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und  
vorspannkrafterhaltenden Sicherung von  
Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“*

IGF-Nr.: 19 675 B      DVS-Nr.: V4.015

Laufzeit: 01.09.2017 – 29.02.2020

**6. PA-Sitzung / Abschluss-PA-Sitzung**  
am 27.02.2020 in Dresden



Einrichtung für Großstrukturen  
in der Produktionstechnik



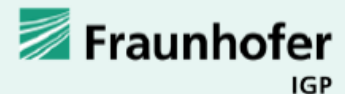
**TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DRESDEN**

Institut für Fertigungstechnik  
Professur für Fügetechnik und Montage

## Beteiligte Forschungseinrichtungen

### Forschungseinrichtung 1 (federführend):

Bezeichnung: **Fraunhofer-Institut für Großstrukturen in der Produktionstechnik IGP**  
Mitglied der Forschungsvereinigung: ja  
Anschrift: Albert-Einstein-Str. 30, 18059 Rostock  
Forschungsstellenleiter: **Prof. Dr.-Ing. Wilko Flügge**  
Tel.: 0 381 49682-20 Fax: 0 381 49682-12  
Mail: wilko.fluegge@igp.fraunhofer.de  
Projektleiter: **Prof. Dr.-Ing. habil. Knuth-Michael Henkel**  
Tel.: 0 381 49682-30 Fax: 0 381 49682-12  
Mail: knuth.henkel@igp.fraunhofer.de  
Projektbearbeiter: **Benjamin Ripsch, M.Sc. (SFI)**  
Tel.: 0 381 49682-566 Fax: 0 381 49682-12  
Mail: benjamin.ripsch@igp.fraunhofer.de



### Forschungseinrichtung 2:

Bezeichnung: **Technische Universität Dresden (TUD), Institut für Fertigungstechnik, Professur für Fügetechnik und Montage**  
Mitglied der Forschungsvereinigung: ja  
Anschrift: Georg-Bähr-Str. 3c, 01069 Dresden  
Forschungsstellenleiter: **Prof. Dr.-Ing. habil. Uwe Füssel**  
Tel.: 0 351 463-37615 Fax: 0 351 463-37249  
Mail: uwe.fuessel@tu-dresden.de  
Projektleiter: **Dr.-Ing. Volker Johne**  
Tel.: 0 351 463-34411 Fax: 0 351 463-37249  
Mail: volker.johne@tu-dresden.de  
Projektbearbeiter: **Dipl.-Ing Gregor Reschke**  
Tel.: 0 351 463-34361 Fax: 0 351 463-37249  
Mail: gregor.reschke@tu-dresden.de



Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

28.04.2020

## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

### VERBINDUNGSDEFINITION

#### Auslegung

- Gleitfest vorgespannte Verbindung nach DIN EN ISO 1993-1-8

#### Schrauben / Muttern

- HV-Garnituren M27 / M36 (10.9) nach DIN EN 14399-4

#### Scheiben

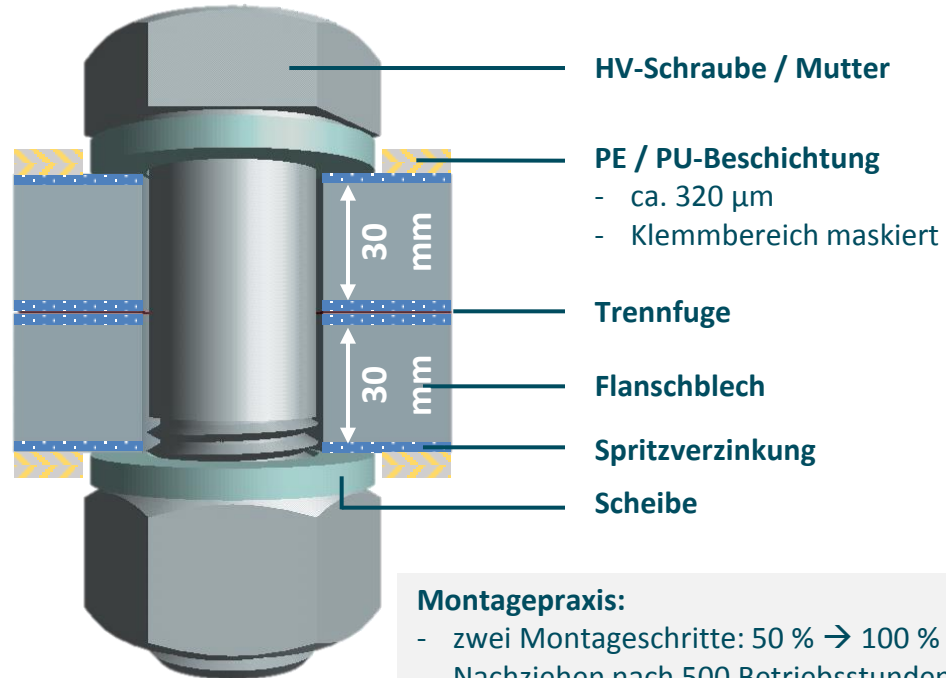
- HV-Scheiben DIN EN 14399-6
- Keilsicherungsscheiben
- zWasher (Hytorc)

#### Flansch

- $t_1 = t_2 = 30 \text{ mm}$ , S355J2

#### Beschichtung

- Zn/Al (85/15) thermisch gespritzt
- Schichtdicke  $60 \mu\text{m} - 80 \mu\text{m}$ , max.  $100 \mu\text{m}$



#### Montagepraxis:

- zwei Montageschritte: 50 % → 100 % Soll-Drehmoment
- Nachziehen nach 500 Betriebsstunden auf 100 % Soll-Drehmoment (mod. Drehmomentverfahren EC3-1-8/NA)

→ **Untersuchung des Einflusses von Wasser auf das Montage und Betriebsverhalten der SV**

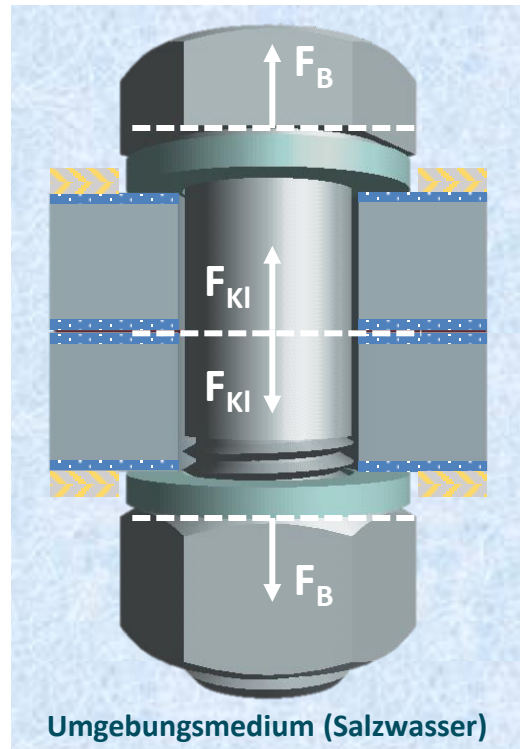
Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

28.04.2020

## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

### Schraubenmontage:

- **Vorspannkraft** wird durch Anziehen der Verbindung erzeugt:
- **Drehung** der Mutter
- **Zusammendrücken** der Bauteile (Klemmpaket)
- **Verlängerung** der Schraube
- Vorspannkraft bei Montage über Drehmoment von **Reibverhältnissen** abhängig
- Auftreten von **Vorspannkraftverlusten** nach der Montage



Umgebungsmedium (Salzwasser)

Schraubenverbindung im Betriebszustand

Medium zwischen Kontaktflächen  
à Reibwertbeeinflussung:  
- Anziehverhalten?  
- Betriebsverhalten?



Flanschverbindung an Offshore Boatlanding

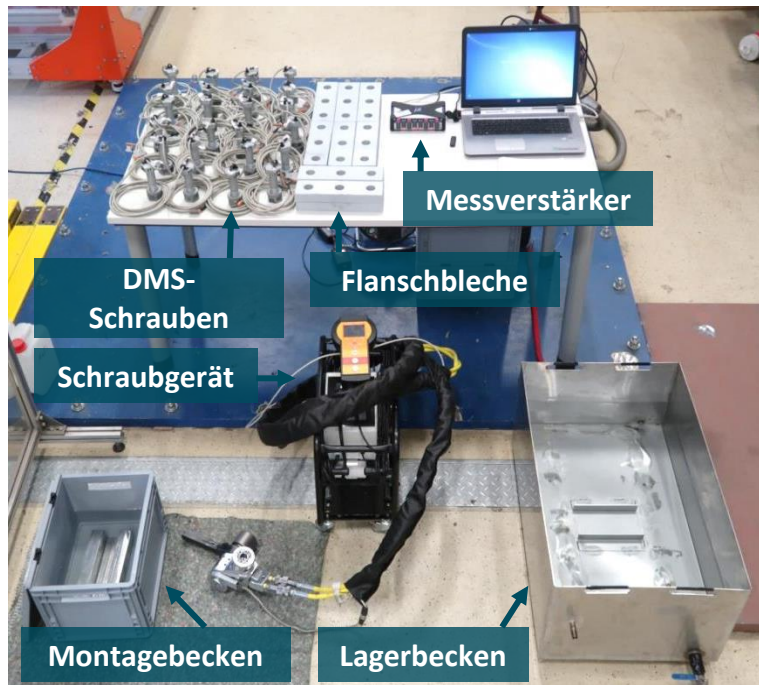
Quelle: <https://www.simncharTERS.com/fleet/sc-falcon/>



## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

### Montageversuche unter medialer Beeinflussung

#### Versuchsaufbau und Versuchsplan



Dimension SV	M27 / M36								
Medium	Salzwasser (3,5 % NaCl)								
Beschichtung	Spritzverzinkung Zn/Al (85/15), max. 100 µm								
Scheiben	Standard Unterlegscheibe			Keilsicherungsscheibe			zWasher		
Anziehverfahren	DDW	MDV	SGA	DDW	MDV	SGA	DDW	MDV	SGA

à Messung von **Vorspannkraft** und **Setzverlusten** unter statischer Last für 72 h nach vollständiger **Montage unterwasser**

28.04.2020

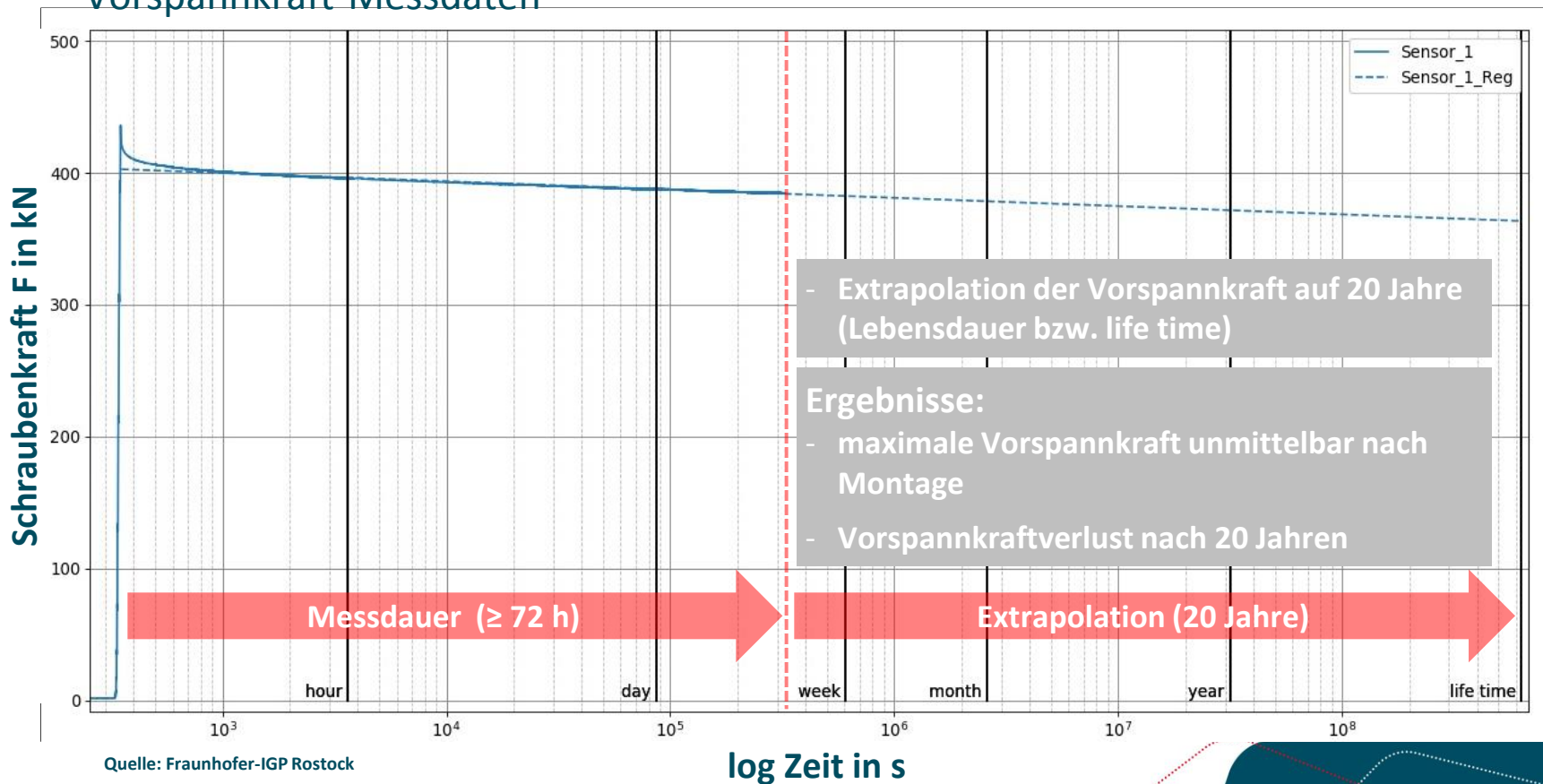
Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

60



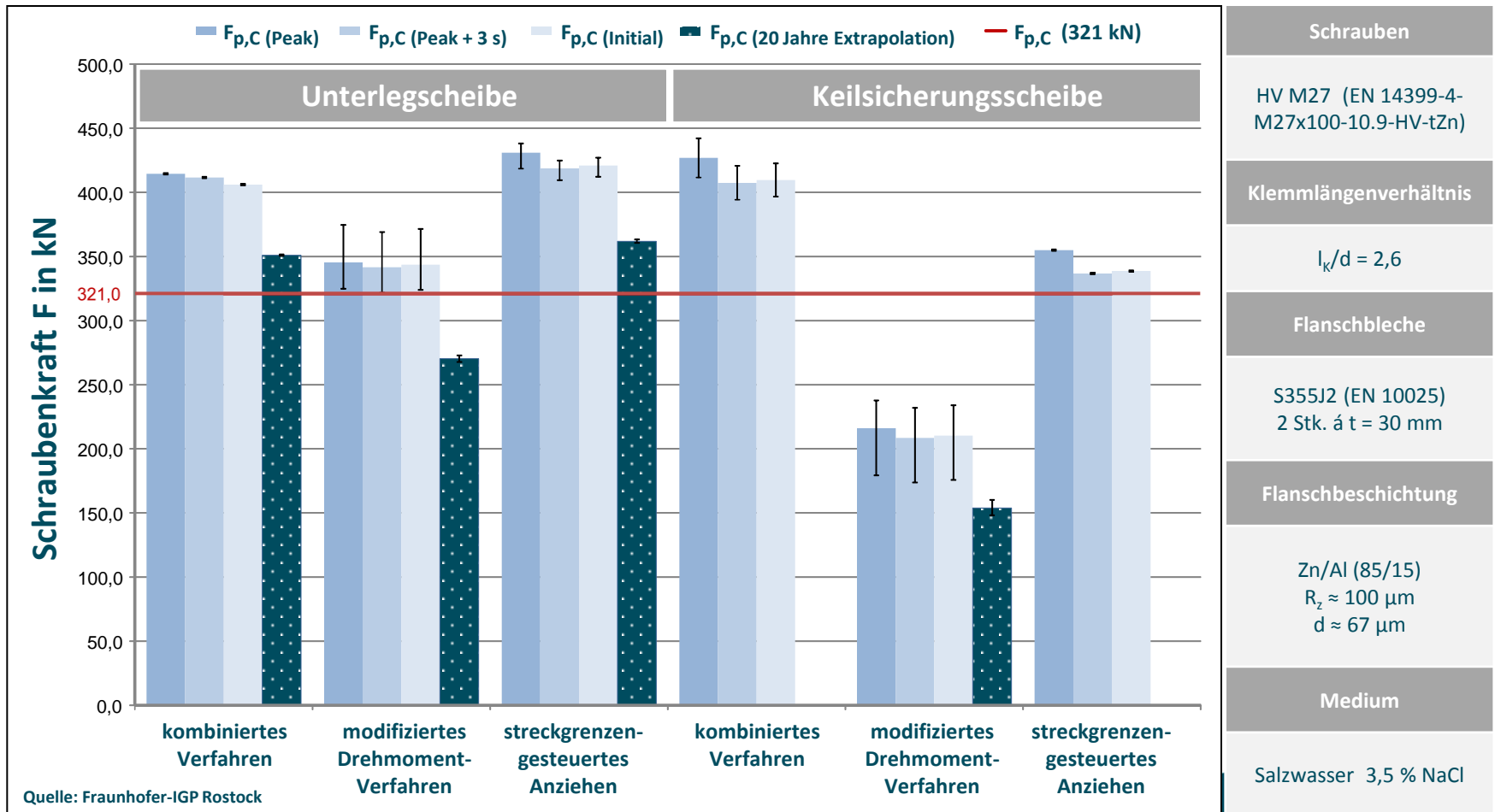
# DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

