Schraub-Montageprozesse und ihre Eigenschaften aus drei unabhängigen Quellen:

1) Fraunhofer-IGP mit TU-Dresden
2) Hochschule-Offenburg
3) DNV-GL JIP Joint Industry Project

Produktions- und Wartungskostenoptimierung

Patrick Junkers – HYTORC–Barbarino & Kilp GmbH - Krailling / München

29. Windenergietage vom 10. bis 12. November 2021 in Potsdam

HYTORC

Drehende Montageprozesse und Ihre Eigenschaften
Infomaterial aus unabhängigen Quellen
Forschungsvorheben sowie Kundenfeedback

Montageprozesse im Vergleich:

Drehmoment gesteuert Montage
Drehmoment-Drehwinkel gesteuerte Montage
Streckgrenzen gesteuerte Montage

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

Forschungsziele (Auszug)

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

- **selbsttätiges Lösen** von Schraubenverbindungen durch Sicherungsmaßnahmen **unterbinden** (technologisch, konstruktiv, stofflich)

- **wartungsarme Verbindungen**: dadurch größere Inspektionsintervalle

- **Betriebskostenreduzierung** durch größere Inspektionsintervalle und Reduzierung kostenintensiver Nachzieharbeiten

- **Erhöhung der Sicherheit** des Offshore-Servicepersonals

Problemstellung: (wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche)

Das selbsttätige Lösen von Schraubenverbindungen stellt in der Praxis ein hohes Sicherheitsrisiko dar und bedingt deshalb relativ kurze Inspektionsintervalle zur Detektierung unzureichender Verbindungen. Dies verursacht enorme Kosten und erhöht die Betriebskosten.

Diese Problemstellung besteht nicht nur Offshore, sondern für den gesamten Stahlwasserbau bei dem zyklisch belastete Schraubenverbindungen vorliegen (Verschlüsse, Wehre, Stauanlagen).

In der Offshore-Öl- und Gasindustrie treten trotz hoher Prüf- und Nachziehaufwände kritische Schraubenverbindungsversagen auf, welche regelmäßig zu herabfallenden Bauteilen führen

Generell ist von einer medialen Beeinflussung der Reibungsverhältnisse durch Meerwasser auszugehen, sodass bei nicht angepassten Anziehverfahren keine qualitätsgerechte Verbindung mit definierter Vorspannung ausgebildet werden kann.

Fortsetzung
Problemstellung: (wissenschaftlich-technische und wirtschaftliche)

Durch die Entwicklung eines Verfahrens zur Schraubensicherung im Unterwasserbereich kann eine erhebliche Wartungskostenreduzierung von Schraubflanschverbindungen in exponierten Lagen erreicht werden.

Somit kann die Gesamtwirtschaftlichkeit von OWEA gesteigert werden. Die Untersuchung des Vorspannkraftverhaltens von Schraubenverbindungen, welche im Zuge von Wartungsarbeiten unter Wasser nachgezogen oder neumontiert werden, ist für den gesamten Stahlwasserbau relevant….

Die Kontaktflächen gleitfester Verbindungen sollen frei von Verunreinigungen wie z.B. Öl, Schmutz und Farbresten sein [9]. Bei der Montage unter Wasser können Verunreinigungen aufgrund verschiedenster Umgebungsbedingungen jedoch nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Wasser zwischen den Kontaktflächen könnte Einfluss auf das Verbindungsverhalten haben. Bislang gibt es jedoch keine Vorgabe zur Überprüfung der Auswirkung von Wasser auf die Haftreibungszahl der Kontaktflächen.

Ergebnis

Verschiedene Anziehverfahren und die Nutzung alternativer Scheiben wurden mit unterschiedlichen Zielsetzungen für einen Einsatz unter Wasser erprobt.

Erkenntnisse:

Die werksseitige Schmierung von Garnituren mit Molybdändisulfid (MoS2) scheint für einen Unterwassereinsatz nicht geeignet, da die Schmiereigenschaften von MoS2 unter Einfluss von Wasser erheblich degradieren.

Mit unzureichend geschmierten HV-Garnituren gehen verschiedene Risiken einher:

Bei drehmomentgesteuertem Anziehen ist eine deutliche Unterschreitung des Vorspannkraftbemessungswertes möglich, ein selbsttätiges Lösen der Verbindungen kann infolge dessen und insbesondere unter zyklischer Belastung auftreten.

Die drehmoment-drehwinkelgesteuerte Montage führte zu deutlich höheren Vorspannkräften, birgt jedoch die Gefahr einer Überbeanspruchung der Schraube beim Anziehen.

Ergebnis

Das streckgrenzgesteuerte Verfahren bietet den Vorteil, Schrauben durch rechtzeitigen Prozessstopp beim Anziehen nicht zu überlasten und führte im Rahmen der Versuche zu Vorspannkräften oberhalb des Bemessungswertes TROTZ unzureichenden Reibverhältnissen und teils ungenügender Sicherung gegen Mitdrehen.

Verdrehsichere Unterlegscheiben zWasher und BackUp Washer können zum Schutz gegen Mitdrehen beitragen und außerdem zu höheren Vorspannkräften bei drehmomentbasierter Montage führen, als bei Montage von HV-Scheiben erreichbar wären.

Das Ziel des Vorhabens wurde erreicht.

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.**

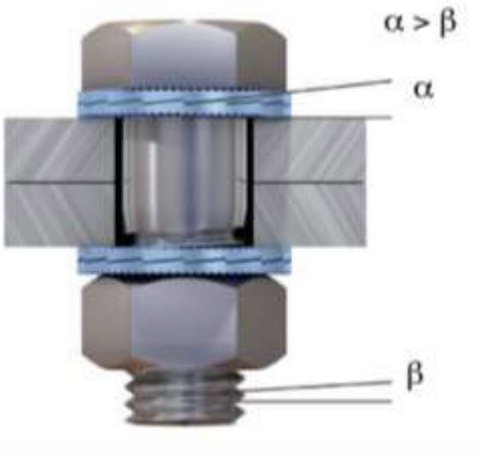
- Sollten Flanschimperfektionen noch stärker ausgeprägt sein, ist das **kombinierte Verfahren** bei hochenergetischen klaffenden Bauteilen nicht mehr in der Lage die benötigte Winkeldifferenz zu kompensieren und es **werden sich geringere Vorspannkräfte einstellen**. Dieser Effekt konnte auch schon vielfach 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.**

Alternative Sicherungsmittel und Montageverfahren
Hier: Keilsicherungsscheiben

Im Allgemeinen versteht man unter dem Begriff Keilsicherungsscheibe (KSS) ein Scheibenpaar, bestehend aus zwei, in der Regel verklebten, Einzelscheiben. Im Folgenden sollen die Begriffe „Keilsicherungsscheibe“ und „Keilsicherungsscheibenpaar“ synonym verwendet werden.

Die Einzelscheiben weisen auf der Außenseite Radialrippen auf, welche sich in die Bauteiloberfläche und das Verbindungselement einprägen. Durch diesen Formschluss wird die Kopfreibung erhöht und eine Verdrehung verhindert. Eine Bewegung ist, durch die geringere Reibung, nur auf den Innenflächen möglich. Die Innenseiten wiederum weisen Keilflächen auf mit einem Steigungswinkel, der stets größer ist als der Gewindesteigungswinkel. Mit einer einsetzenden Bewegung in Löserichtung verschieben sich die Keilflächen gegeneinander derart, dass der Vorspannkraftverlust ausgeglichen werden soll und die Schraubenverbindung somit gesichert ist. Bei Verwendung einer Garnitur werden beide Scheiben durch je ein Scheibenpaar substituiert.



Keilsicherungsscheiben verschiedener Hersteller sind über *allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen* (abZ) für die Verwendung in Verbindungen der Kategorie A und D nach Eurocode 3 zugelassen. Die Erweiterung ihres Anwendungsbereichs auf Verbindungen der Kategorie B/C und E wird aktuell diskutiert und scheint prinzipiell möglich

Alternative Sicherungsmittel und Montageverfahren

Hier: verdrehsichere Unterlegscheiben zWasher und Backup-Washer

Beim Washer System handelt es sich um eine verdrehsichere Scheibe, welche aus zWasher und Backup zWasher besteht. Der zWasher wird anzugsseitig, hier: mutternseitig, angeordnet. Wie in der Abbildung zu sehen ist, verfügt der zWasher über eine gerippte und eine glatte Seite. Die gerippte Seite wird bauteilseitig angeordnet. Der Backup zWasher ist beidseitig gerippt. Die Rippungen führen zu einer Erhöhung der Reibung, wodurch ein Mitdrehen der Schraube beim Anzug verhindert wird. Damit kann ein Gegenhalten entfallen.