## Montageversuche unter medialer Beeinflussung Vorspannkraft-Messdaten

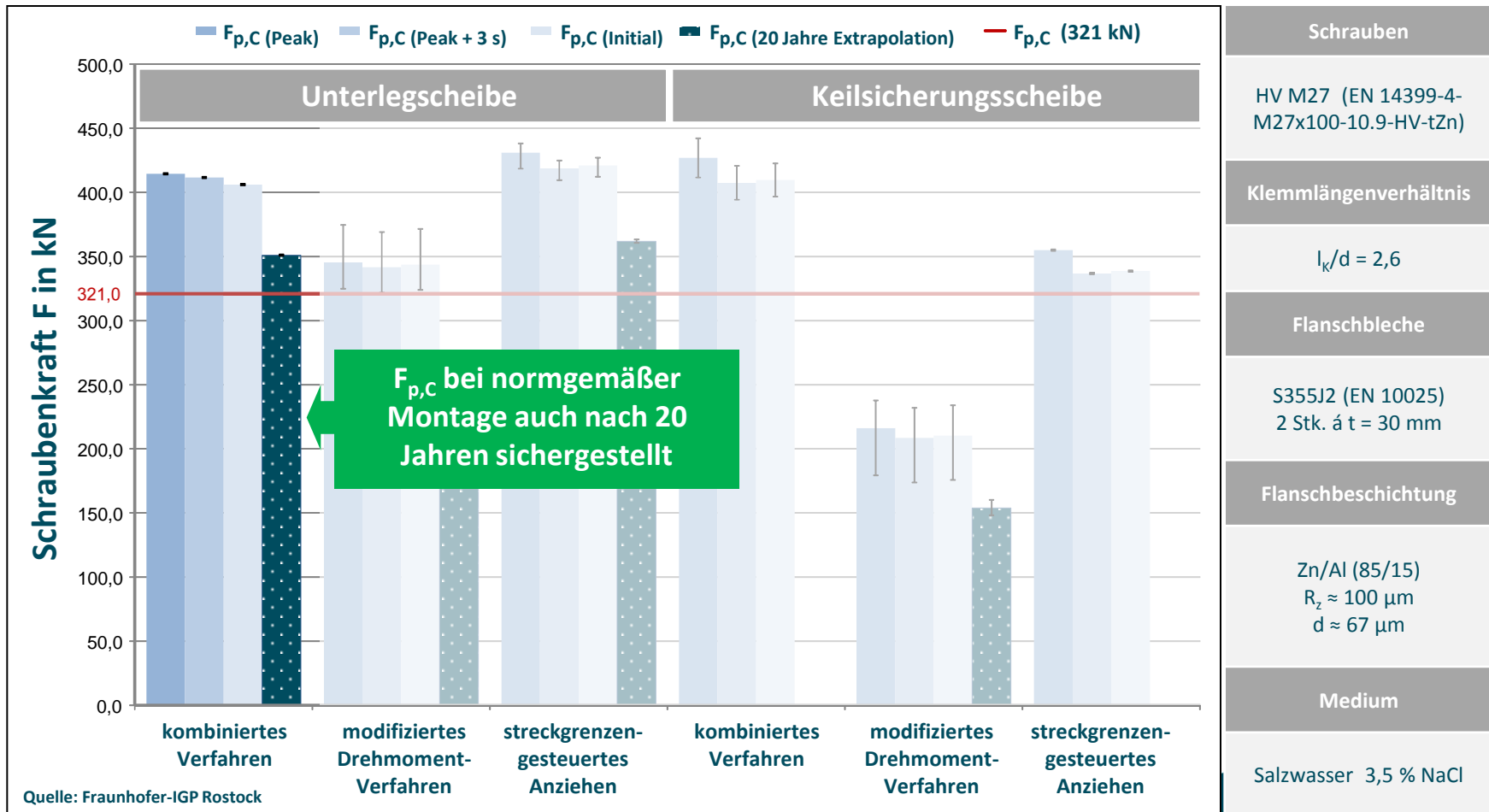


28.04.2020

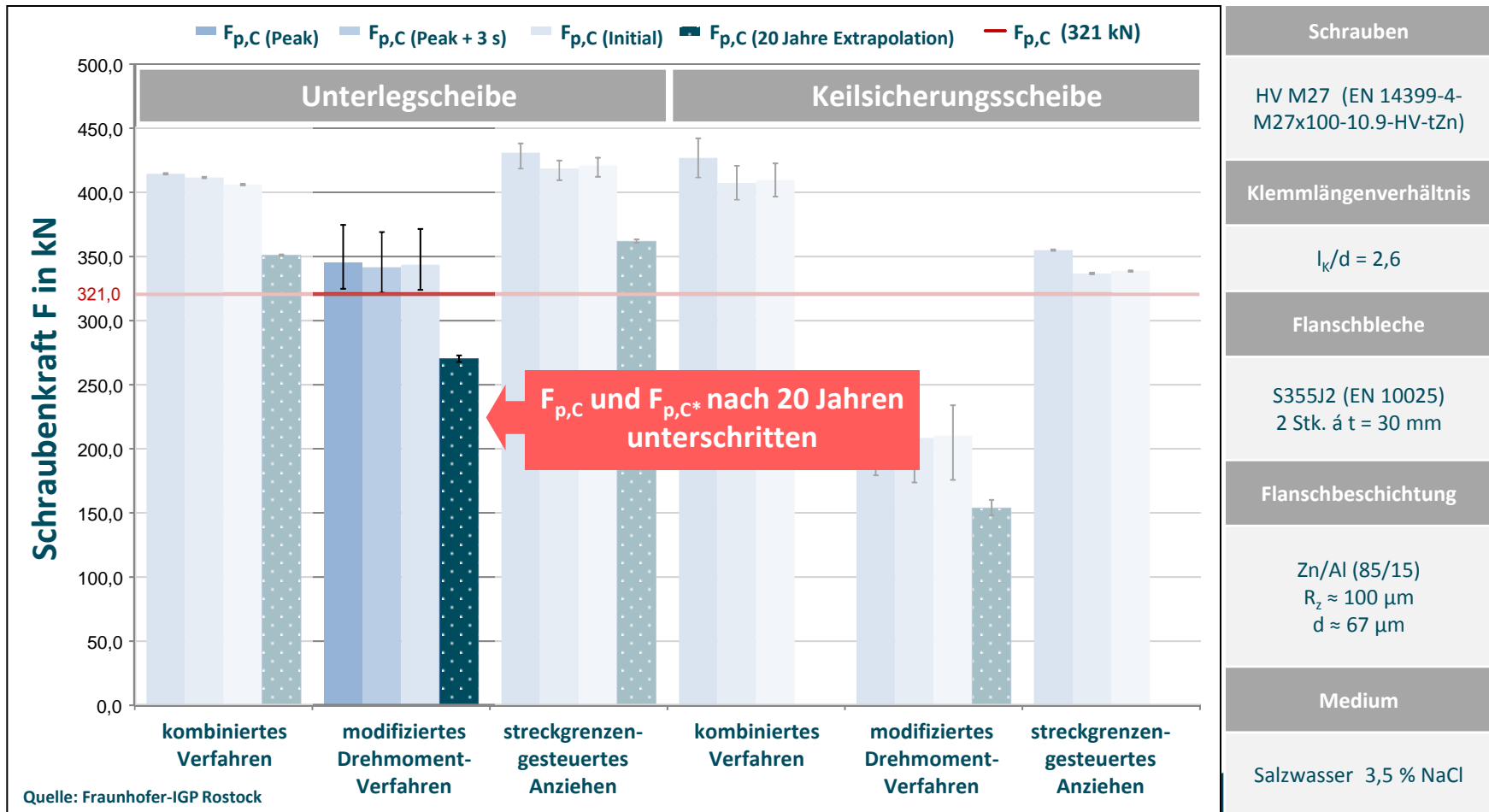
## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)



## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)



## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)



Schrauben

HV M27 (EN 14399-4-M27x100-10.9-HV-tZn)