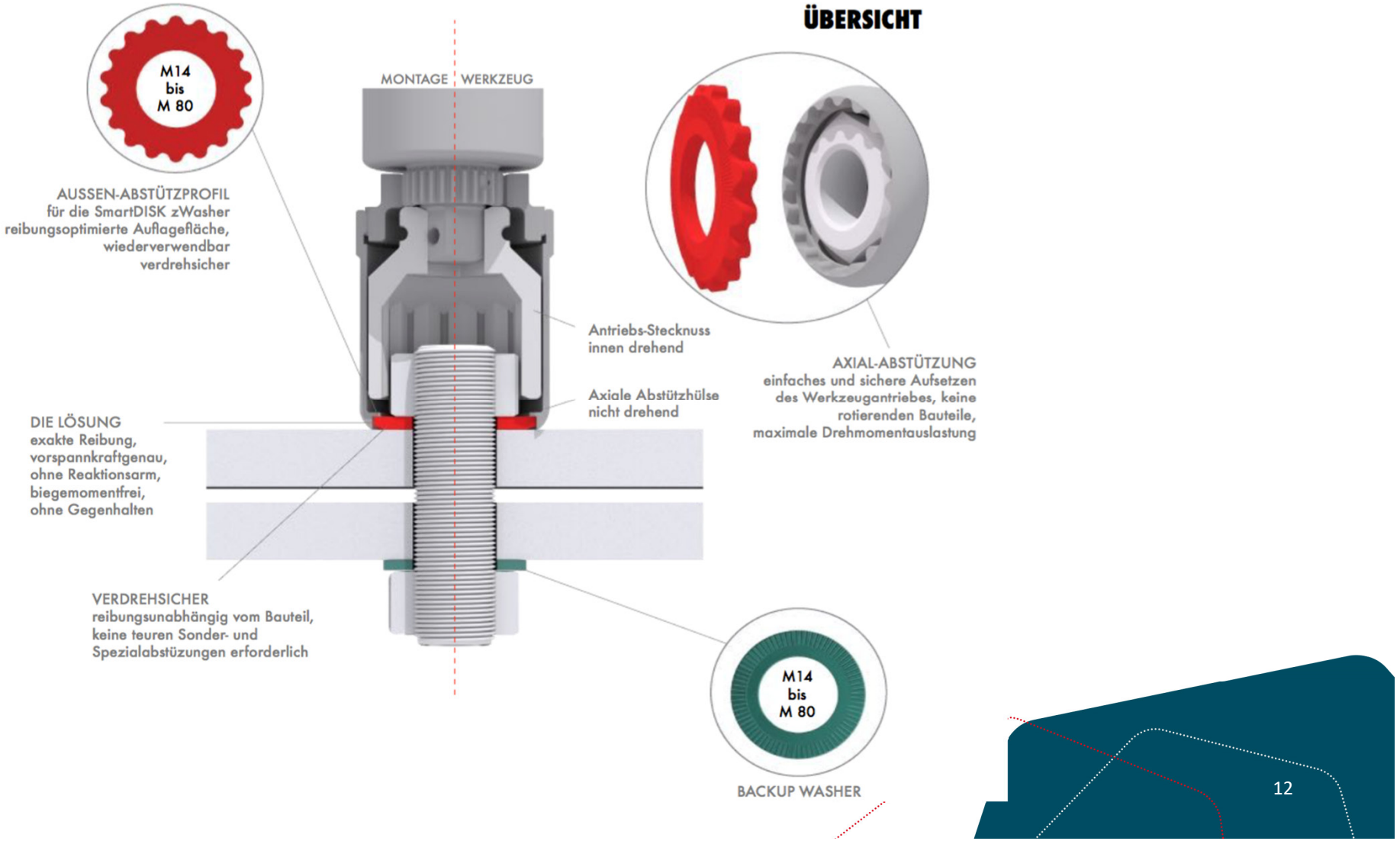
Das äußere Profil des zWashers ermöglicht ein axiales Abstützen des Reaktionsmoments bei Verwendung des entsprechenden Werkzeugs (siehe Abbildung 8). Der sonst notwendige Reaktionsarm kann somit entfallen, wodurch die zusätzliche Biegebeanspruchung bei der Montage reduziert wird. Bei Verwendung einer Garnitur werden die Scheiben substituiert.

Fraunhofer IGP

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN

HYTORC

Alternative Sicherungsmittel und Montageverfahren
Hier: verdrehsichere Unterlegscheiben zWasher und Backup-Washer



Alternative Sicherungsmittel und Montageverfahren

Hier: Streckgrenzgesteuerte Schraubenmontage (hydraulisch)

Bei der streckgrenzgesteuerten Montage (SGA) wird der Gradient der Drehmoment-Drehwinkel-Kurve als Steuergröße herangezogen. Während des Anzugs besteht im elastischen Bereich der Schraube ein linearer Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehwinkel. Mit Erreichen der Fließgrenze infolge der Gesamtbeanspruchung flacht die Drehmoment-Drehwinkel-Kurve ab. Dies führt zu einem steilen Abfall des Gradienten (siehe Abbildung). Der Schraubvorgang wird mit Erreichen eines festgelegten Bruchteils der maximalen Steigung, in der Regel 25 % bis 50 %, beendet.

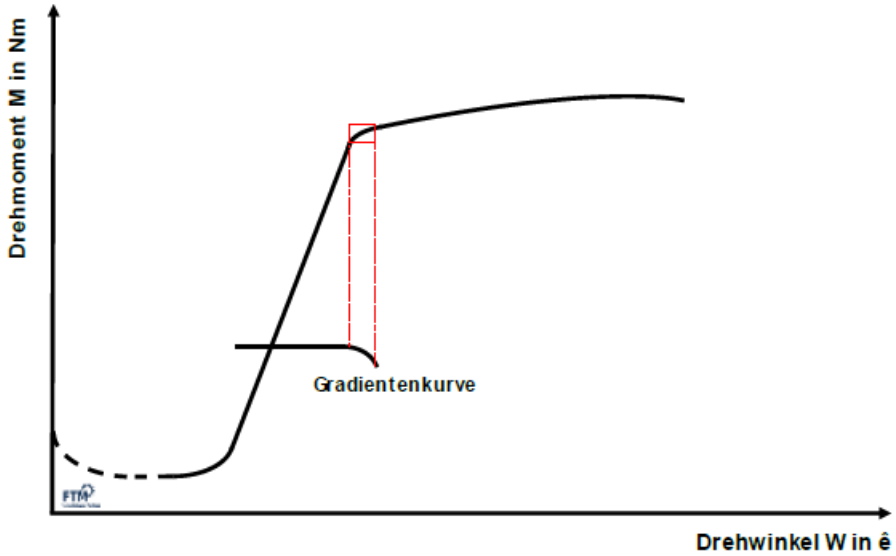


Abbildung 9: streckgrenzgesteuertes Schraubverfahren

Alternative Sicherungsmittel und Montageverfahren

Hier: Streckgrenzgesteuerte Schraubenmontage (hydraulisch)

Die Vor- und Nachteile der streckgrenzgesteuerten Schraubmontage sind in der Tabelle zusammengefasst. **Aufgrund der Prozesssteuerung wird die größtmögliche Montage-vorspannkraft in der Schraubenverbindung erzeugt**. Da eine hohe und definierte Montagevorspannkraft eine Sicherungsmaßnahme gegen Lockern und selbsttätigem Losdrehen darstellt , kann das **streckgrenzgesteuerte Anziehen** als Maßnahme **zur Schraubensicherung** herangezogen werden.

Vor- und Nachteile der streckgrenzgesteuerten Schraubmontage (hydraulisch)	
Vorteile	**Nachteile**
Geringe Vorspannkraftstreuung, unabhängig von der Kopfreibung, abhängig von Gewindereibung und Werkstofffestigkeit	Messtechnik (=abnehmbarer Drehwinkelsensor am Schraubwerkzeug) zur Messung von Drehmoment und Drehwinkel notwendig, dadurch zusätzliche Kosten
Größtmögliche Montagevorspannkraft	
Keine Überdimensionierung der Schraube erforderlich	
Zuverlässige Montage auch kurzer Schrauben	
Fast uneingeschränkte Wiederholmontage	
Optimale Fehlererkennung während Montage durch zusätzliche Drehmoment- und Drehwinkelüberwachung	
Berücksichtigung der Vergleichsspannung, somit keine Überbeanspruchung der Schraube durch die Schraubmontage	

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
- verdrehsichere Unterlegscheiben

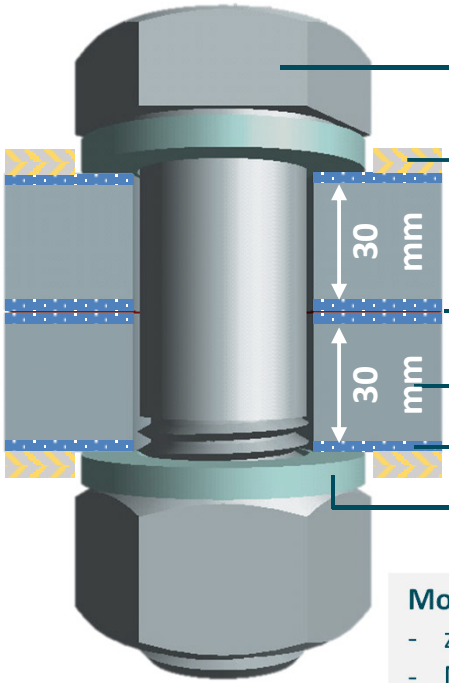
Flansch

- $t_1 = t_2 = 30$ mm, S355J2

Beschichtung

- Zn/Al (85/15) thermisch gespritzt
- Schichtdicke 60 µm – 80 µm, max. 100 µm

Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock



HV-Schraube / Mutter

PE / PU-Beschichtung
- ca. 320 µm
- Klemmbereich maskiert

Trennfuge

Flanschblech

Spritzverzinkung

Scheibe

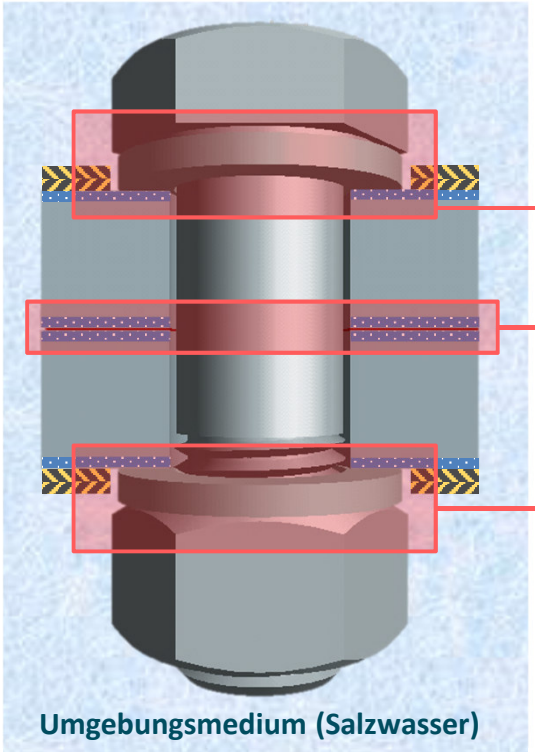
Montagepraxis:
- zwei Montageschritte: 50 % → 100 % Soll-Drehmoment
- Nachziehen nach 500 Betriebsstunden auf 100 % Soll-Drehmoment (mod. Drehmomentverfahren EC3-1-8/NA)

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

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



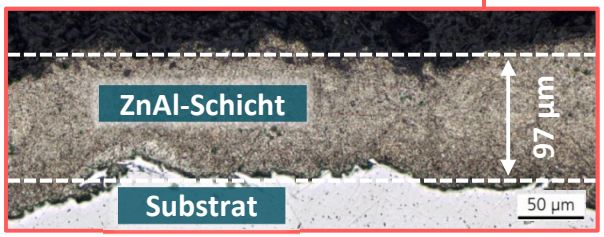
Schraubenverbindung und reibungskritische Kontaktflächen

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

Kopfreibung

Oberflächenzustand bzw. Gleitflächenklasse
→ Haftreibungzahl µ

Mutterauflage- u. Gewindereibung
→ k-Faktor (Gewindeschmierung)

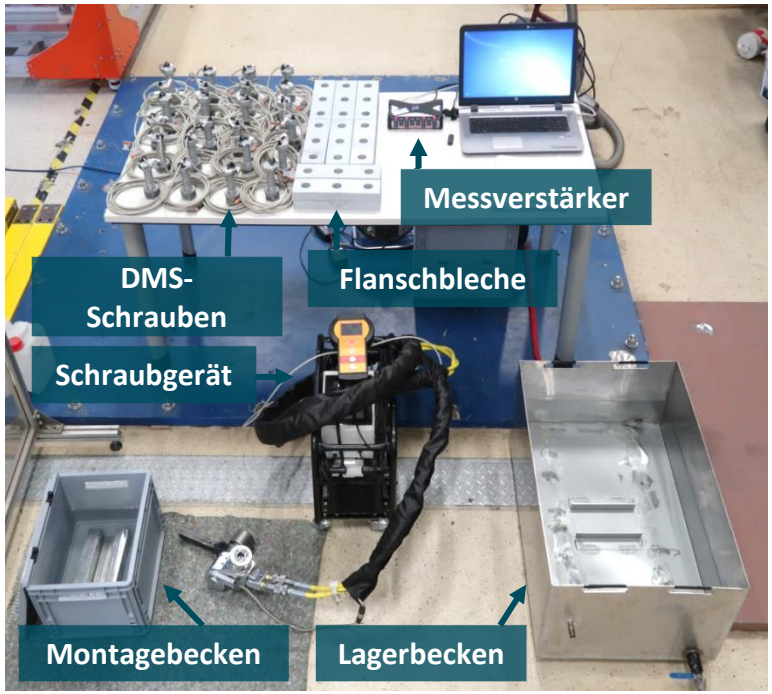


Spritzverzinkter Flansch

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			Keilsicherungs-scheibe			zWasher		
Anziehverfahren	DDW	MDV	SGA	DDW	MDV	SGA	DDW	MDV	SGA

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

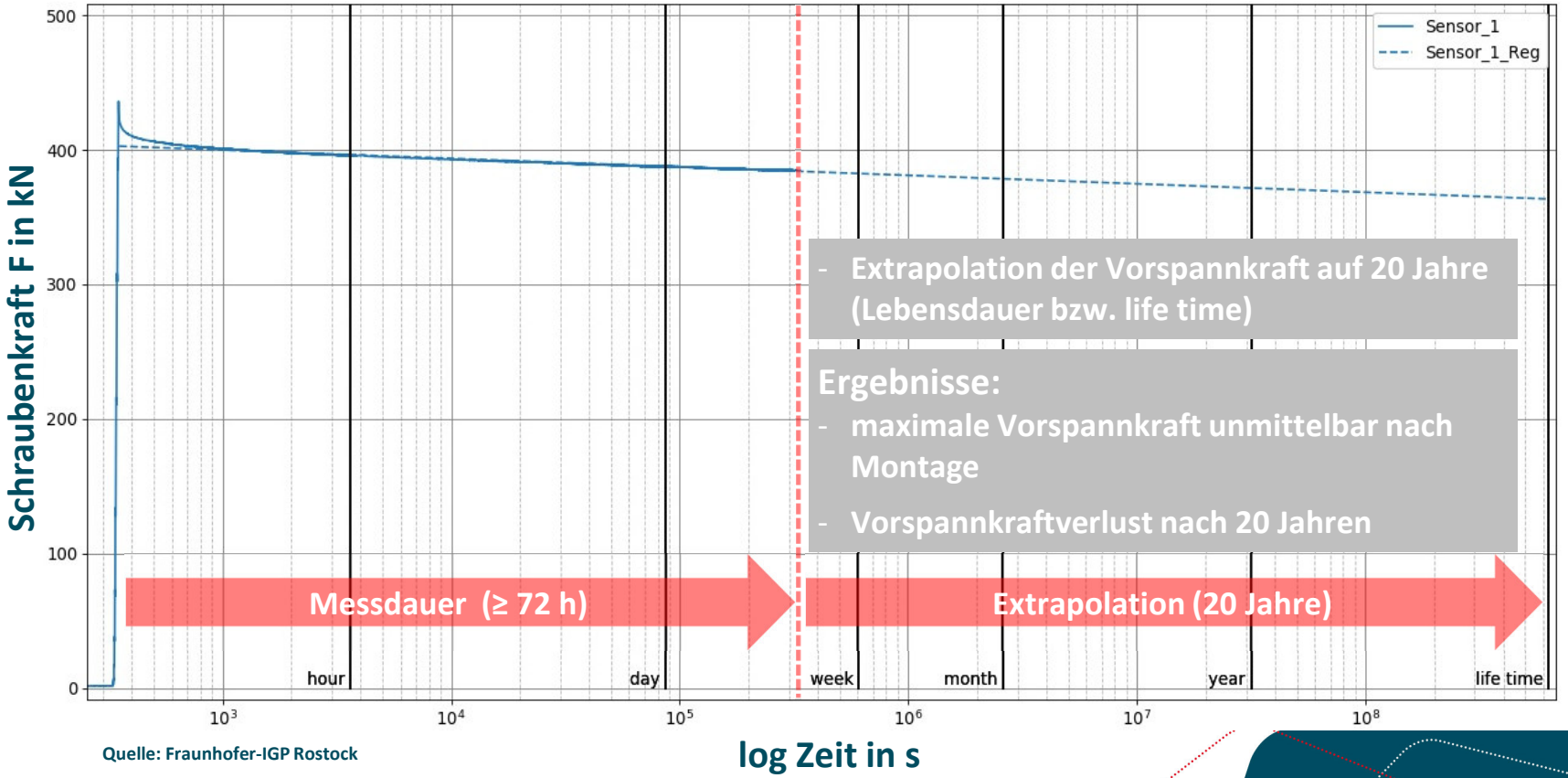
Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