Klemmlängenverhältnis

$l_k/d = 2,6$

Flanschbleche

S355J2 (EN 10025)  
2 Stk. á t = 30 mm

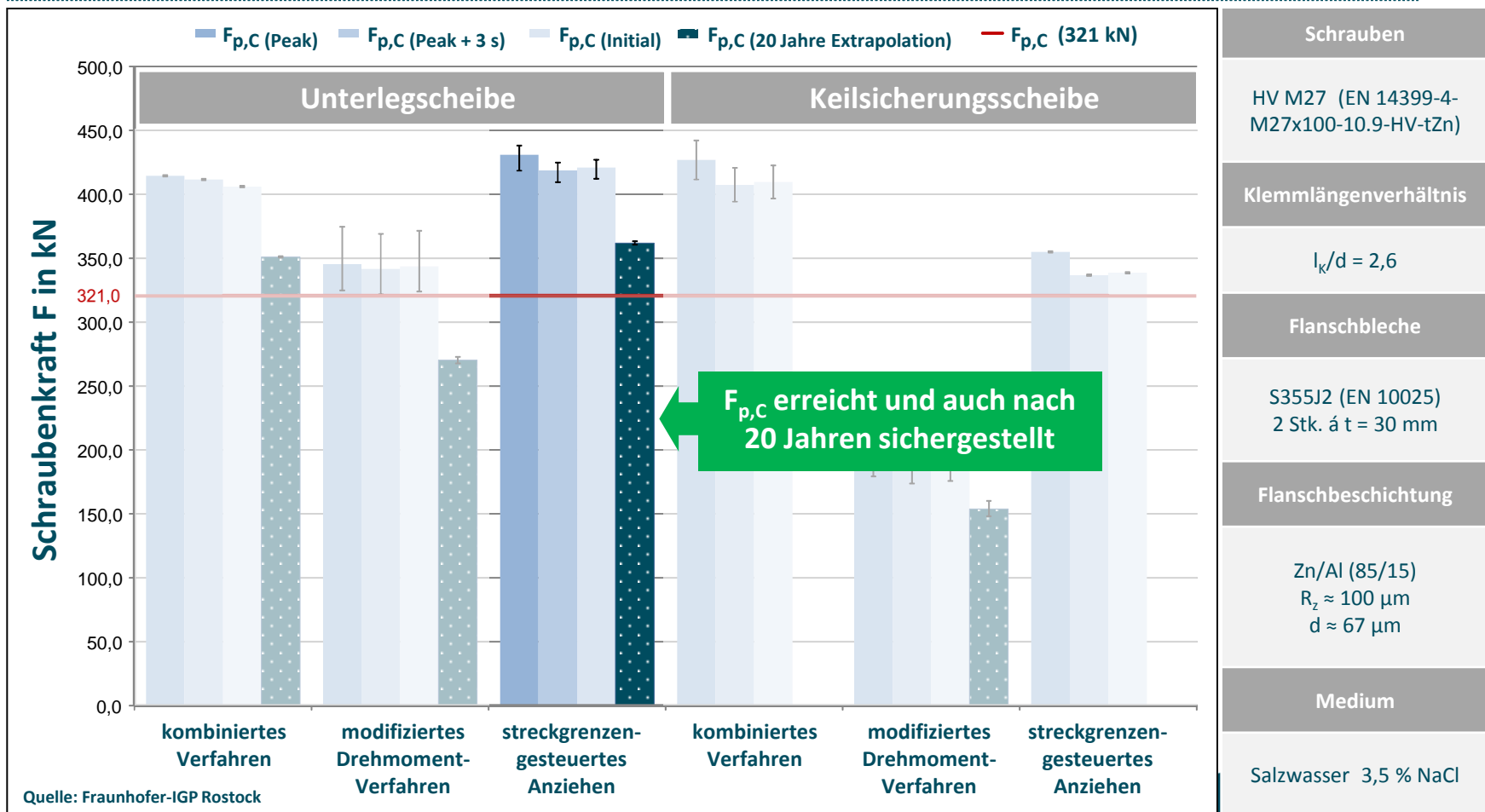
Flanschbeschichtung

Zn/Al (85/15)  
 $R_z \approx 100 \mu\text{m}$   
 $d \approx 67 \mu\text{m}$

Medium

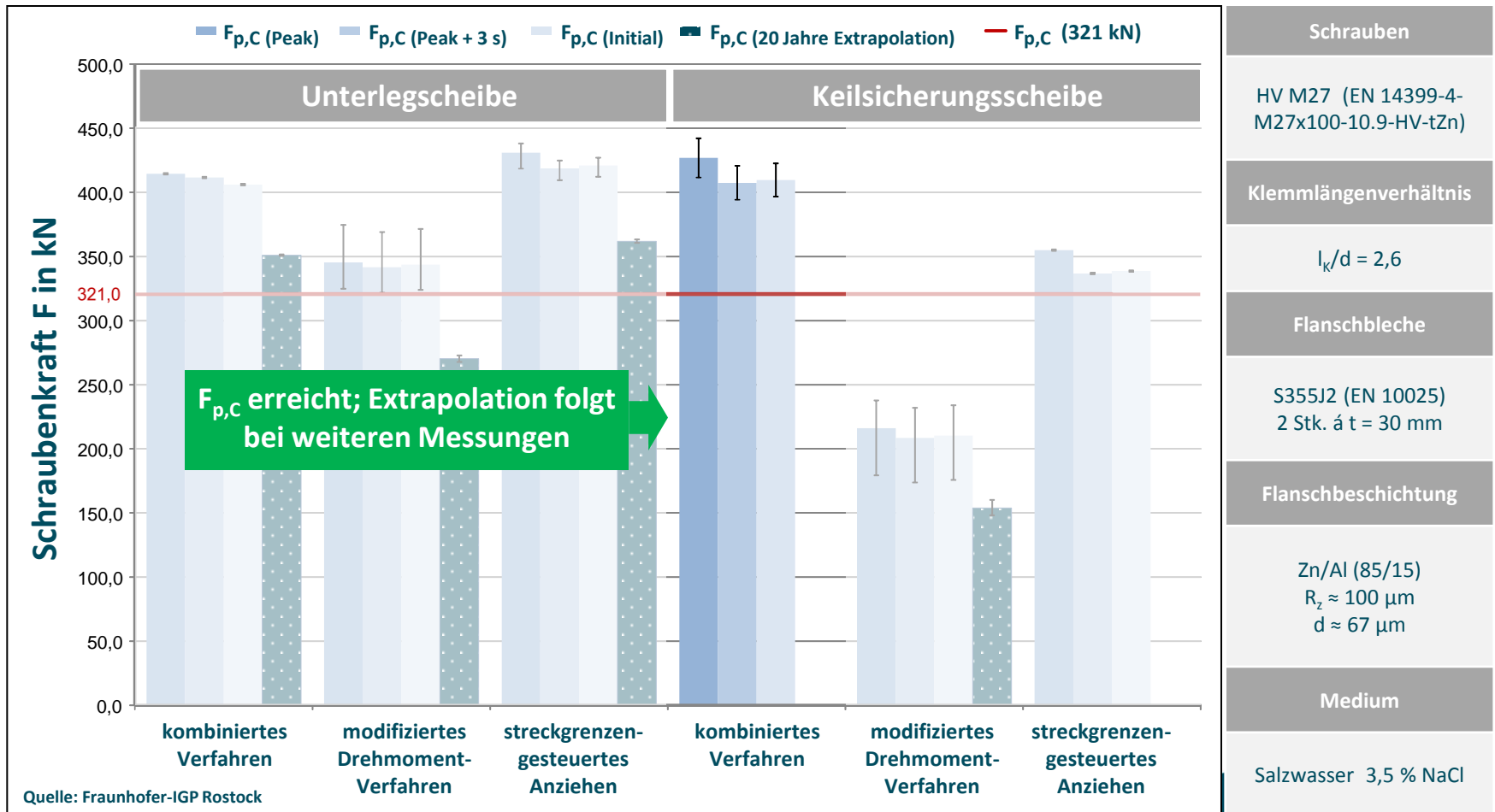
Salzwasser 3,5 % NaCl

# DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)



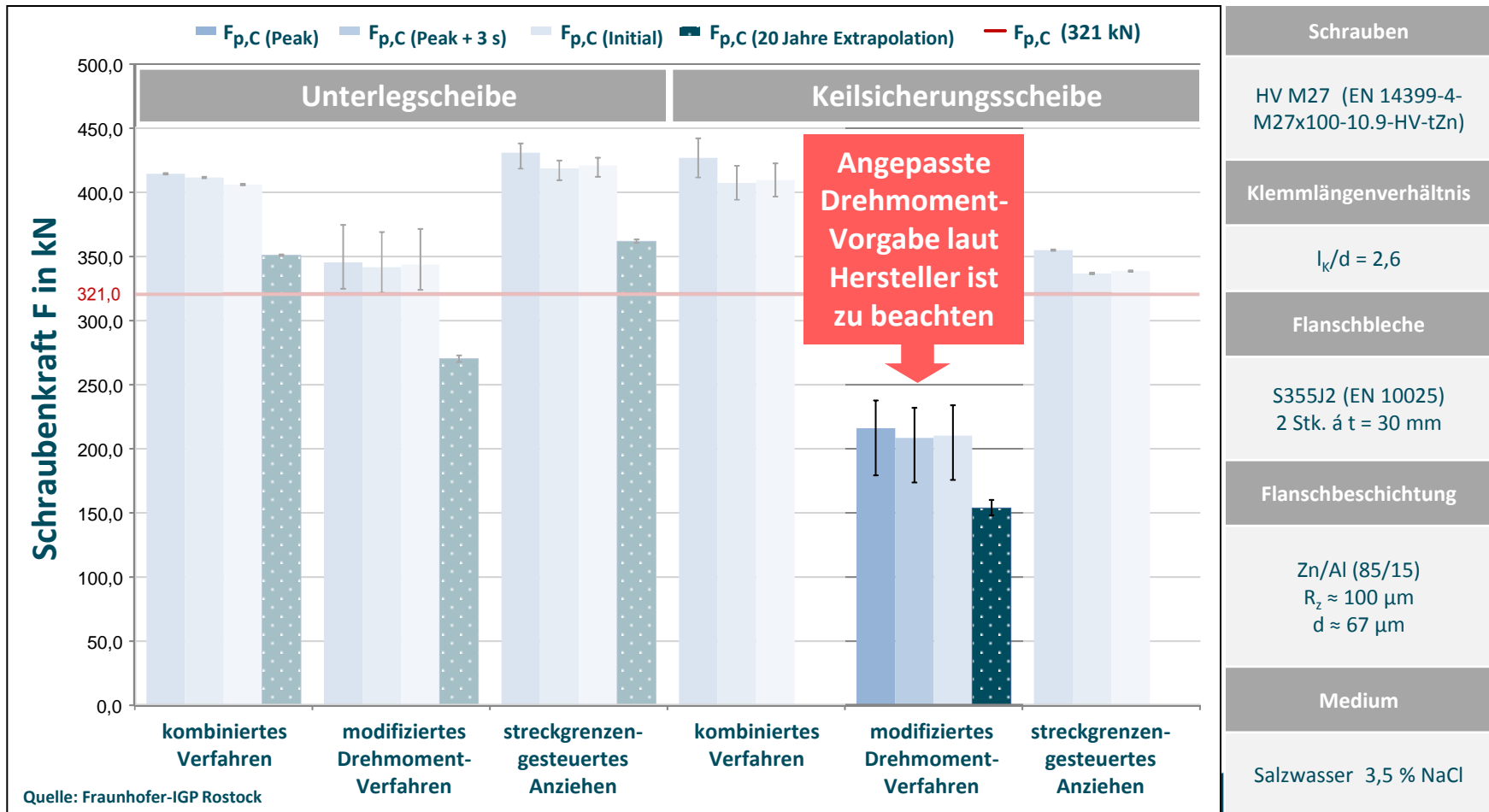
Schrauben
HV M27 (EN 14399-4-M27x100-10.9-HV-tZn)
Klemmlängenverhältnis
$l_k/d = 2,6$
Flanschbleche
S355J2 (EN 10025) 2 Stk. á t = 30 mm
Flanschbeschichtung
Zn/Al (85/15) $R_z \approx 100 \mu\text{m}$ $d \approx 67 \mu\text{m}$
Medium
Salzwasser 3,5 % NaCl

# DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

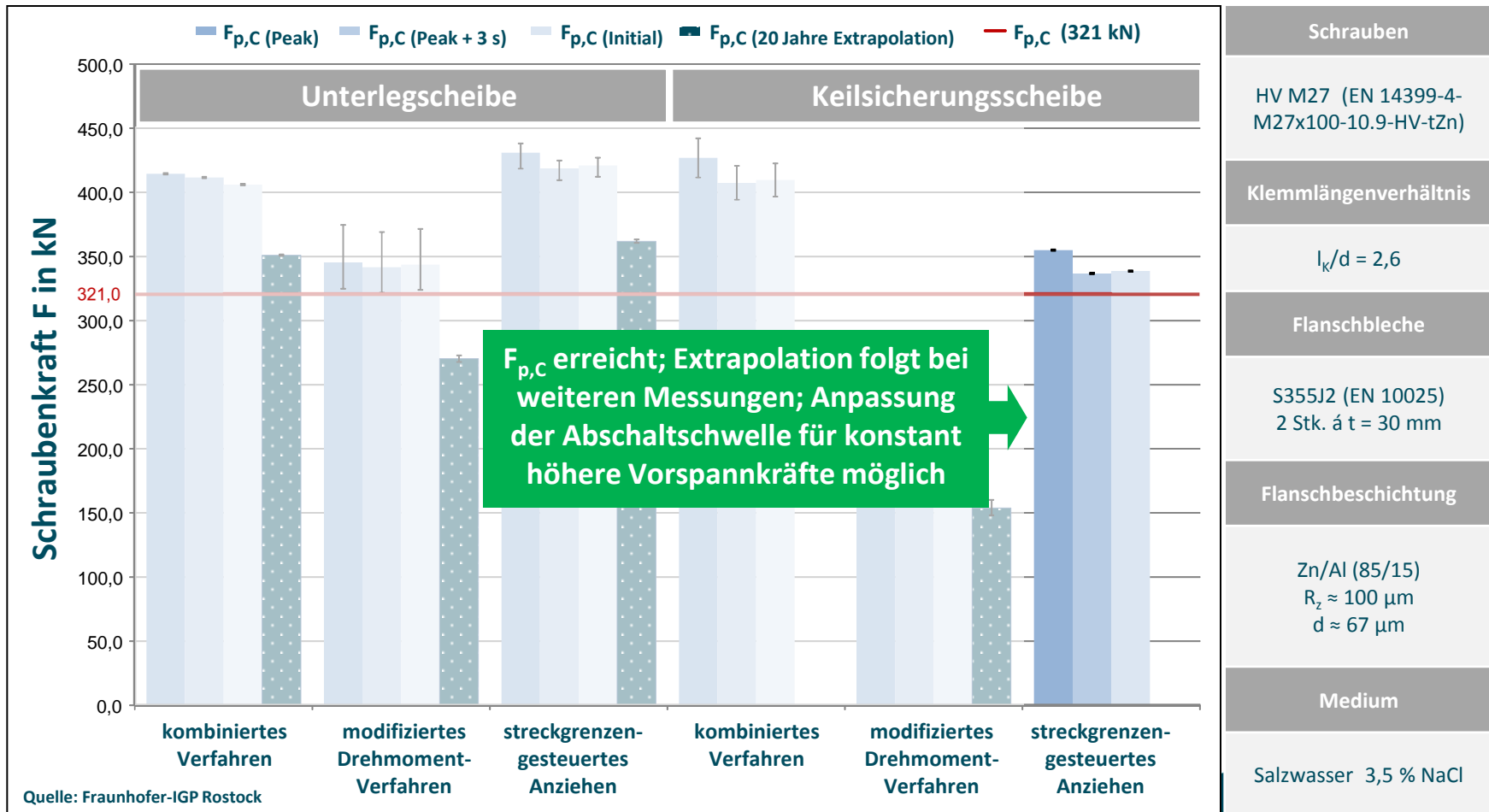


Schrauben	HV M27 (EN 14399-4-M27x100-10.9-HV-tZn)
Klemmlängenverhältnis	$l_k/d = 2,6$
Flanschbleche	S355J2 (EN 10025) 2 Stk. á t = 30 mm
Flanschbeschichtung	Zn/Al (85/15) $R_z \approx 100 \mu\text{m}$ $d \approx 67 \mu\text{m}$
Medium	Salzwasser 3,5 % NaCl

# DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)



# DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)



Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock



## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

---

### Nach Durchführung der ersten Messreihe wurde der Messaufbau modifiziert

- **Messaufbau # 1** hatte die Schwäche das der **Demontageaufwand** erschwert war weil die Schraube nach der Montage im Aufbau stark verklemmte.
- **Mit Messaufbau #2** konnte dieser Nachteil behoben werden, dies hatte jedoch zur Folge, dass es zum **unbeabsichtigten Mitdrehen auf der Gegenseite** kam.
- Somit kommt es bei Messaufbau #2 **zu erhöhten Winkelfehler, größeren Streuungen und verfrühten Prozessabschlüssen**, was die Ergebnisse insbesondere in den Winkel gemessenen Montageverfahren verschlechtert (Kombiniertes Verfahren, Streckgrenzen gesteuerten Verfahren).
- Bitte beachten Sie, dass mit **geeigneten Maßnahmen gegen Mitdrehen** noch bessere Vorspannkraftergebnisse beim kombinierten Verfahren und beim Streckgrenzen gesteuerten Verfahren zu erreichen sind.

Es folgen die Ergebnisse vom Messaufbau #2: Siehe Folgeseiten

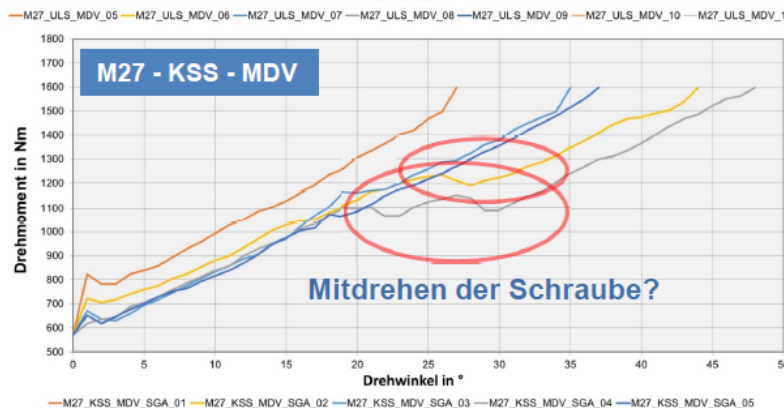
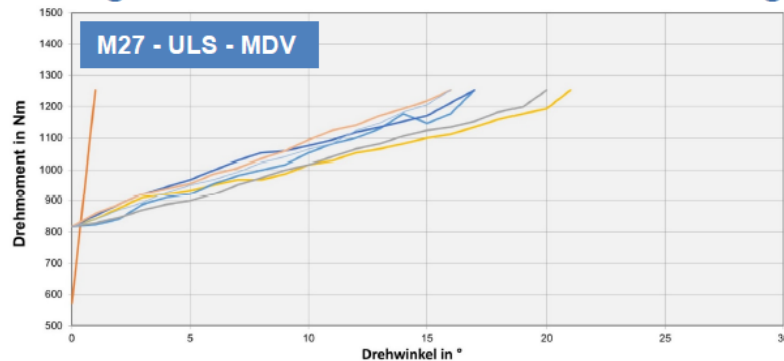
28.04.2020

## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

### Stand der Arbeiten

Arbeitspakete 3: Methode der UW-Vorspannkraftermittlung unter hochkorrosiven Bedingungen und Untersuchung statischer Setzeffekte

### Montage- und Setzverhalten unter Wasser – Vergleich der Verschraubungsdaten



### Mod. Drehmomentverf. – ULS / KSS

- Auffälligkeiten bei der Montage der Keilsicherungsscheiben (KSS)
- ungleichmäßiger Verlauf der Drehmoment-Drehwinkel-Kurve

### Erklärungsansätze:

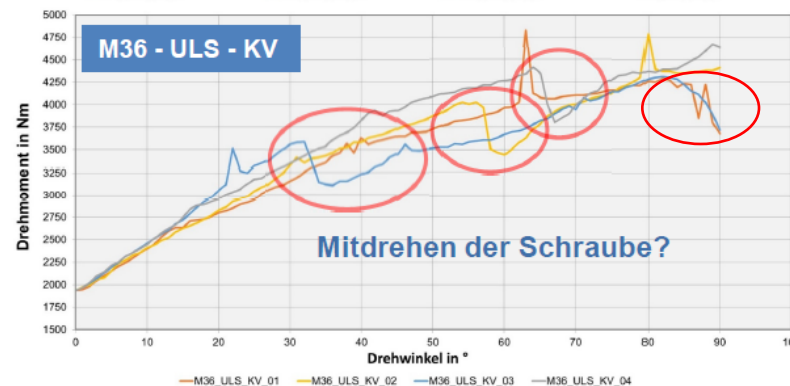
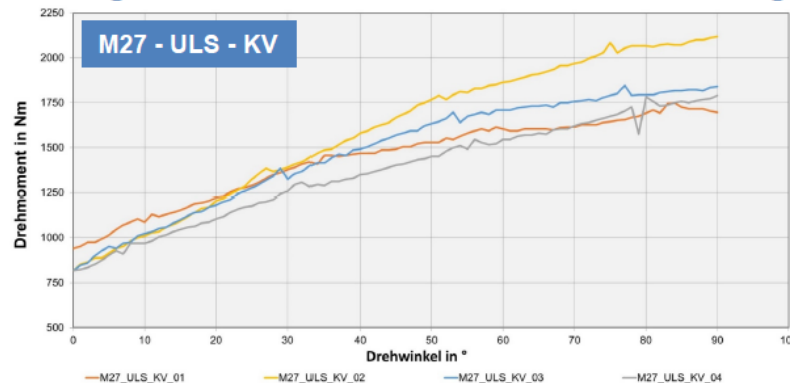
- Mitdrehen der Schraube vermutet  
→ bei KSS ggf. wahrscheinlicher als bei herkömmlichen Scheiben durch reduzierte Auflagerreibung aufgrund der Rippen, dann jedoch auch eher im Bereich niedriger Momente vermutet<
- → Erklärung wie bei M27 KSS KV (Folie 61) und M36 ULS KV (Folie 62)

# DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

## Stand der Arbeiten

Arbeitspakete 3: Methode der UW-Vorspannkraftermittlung unter hochkorrosiven Bedingungen und Untersuchung statischer Setzeffekte

### Montage- und Setzverhalten unter Wasser – Vergleich der Verschraubungsdaten



### Kombiniertes Verfahren – M27 / M36

- Auffälligkeiten bei der Montage der M36er-Garnituren
- sehr ungleichmäßiger Verlauf der Drehmoment-Drehwinkel-Kurve

### Erklärungsansätze:

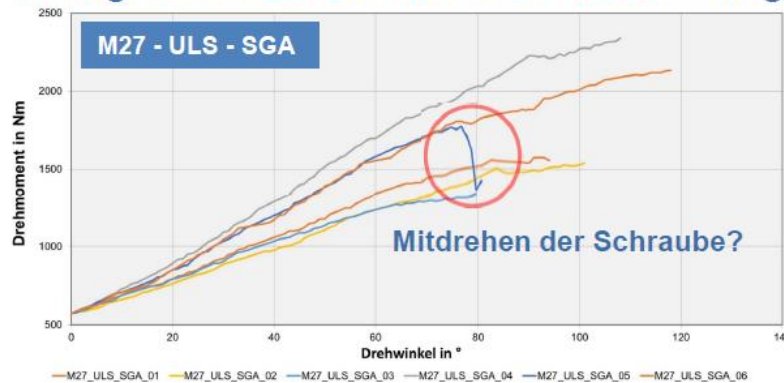
- Mitdrehen der Schraube vermutet  
 → Kurvenverlauf für Mitdrehen typisch, ist bei dem verwendeten Versuchsaufbau nicht auszuschließen, Deformation des Auflagekonstruktion bei M36er Schrauben beobachtet, Schraubenköpfe teils nicht mehr in ursprünglicher Ausrichtung nach Montage trotz prinzipieller Konterung des Schraubenkopfes (scheinbar nicht stark genug), Zeitpunkt des Mitdrehens im Nachgang nicht nachzuvollziehen, Auftreten erst bei hohen Momenten eher untypisch, wurde bei M16 Garnituren jedoch beobachtet → Gewindereibung ↑↑ (Demolykosisierung) + Unterkopfreibung ↓↓ (Wassereinfluss)?

# DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

## Stand der Arbeiten

Arbeitspakete 3: Methode der UW-Vorspannkraftermittlung unter hochkorrosiven Bedingungen und Untersuchung statischer Setzeffekte

### Montage- und Setzverhalten unter Wasser – Vergleich der Verschraubungsdaten

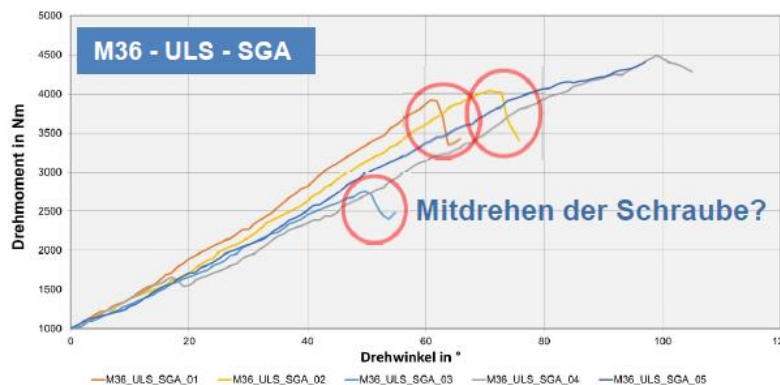


### Streckgrenzgest. Montage – M27 / M36

- Auslösen des Abschaltvorgangs durch plötzliches Fallen der Drehmoment-Drehwinkelkurve tritt bei M36-Versuchen häufiger auf

### Erklärungsansätze

- Dimensionseinfluss bezüglich der Anfälligkeit gegenüber Mitdreihens scheint vorhanden zu sein

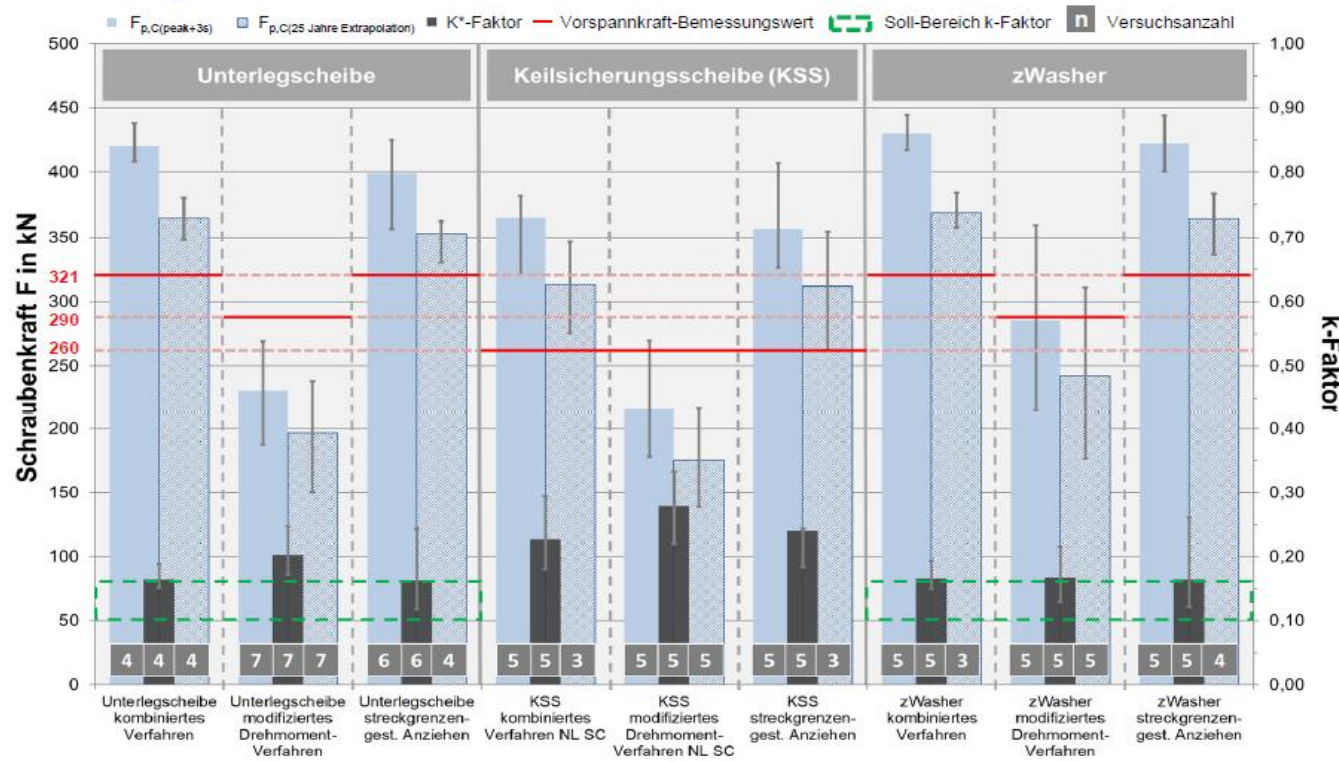




# DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

## Stand der Arbeiten

Arbeitspakete 3: Methode der UW-Vorspannkraftermittlung unter hochkorrosiven Bedingungen und Untersuchung statischer Setzeffekte  
**Montage- und Setzverhalten unter Wasser – M27x100**



<b>Schrauben</b>
HV M27 (EN 14399-4-M27x100-10.9-HV-tZn-K1)
<b>Klemmlängen-Verhältnis</b>
$l_k/d = 2,6$
<b>Flanschbleche</b>
S355J2 (EN 10025) 2 Stk. à t = 30 mm
<b>Flansch-Beschichtung</b>
Zn/Al (85/15) $R_z \approx 100 \mu\text{m}$ DFT $\approx 67 \mu\text{m}$
<b>Medium</b>
Salzwasser 3,5 % NaCl

Montageverfahren (Unterwassermontage)

Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

### Stand der Arbeiten

Arbeitspakete 3: Methode der UW-Vorspannkraftermittlung unter hochkorrosiven Bedingungen und Untersuchung statischer Setzeffekte

#### Montage- und Setzverhalten unter Wasser – Zusammenfassung (MDV)

- **Modifiziertes Drehmomentverfahren – ermittelte Vorspannkraft:**
  - mittlere Vorspannkraften liegen weit unterhalb des Vorspannkraftbemessungsniveaus
  - zWasher/Backup-Washer erhöhen bei drehmomentbasierter Montage das mittlere Vorspannkraftniveau deutlich, können bei Unterwasser montage von werksseitig mit MoS<sub>2</sub> geschmierten HV-Garnituren die Einhaltung des Vorspannkraftbemessungsniveaus aber ebenfalls nicht immer garantieren
  - erhöhte Gewindereibung außerhalb des zulässigen Bereichs als Ursache vermutet
  - normatives Reibfenster führt bei HV-Garnituren auch unter Normalbedingung rechnerisch nicht immer zum Erreichen des Vorspannkraftbemessungswertes  $F_{p,C^*}$ :