Fraunhofer IGP | TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN | HYTORC

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

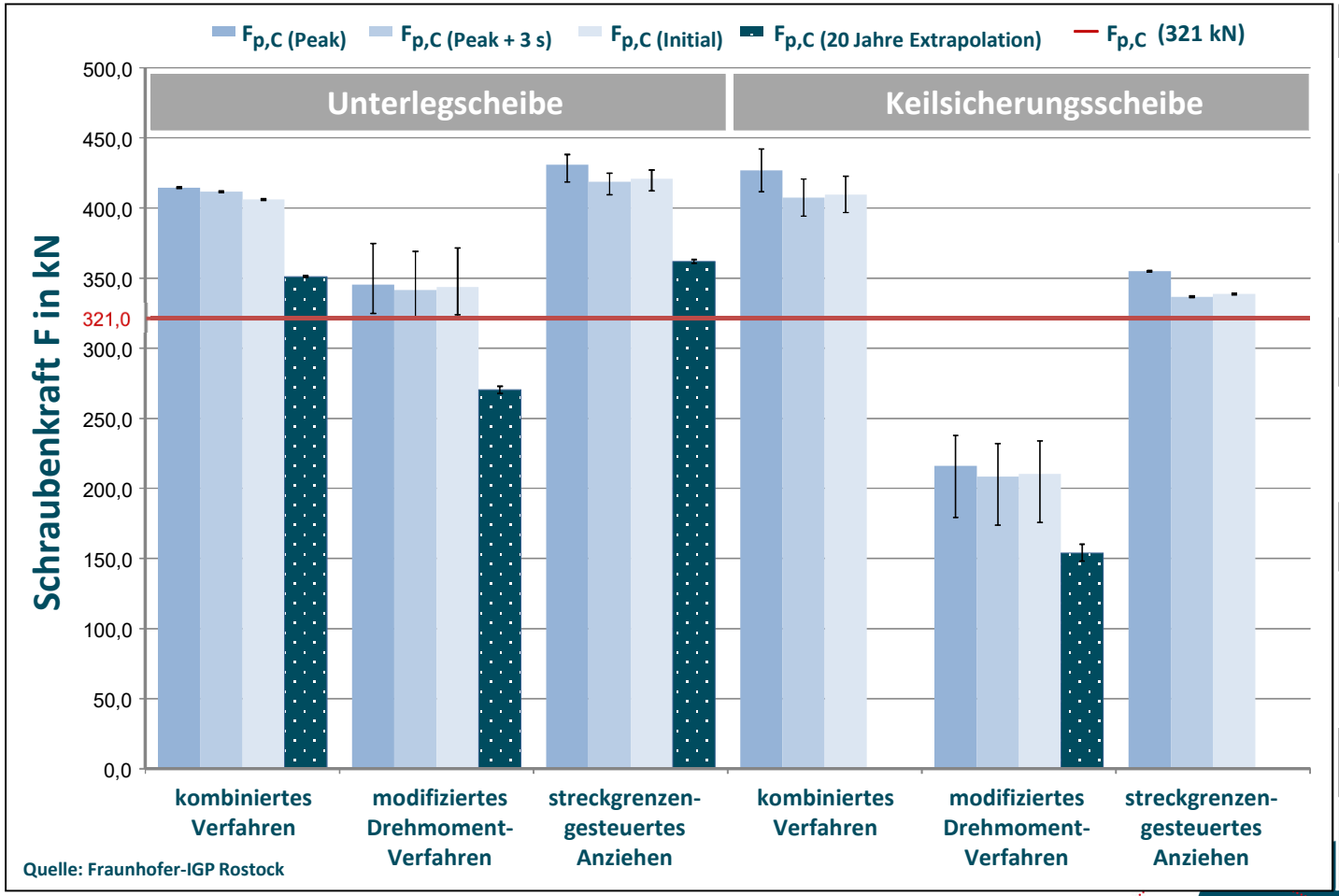
Montageversuche unter medialer Beeinflussung

Vorspannkraft-Messdaten



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)

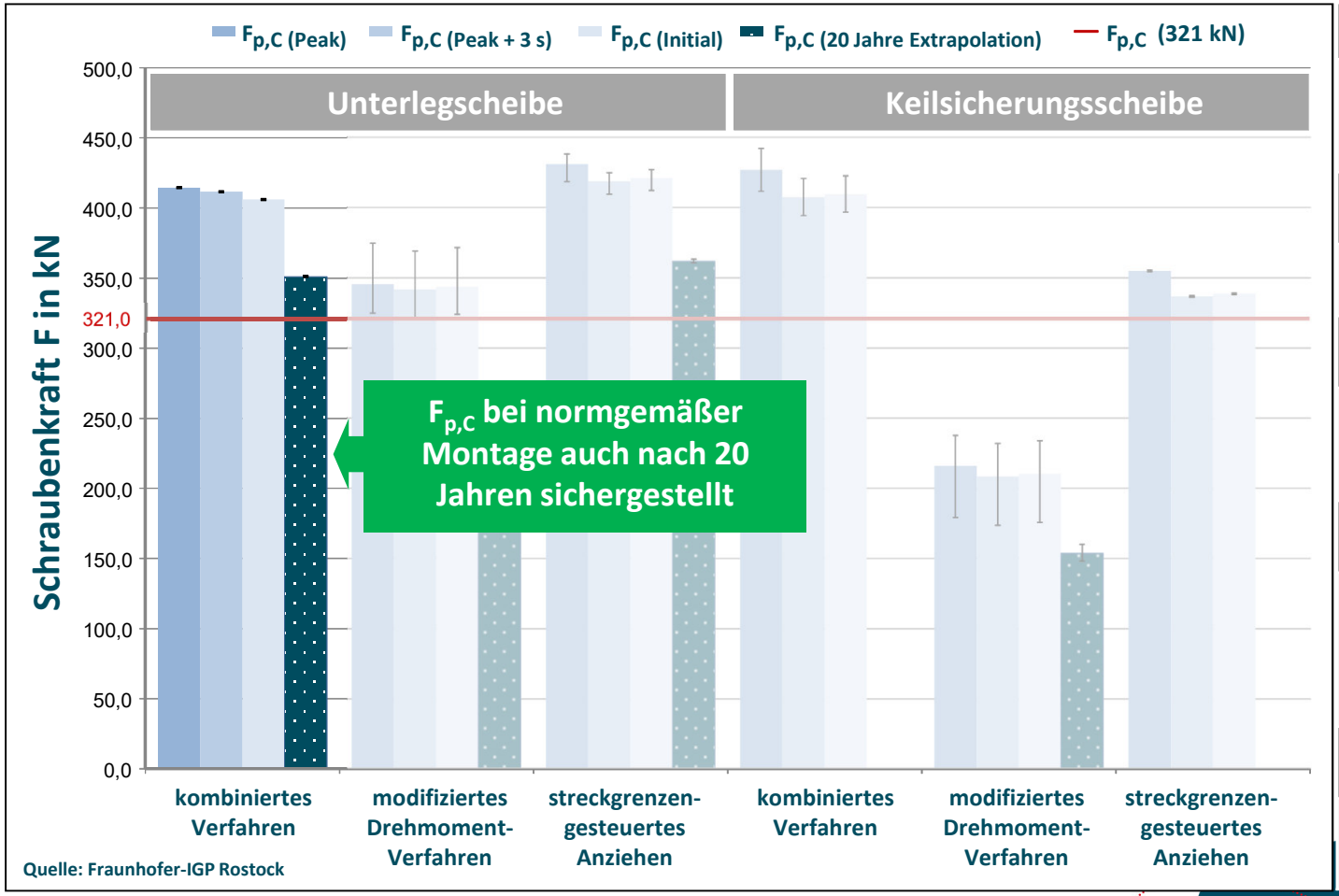


Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

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) $R_z \approx 100$ µm d ≈ 67 µm
Medium
Salzwasser 3,5 % NaCl