$k_i$  - individueller k-Faktor

$F_{p,C}$  - Mindestvorspannkraft

$k_i = 0,10 \dots 0,16$

$M_{pi}$  - individuelles Anziehdrehmoment

$F_b$  - Schraubenkraft

$$k_i = \frac{M_{pi}}{d \cdot F_{p,C}} \quad F_{p,C} = \frac{M_{pi}}{d \cdot k_i} \quad F_b = \frac{M_A}{d \cdot 0,16}$$

d - Nenndurchmesser Schraube

k = 0,16	M16	M20	M22	M24	M27	M30	M36
$M_A$	250 Nm	450 Nm	650 Nm	800 Nm	1250 Nm	1650 Nm	2800 Nm
$F_b$	98 kN	141 kN	185 kN	208 kN	208 kN	344 kN	486 kN
$F_{p,C^*}$	100 kN	160 kN	190 kN	220 kN	220 kN	350 kN	510 kN

## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

---

### Stand der Arbeiten

Arbeitspakete 3: Methode der UW-Vorspannkraftermittlung unter hochkorrosiven Bedingungen und Untersuchung statischer Setzeffekte  
**Montage- und Setzverhalten unter Wasser – Zusammenfassung (KV)**

- **Kombiniertes Verfahren – ermittelte Vorspannkkräfte:**
  - Montage mittels komb. Verfahren führte bei allen Scheiben im Mittel zu Vorspannkkräften oberhalb des Vorspannkraftbemessungsniveaus, jedoch wurde bei hohen Momenten in den M27 und M36-Versuchen ein Mitdrehen der Schrauben bei der Verschraubung von HV-Scheiben und Keilsicherungsscheiben beobachtet
  - effektives Gegenhalten oder der Einsatz von Backup-Washern können hinsichtlich Mitdrehen prinzipiell Abhilfe schaffen und zu noch höheren Vorspannkkräften führen
  - unter Wasser ggf. Torsionsbruchgefahr bei effektivem Gegenhalten (wirksames Gegenhalten hat bei Unterwasser montage der M16 Gleitlastprüfkörper zu Torsionsbrüchen im freien belasteten Gewinde noch unterhalb von  $F_{p,C}$  geführt)
- **Kombiniertes Verfahren – gleitfeste Verbindungsauslegung:**
  - eine gleitfeste Verbindungsauslegung scheint unter Nutzung des komb. Verfahrens hinsichtlich der erreichten Vorspannkkräfte prinzipiell auch unter Wasser und mit werksseitig mit  $\text{MoS}_2$  geschmierten HV-Garnituren möglich
  - $\text{MoS}_2$  als Schmiermittel der Muttern ist für den Unterwassereinsatz dennoch nicht optimal



## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

---

### Stand der Arbeiten

Arbeitspakete 3: Methode der UW-Vorspannkraftermittlung unter hochkorrosiven Bedingungen und Untersuchung statischer Setzeffekte

#### Montage- und Setzverhalten unter Wasser – Zusammenfassung (SGA)

- **Streckgrenzgesteuerte Montage – ermittelte Vorspannkräfte**
  - SGA-Montage führte trotz Mitdrehens der Schraube bei hohen Drehmomenten wie das kombinierte Verfahren bei allen Scheiben zu Vorspannkraften, die im Mittel oberhalb des Vorspannkraftbemessungswertes lagen
  - Prozesssteuerung aufgrund der Plastifizierung des/der schwächsten Bauteil(e) in der Schraubverbindung → bei unzulässig hoher Gewindereibung führt dies zu einer Reduzierung der axialen Vorspannkraft und schützt die Schraube sowie die Gewindepaarung vor mechanischen Schädigungen im Montageprozess und führt zu einem technisch sinnvollen Maximum der Montagevorspannkraft.
  - Torsionsbrüche und Abstreifen des Gewindes sollten nicht auftreten
  - signifikante Prozessfehler können durch Winkel- und Momentenfenster sicher erkannt werden
  - Ursache für das Verfahren untypisch große Streubreite in den Vorspannkraften der Unterwasserversuche ist das Mitdrehen der Schraube bei der Montage im Bereich hoher Drehmomente (Erklärungsansatz siehe Folien 87/88)
  - Mitdrehen kann zu vorzeitigem Erreichen des Abschaltenschwellwertes führen und ist als externe Störgröße unbedingt zu vermeiden
  - effektives Gegenhalten oder der Einsatz von Backup-Washern können hinsichtlich Mitdrehen prinzipiell Abhilfe schaffen und zu noch höheren Vorspannkraften führen

## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

### Stand der Arbeiten

Arbeitspakete 3: Methode der UW-Vorspannkraftermittlung unter hochkorrosiven Bedingungen und Untersuchung statischer Setzeffekte

#### Montage- und Setzverhalten unter Wasser – Zusammenfassung (Überblick)

Montageverfahren	KV			MDV			SGA		
	HV	KSS	zW	HV	KSS	zW	HV	KSS	zW
Mittlere Vorspannkraft > Bemessungswert?	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Vorspannkraftverluste	13 %	13 %	14 %	15 %	19 %	15 %	12 %	16 %	15 %
Verbleibende Vorspannkraft > Bemessungswert?	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓
Mitdrehen aufgetreten?	✓ <sub>(M36)</sub>	✓	✗	✓ <sub>(M36)</sub>	✗	✗	✓	✓	✗
Sicherungswirkung der Scheibe gegen Mitdrehen?	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓
Torsionsbruchgefahr?	✓	✓	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Montageverfahren in Stahlbaunormung?		✓			✓			✗	
Scheiben im Stahlbau zugelassen?	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✗
Scheiben für GV-Verbindungen zugelassen?	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗

## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

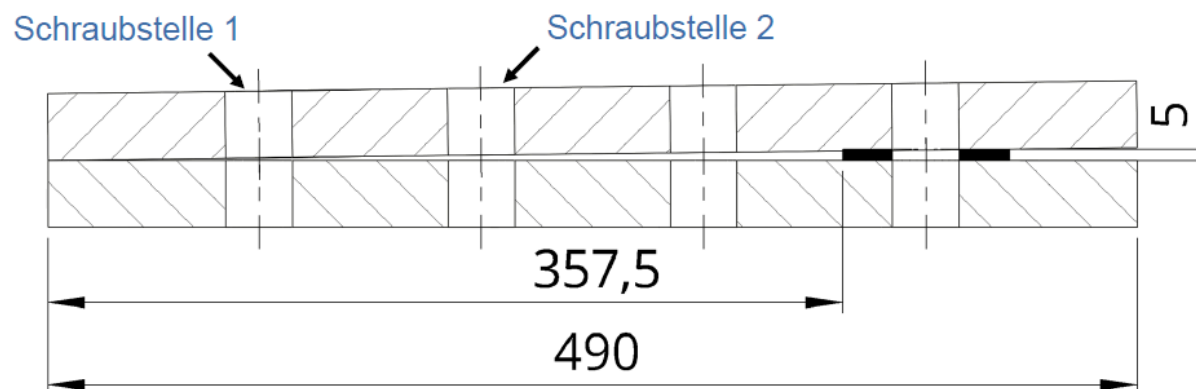
### Stand der Arbeiten

Arbeitspaket 6: Erprobung an praxisrelevantem Anwendungsfall

#### Einfluss von Flanschimperfektionen

- Stichversuch zum Verhalten unterschiedlicher Schraubverfahren auf Flanschimperfektionen
- Aufbau einer hochenergetischen Klaffung
- Umfang: 5 Verschraubungen je Verfahren und Schraubstelle

Versuchsaufbau:



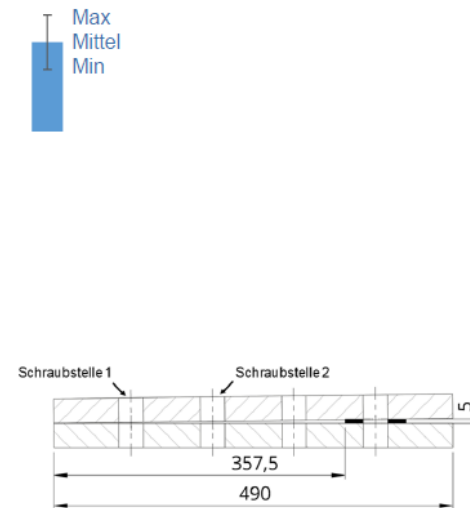
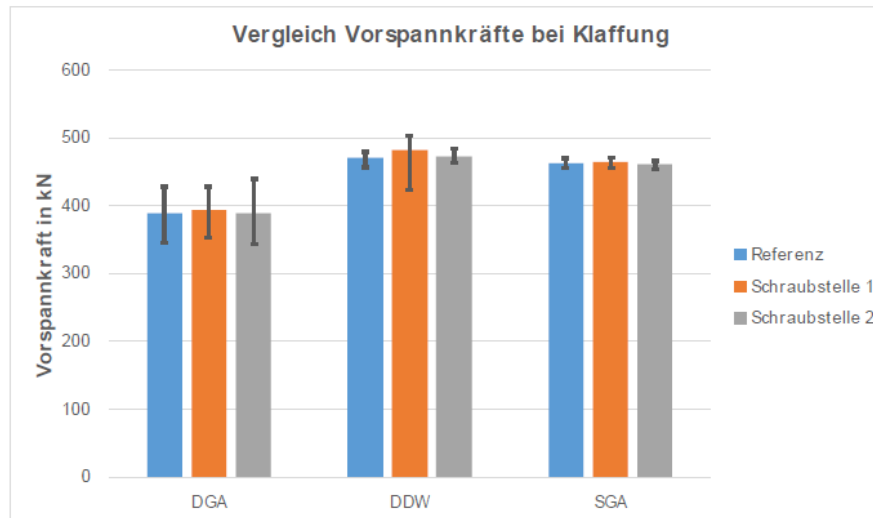
## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

### Stand der Arbeiten

Arbeitspaket 6: Erprobung an praxisrelevantem Anwendungsfall

#### **Einfluss von Flanschimperfektionen**

#### Vergleich der Vorspannkräfte



- Vorspannkräfte aller Varianten auf vergleichbarem Niveau
  - Schraubstelle 1: Schließen der Klaffung bei voller Vorspannung
  - Schraubstelle 2: kein Schließen der Klaffung bei voller Vorspannung; plastische Verformung der Bauteile
- Vorspannkraft kein Indikator für das Schließen von Klaffungen