Montageversuche mit Aufbau #1 „Mitdrehen ausgeschlossen“

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

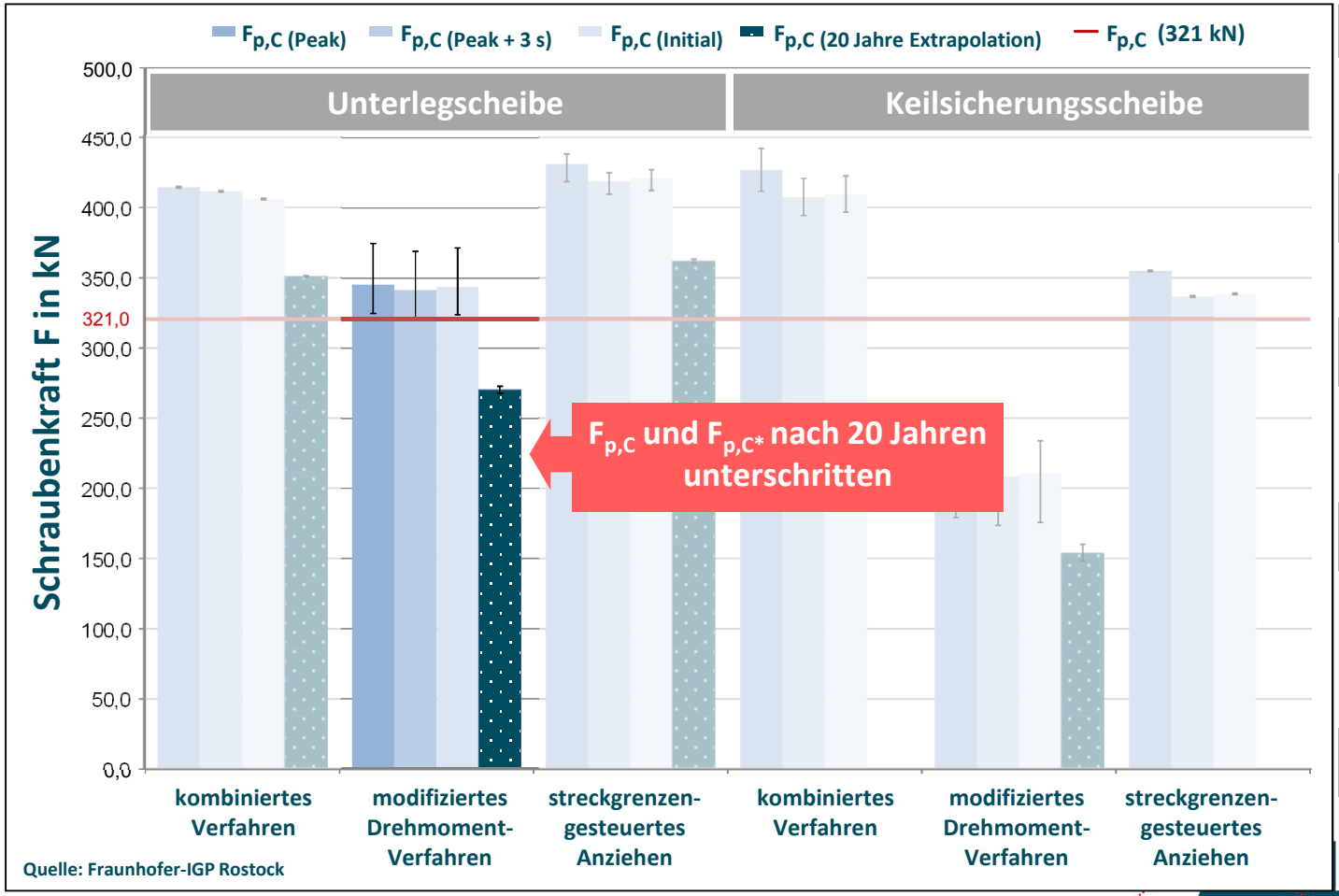


Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

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) $R_z \approx 100$ µm d ≈ 67 µm
Medium	
	Salzwasser 3,5 % NaCl

Montageversuche mit Aufbau #1 „Mitdrehen ausgeschlossen“

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

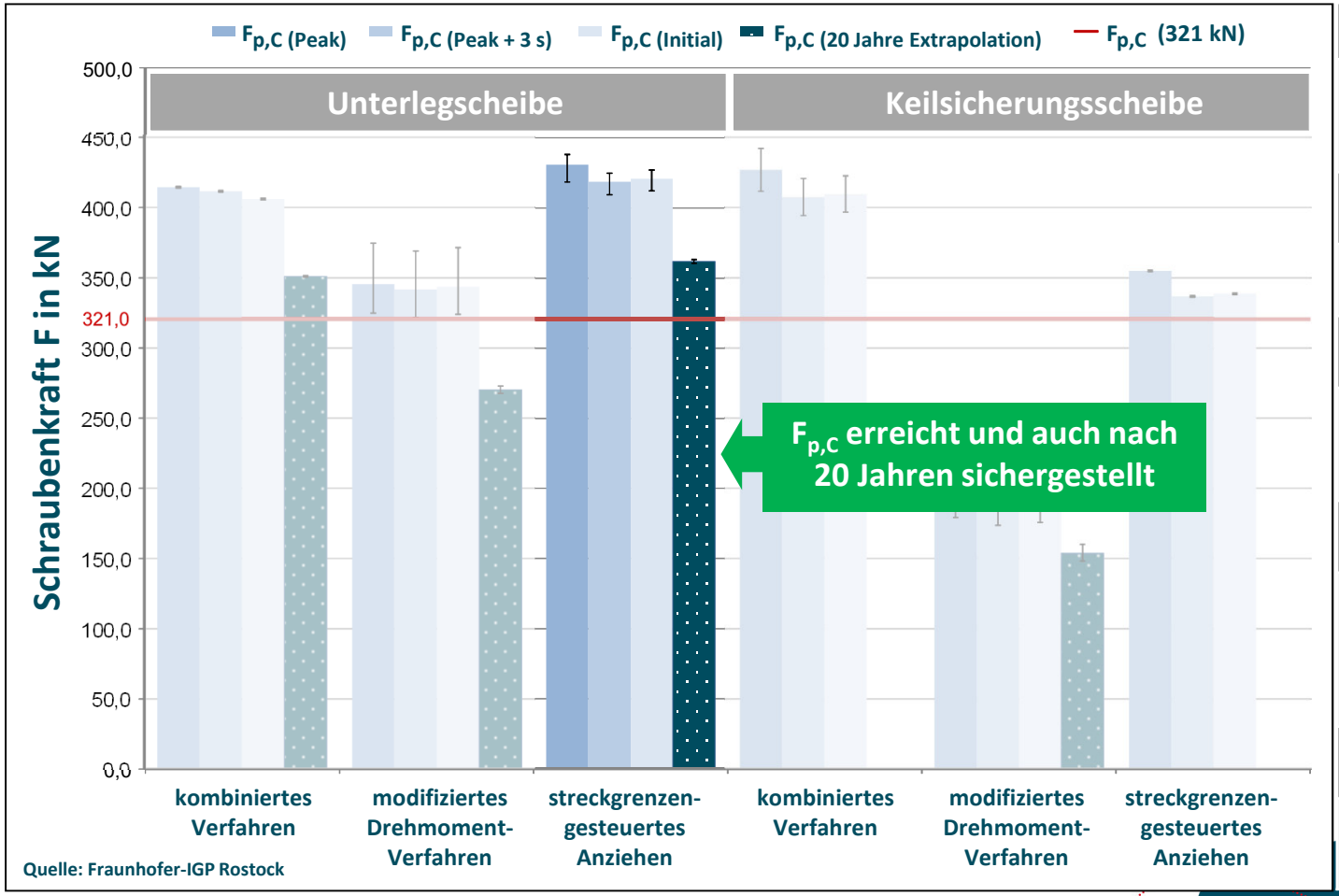


Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

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) $R_z \approx 100$ µm d ≈ 67 µm	
Medium	
Salzwasser 3,5 % NaCl	

Montageversuche mit Aufbau #1 „Mitdrehen ausgeschlossen“

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

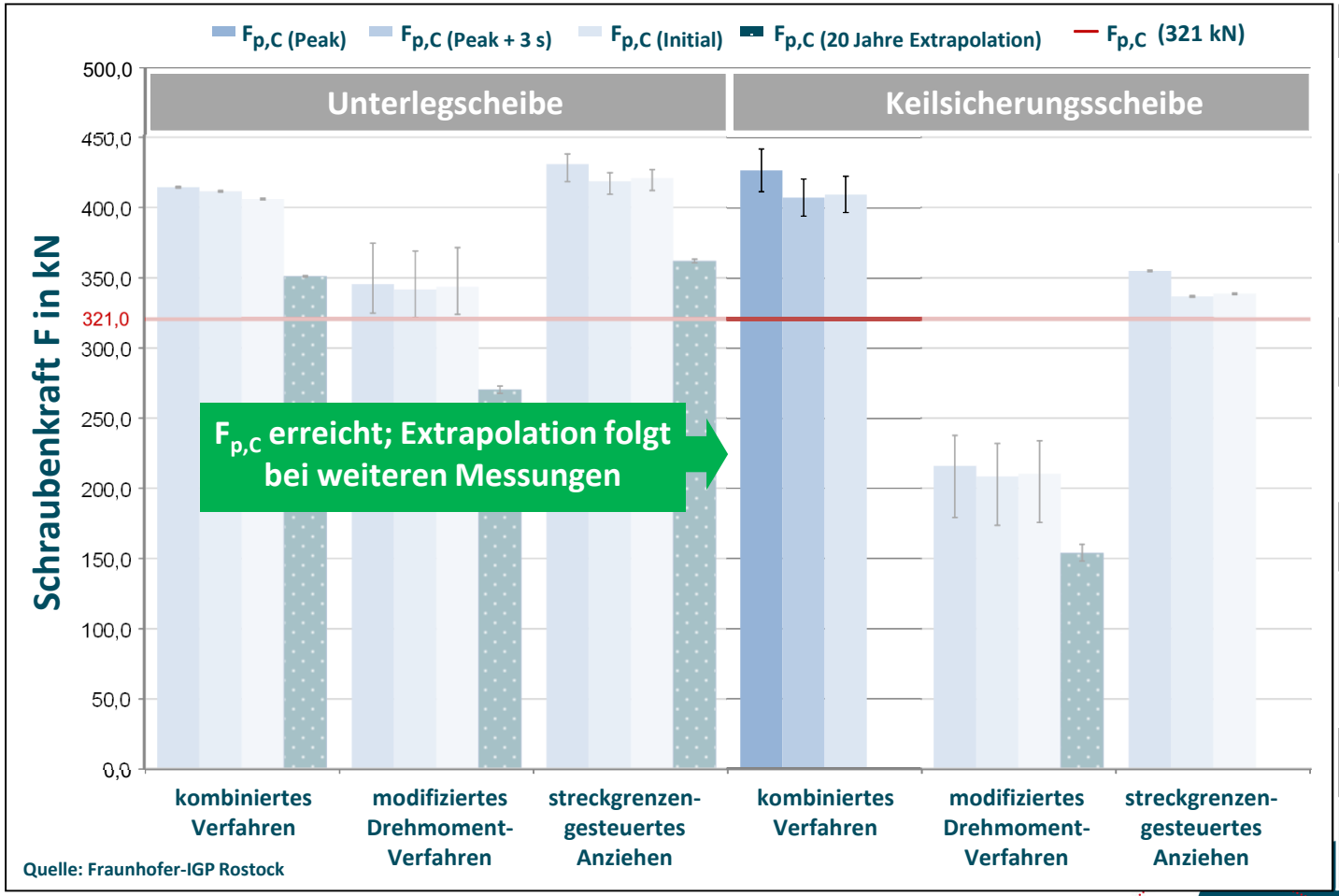


Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

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) $R_z \approx 100$ µm d ≈ 67 µm	
Medium	
Salzwasser 3,5 % NaCl	

Montageversuche mit Aufbau #1 „Mitdrehen ausgeschlossen“

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

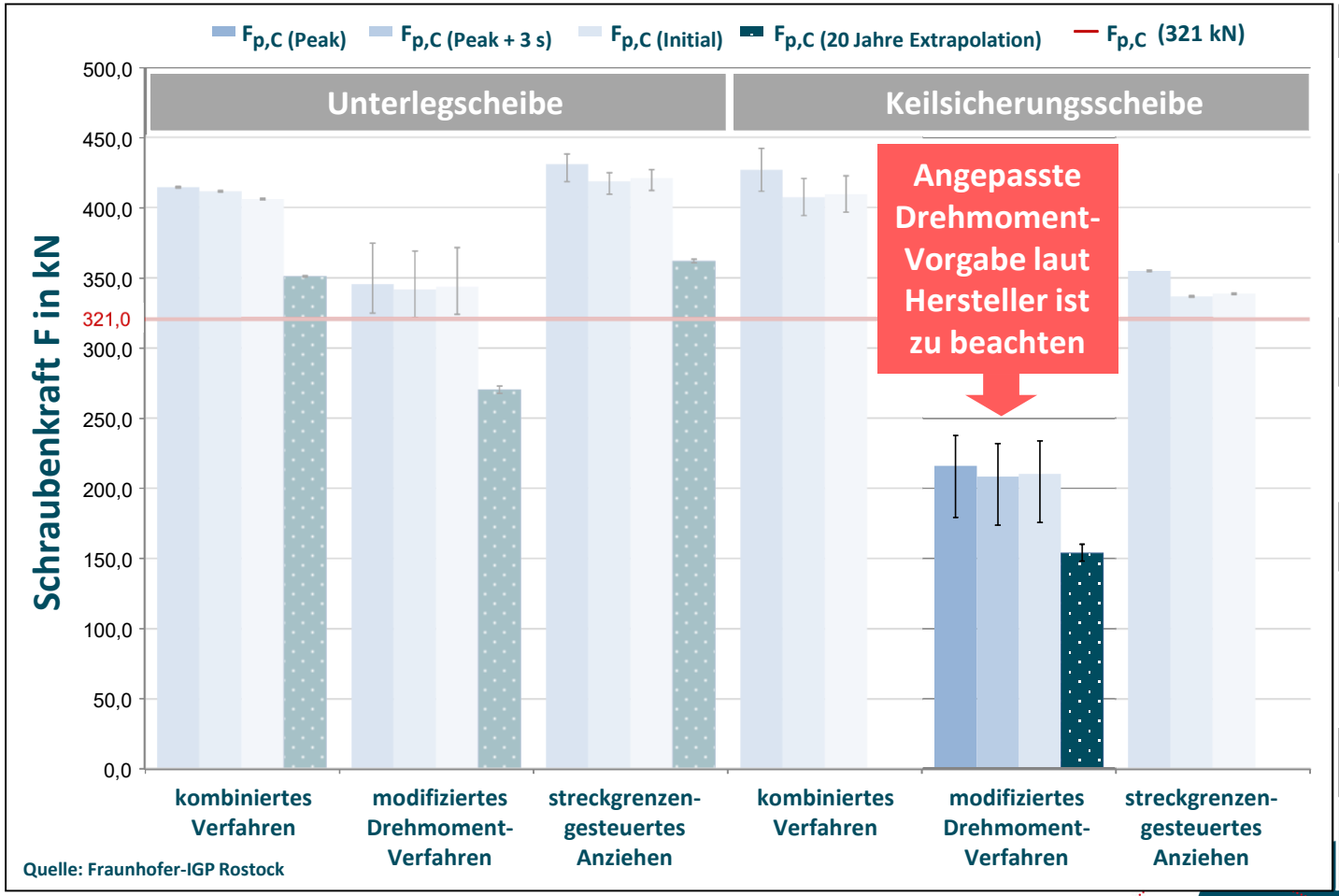


Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

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) $R_z \approx 100$ µm d ≈ 67 µm
Medium
Salzwasser 3,5 % NaCl