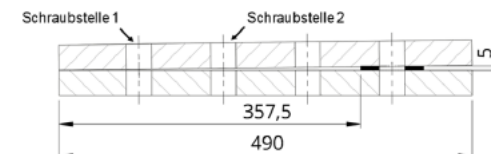
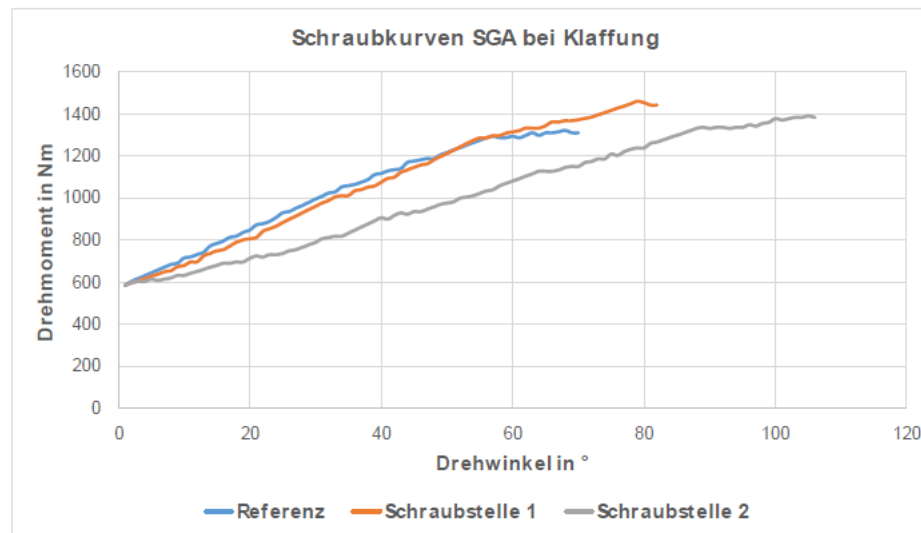
## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

### Stand der Arbeiten

Arbeitspaket 6: Erprobung an praxisrelevantem Anwendungsfall

#### Einfluss von Flanschimperfektionen

#### Schraubkurven SGA bei unterschiedlicher Klaffung



- Zunehmender Drehwinkel bei größer werdender Klaffung
- Steigung bei Referenz und Schraubstelle 1 ähnlich → vergleichbare Schraubfallhärte
- Steigung bei Schraubstelle 2 deutlich geringer → weicherer Schraubfall
- Bei allen Verschraubungen vergleichbare Vorspannkraft erreicht → Verfahren reagiert gut auf Veränderung des Schraubfalls und schaltet korrekt ab

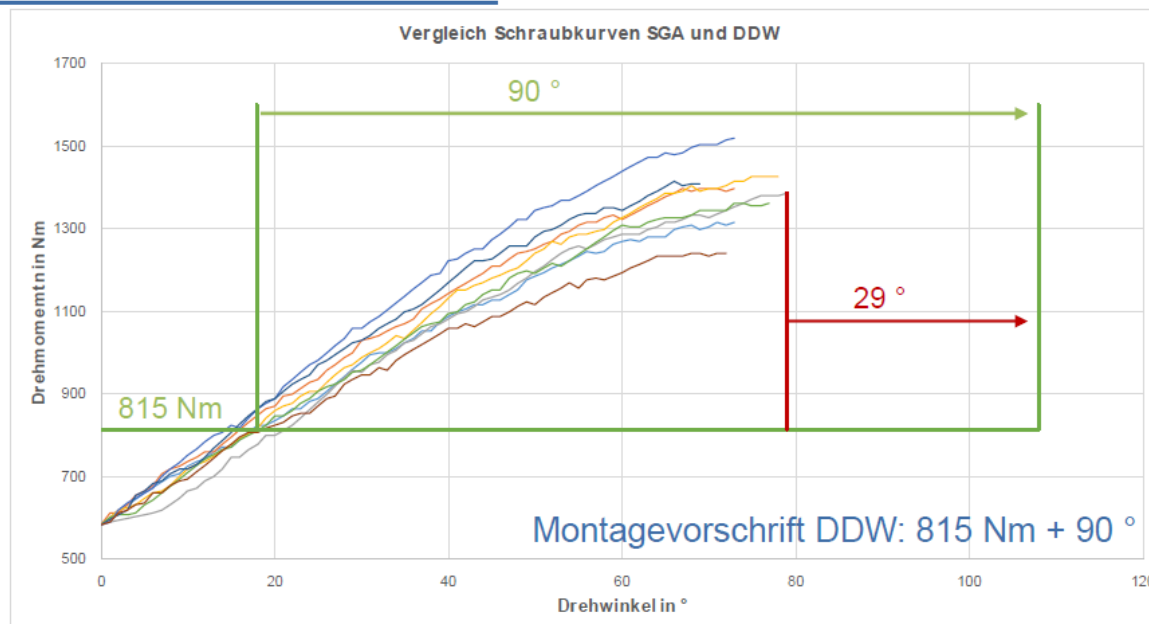
## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

### Stand der Arbeiten

Arbeitspaket 6: Erprobung an praxisrelevantem Anwendungsfall

#### Einfluss von Flanschimperfektionen

#### Vergleich Schraubkurven SGA und DDW



Kurven:  
 M27,  
 Scheibe,  
 Zn

- Weiterdrehen mit DDW um mindestens 29 °
- Fragestellung: Klaffungen in Realität vorhanden, bei denen Weiterdrehwinkel unzureichend ist?

## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

---

### Einfluss von Flanschimperfektionen:

- Die Messungen zeigen, dass es mit dem **Streckgrenzen gesteuerten Verfahren** möglich ist optimal auf Flanschimperfektionen zu reagieren und eine bestmöglichstes Vorspannkraftniveau bei einer gleichzeitig geringen Vorspannkraftstreuung zu erzielen.
- Sollten Flanschimperfektionen noch stärker ausgeprägt sein, ist das **kombinierte Verfahren** bei hochenergetischen klaffenden Bauteilen nicht mehr in der Lage die benötigte Winkeldifferenz zu kompensieren und es werden sich geringere Vorspannkraften einstellen. Dieser Effekt konnte auch schon vielfach im Maschinenbau, trotz der höheren Fertigungspräzision, beobachtet werden.
- Das **modifizierte Drehmomentverfahren** reagiert relativ neutral auf Flanschimperfektionen, ist aber nicht in der Lage das Vorspannkraftniveau des kombinierten Verfahrens oder des Streckgrenzen gesteuerten Verfahrens zu erreichen. Es ist somit wahrscheinlicher das bleibende Klaffungen die Folge sind, was wiederum die Schraubenzusatzkraft signifikant erhöht und damit die ertragbare Schwingzykluszahl der Schraubenverbindung deutlich reduziert.



## DVS/IGF-Forschungsprojekt „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ – Fraunhofer IGP und TUD (IGF-Nr. 19.675 B)

PROJEKTBEGLEITENDER AUSSCHUSS		ANSPRECHPARTNER
August Friedberg GmbH	KWE-Ingenieurbüro	<b>Fraunhofer IGP</b> Albert-Einstein-Str. 30 18059 Rostock Projektbearbeiter: Benjamin Ripsch, M.Sc. (SFI) 0381 49682-566 / benjamin.ripsch@igp.fraunhofer.de  <b>TUD, Institut für Fertigungstechnik</b> Georg-Bähr-Str. 3c 01069 Dresden Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Gregor Reschke 0351 463-34361 / gregor.reschke@tu-dresden.de
BB-Barth GmbH	JuKo Technik GmbH / smarttorc	
Deutscher Schraubenverband e. V.	Nord-Lock GmbH	
ESOS Wind GmbH	Trianel GmbH	
FUCHS Schraubenwerk GmbH	Muehlhan Deutschland GmbH	
Hytorc – Barbarino & Kilp GmbH	Krebs - Rostocker Korrosionsschutz GmbH	
Ingenieurberatung Bröggelhoff GmbH	NEMOS GmbH	

### Förderhinweis

Die Untersuchungen erfolgten im IGF-Vorhaben 19.675 B „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspannkrafterhaltenden Sicherung von Schraubenverbindungen im Unterwasserbereich“ der Forschungsvereinigung Schweißen und verwandte Verfahren des DVS e.V. und wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !!!  
Thank you for your attention !!!**

---

**HYTORC-Barbarino & Kilp GmbH**  
Justus-von-Liebig-Ring 17  
**D-82152 Krailling / Nähe München**  
Patrick Junkers  
Tel: +49 – (0)89 – 23 09 99-30  
Fax: +49 – (0)89 – 23 09 99-14  
Mobil: +49 –(0)152 – 22 80 99 75  
eMail: [p.junkers@hytorc.de](mailto:p.junkers@hytorc.de)  
eMail: [info@hytorc.de](mailto:info@hytorc.de)

[www.anziehverfahren.de](http://www.anziehverfahren.de)  
[www.hytorc.de](http://www.hytorc.de)  
[www.vt-forum.de](http://www.vt-forum.de)

**JuKo-Technik GmbH**  
Bürgermeister-Seidl-Strasse 9  
**D-82515 Wolfratshausen**  
Holger Junkers  
Tel.: +49 - (0)8171 – 48 39 8-0  
Fax: +49 - (0)8171 – 48 39 89  
Mail: [h.junkers@jukotechnik.de](mailto:h.junkers@jukotechnik.de)  
Internet: [www.jukotechnik.de](http://www.jukotechnik.de)