Montageversuche mit Aufbau #1 „Mitdrehen ausgeschlossen“

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

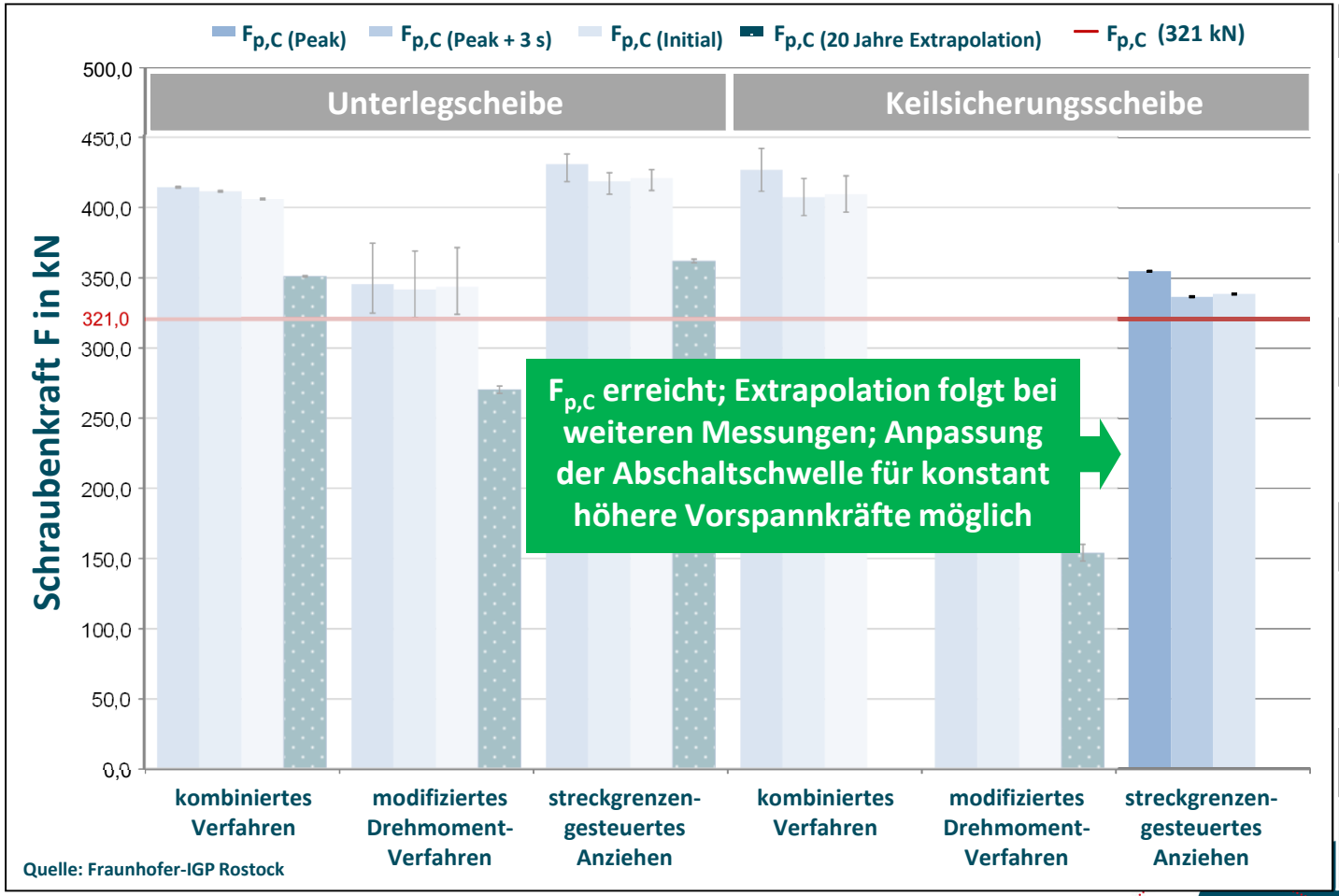


Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

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) $R_z \approx 100$ µm d ≈ 67 µm
Medium	
	Salzwasser 3,5 % NaCl

Montageversuche mit Aufbau #1 „Mitdrehen ausgeschlossen“

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

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) $R_z \approx 100$ µm d ≈ 67 µm
Medium	
	Salzwasser 3,5 % NaCl

Montageversuche mit Aufbau #1 „Mitdrehen ausgeschlossen“

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 Vorspannkräfte 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 Schrauben-verbindung deutlich reduziert.

Auszug aus Forschungsbericht:

Die gewonnenen Erkenntnisse sind im Folgenden zusammengefasst:
Die werksseitige Schmierung von Garnituren mit **Molybdändisulfid (MoS2)** scheint **für** einen **Unterwassereinsatz nicht geeignet**, da die Schmiereigenschaften von MoS2 unter Einfluss von Wasser erheblich degradieren. Mit der Montage unzureichend geschmierter HV-Garnituren gehen verschiedene Risiken einher:

Bei **drehmomentgesteuertem Anziehen** ist eine **deutliche Unterschreitung des Vorspannkraftbemessungswertes möglich**, ein selbsttätiges Lösen der Verbindungen kann infolge dessen und insbesondere unter zyklischer Belastung auftreten.
Die **drehmoment-drehwinkelgesteuerte Montage** führte zu deutlich höheren Vorspannkräften, birgt jedoch die **Gefahr einer Überbeanspruchung der Schraube** beim Anziehen.

Das **streckgrenzgesteuerte Verfahren** bietet den Vorteil, Schrauben durch rechtzeitigen Prozessstopp beim Anziehen nicht zu überlasten und **führte im Rahmen der Versuche zu Vorspannkräften oberhalb des Bemessungswertes trotz unzureichenden Reibverhältnissen** und teils ungenügender Sicherung gegen Mitdrehen.

Auszug aus Abschlussbericht:

In Anbetracht der unter Wasser unklaren Reibverhältnisse bei Schmierung der Garnituren mit MoS2 ist insbesondere die Einhaltung des Vorspannkraft-bemessungswertes bei **drehmomentgesteuerter Montage fragwürdig.**

Die Nutzung des **kombinierten Verfahrens** könnte hinsichtlich der besseren Ergebnisse unter regulären Bedingungen auch unter Wasser eine Option für eine zuverlässigere Montage sein, da sich die **winkelgesteuerte, überelastische Schraubmontage** durch einen geringen Reibungseinfluss auf die Höhe der erzeugten Vorspannkraft auszeichnet.

Darüber hinaus stellt das **streckgrenzgesteuerte Verfahren (SGA)** eine weitere Möglichkeit und im Falle unklarer Reibverhältnisse **eine vielversprechende Alternative zum Anziehen der Garnituren** dar (vgl. Kapitel 2.5.3.).

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	
August Friedberg GmbH	KWE-Ingenieurbüro
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

ANSPRECHPARTNER

Fraunhofer IGP
Albert-Einstein-Str. 30
18059 Rostock
Projektbearbeiter: Benjamin Ripsch, M.Sc. (SFI)
0381 49682-566 / benjamin.ripsch@igp.fraunhofer.de

TUD, Institut für Fertigungstechnik
Georg-Bähr-Str. 3c
01069 Dresden
Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Gregor Reschke
0351 463-34361 / gregor.reschke@tu-dresden.de

Förderhinweis

Die Untersuchungen erfolgten im IGF-Vorhaben 19.675 B „Qualifizierung eines Verfahrens zur Montage und vorspann-krafterhaltenden 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:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

28.04.2020

Quelle: Fraunhofer-IGP Rostock

Hochschule Offenburg
offenburg.university

ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

HYTORC

Prozesssicheres Verschrauben von Schraubverbindungen mit Lackschichten im Kraftfluss - Qualitätsabsicherung durch (hydraulisches) streckgrenzen-gesteuertes Anziehen von Schraubenverbindungen mit vollständig lackierten Bauteilen-Erfahrungen aus dem Maschinenbau

Betriebsfeste Auslegung, Gestaltung und Analyse hochfester Schraubenverbindungen sowie prozesssicheres Verschrauben vollständig lackierter Bauteile für Produkte und Anlagen mit sehr hohen Korrosionsschutzanforderungen

Ergebnis: 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

Durch die Versuche konnte gezeigt werden:

Das eine im Kraftfluss der Schraubenverbindung liegende organische Korrosionsschutzschicht trotz ihres nichtlinearen Kompressionsverhaltens, nicht zu einem Abbruch der streckgrenzengesteuerten Schraubmontage führt.

Durch die Auswertung des Drehmoment/Drehwinkelverlaufs lässt sich dieses Verfahren darüber hinaus als Analyse-Tool einsetzen. Somit lassen sich Montageparameter anderer Anzugsverfahren ermitteln und deren Prozesssicherheit im Vorfeld bewerten.

Die untersuchten Pulverlacksysteme zeigten sich in den Versuchen als deutlich widerstandsfähiger als die untersuchten Nasslacksysteme. Dies spiegelte sich sowohl in den Spannweiten der Anzugsdrehmomenten und -drehwinkeln, wie auch in den Verschleißbildern wieder.

Durch die Versuche konnte gezeigt werden:

Es ist demnach möglich, organische Korrosionsschutzschichten gezielt in die Kontaktfläche von Schraubenverbindungen einzubringen und je nach System, direkt auf dem Lack zu verschrauben.

Weiterhin unklar ist jedoch, wie sich die Lacksysteme auf den Erhalt der Vorspannkraft, vor allem in Hinblick auf dynamischen Belastungen und Temperaturwechsel, auswirken.

Hierzu werden zur Zeit weiterführende Untersuchungen an der Hochschule Offenburg in einem IGF-Projekt in Zusammenarbeit mit der Forschungsvereinigung Bau- und Baustoffmaschinen e.V. (FVB) durchgeführt:

„Ermittlung von Setzbeträgen organischer Beschichtungen im Kraftfluss von Schraubenverbindungen unter besonderer Berücksichtigung von Einzelschichtstärken, sowie des Temperatureinflusses“

Gesamtergebnisse werden voraussichtlich Ende Februar 2022 Veröffentlicht.

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

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 Krailling, 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:

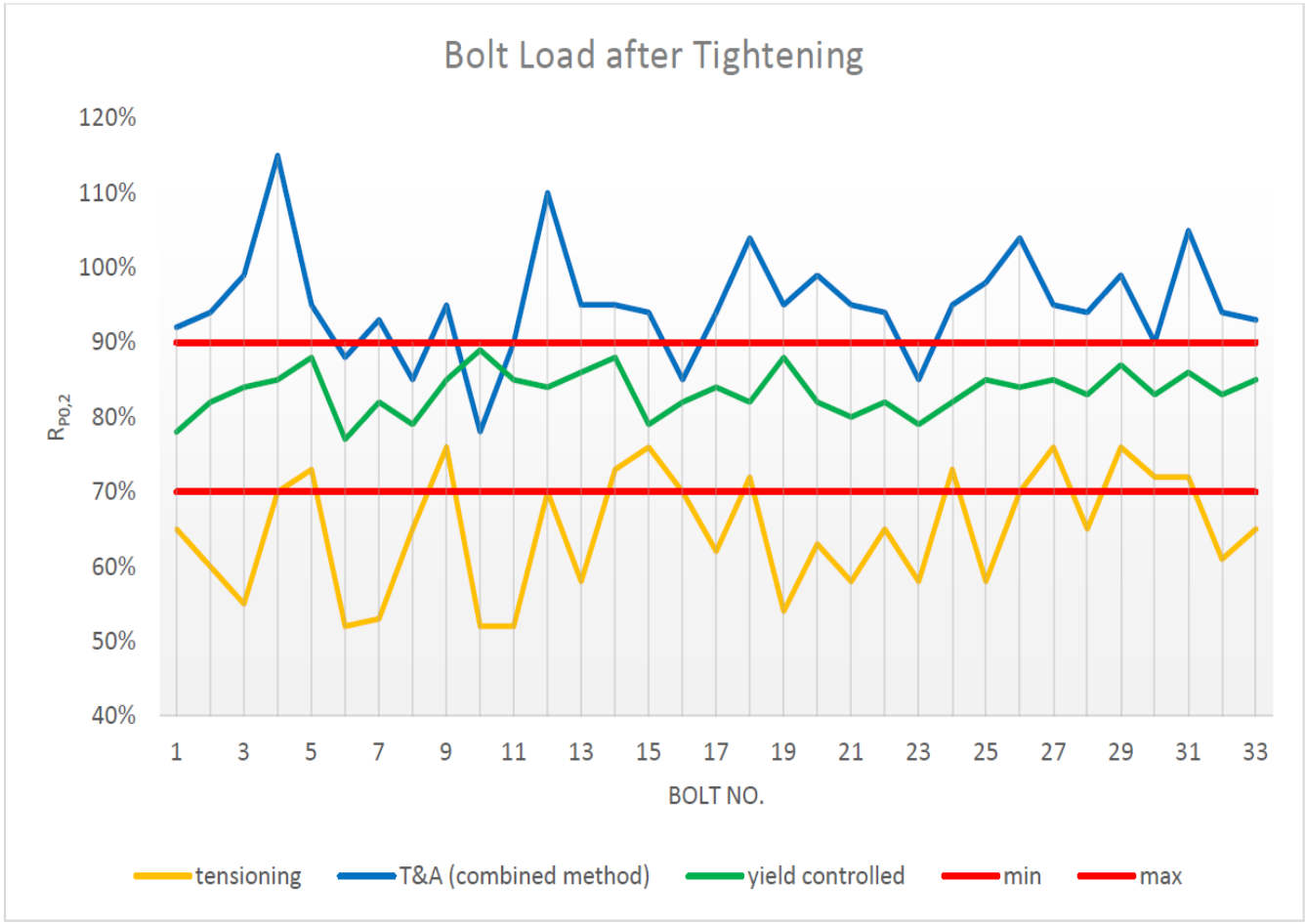
- Verification of the Type Approval applicant's production and quality system w.r.t. ensuring continued consistent production of the Type Approved products at the Type Approval applicant's own premises and at other companies that are given the responsibility for manufacturing of the products.
- Review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

hydraulisches streckgrenzgesteuertes Anziehverfahren (SGA) – Untersuchungen mit dem DNV-GL Hamburg - JIP

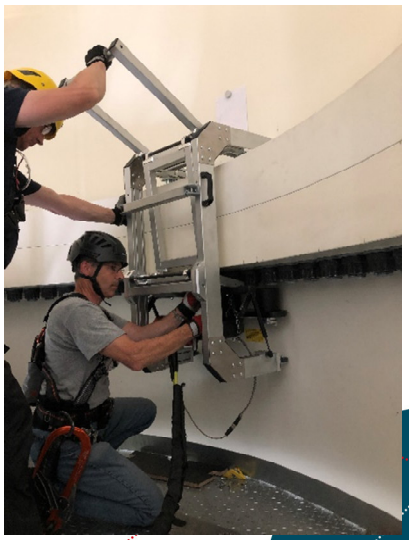
untersuchter Anwendungfall:
Original **TP/MP Sektion**
Verschraubung **M72**.
Gesamtanzahl der Schraubverbindungen: 128 Stück
davon 64 Stück M72-HV-10.9
sowie 64 Stück ISO M72-10.9 Gewindestangen
Flanschdicke ist jeweils 180mm = Klemmlänge 360mm
Durchmesser des Flansches: 6.500mm
Erlaubte Flanschspalte (Innen) 1,0-7,0mm
Die Vorspannkraft soll auf 80% der Streckgrenze oberer Wert angezogen werden, welche sich knapp unter 2.500kN beläuft.
Der untere Wert soll sich zwischen 63 -70% der Streckgrenze befinden wie im Regelwerk vorgegeben.

hydraulisches streckgrenzgesteuertes Anziehverfahren (SGA) – Untersuchungen mit dem DNV-GL Hamburg - JIP



„Bei allen unseren Arbeiten an den Mobil- und Raupenkranen stellen wir einen sehr hohen Anspruch an die Qualität unserer Schraubverbindungen. Um dies zu gewährleisten, setzen wir für unsere Schraubprozesse nur hochwertige Werkzeuge und geeignete Schraubverfahren ein. Ein besonderes Augenmerk legen wir dabei auf alle unseren **sicherheitsrelevanten Verschraubungen**, **zu welchen auch der Drehkranz** zählt. Alle Arbeiten werden automatisiert, überwacht und dokumentiert durchgeführt, um für unsere Kunden ein Höchstmaß an Sicherheit zu gewährleisten.
Die durchgeführten Arbeiten mit der **neuen Eco2Touch** an unserem Drehkranz haben uns überzeugt. Die Bedienung des neuen Systems ist sehr intuitiv und einfach, es verfügt über eine visuelle Schraubprozessdarstellung, erlaubt schnellere Arbeitsprozesse und ermöglicht eine hohe Flexibilität beim Arbeiten in unterschiedlichsten Drehmomentbereichen.
Die Erkennung von Materialproblemen ist durch den überwachten Schraubprozess **gewährleistet und somit ein Maximum an Sicherheit gegeben**, worauf wir beim Liebherr-Kundenservice großen Wert legen.
Seit wir 2007 auf das streckgrenzengesteuerte Verfahren von Smarttorc **umgestellt haben, wurden ca. 300.000 Schrauben angezogen und wir hatten keinerlei Ausfälle mehr an diesen Verbindungen**. Mit diesem Schraubverfahren sind wir in der Lage, unsere Kunden optimal zu bedienen und unsere Liebherr-Geräte auf dem bestmöglichen Stand der Technik zu halten.
Smarttorc und HYTORC bieten uns schon seit vielen Jahren gemeinsam einen erstklassigen Support, hervorragende Erreichbarkeit, Kundennähe und innovative Lösungen für unsere Aufgabenstellungen. Das neue intelligente Schraubsystem zeigt, dass unsere Anforderungen, Wünsche sowie Anregungen aufgenommen und auch umgesetzt werden.“
Gerd Spankowski
LIEBHERR-Werk Ehingen GmbH
Niederlassungsleiter Oberhausen
im Januar 2015

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
eMail: info@hytorc.de

www.anziehverfahren.de
www.hytorc.de
www.vt-forum.de