



Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Analyse der Leistungsfähigkeit von Schraubenverbindungen mit lackierten Bauteilen

Schraubenfachtagung Hochschule Offenburg

13.09.2016



Agenda

Agenda – Strukturierung des Vortrages

- Ausgangssituation
- Stand von Normen und Richtlinien
- Problematik –
Schraubenverbindungen mit lackierten Bauteilen
inkl. Thema und Abgrenzung
- Referenzanwendungsfall Mobilkran Kugeldrehkranz
- Versuche und Ergebnisse
- Zusammenfassung und Ausblick

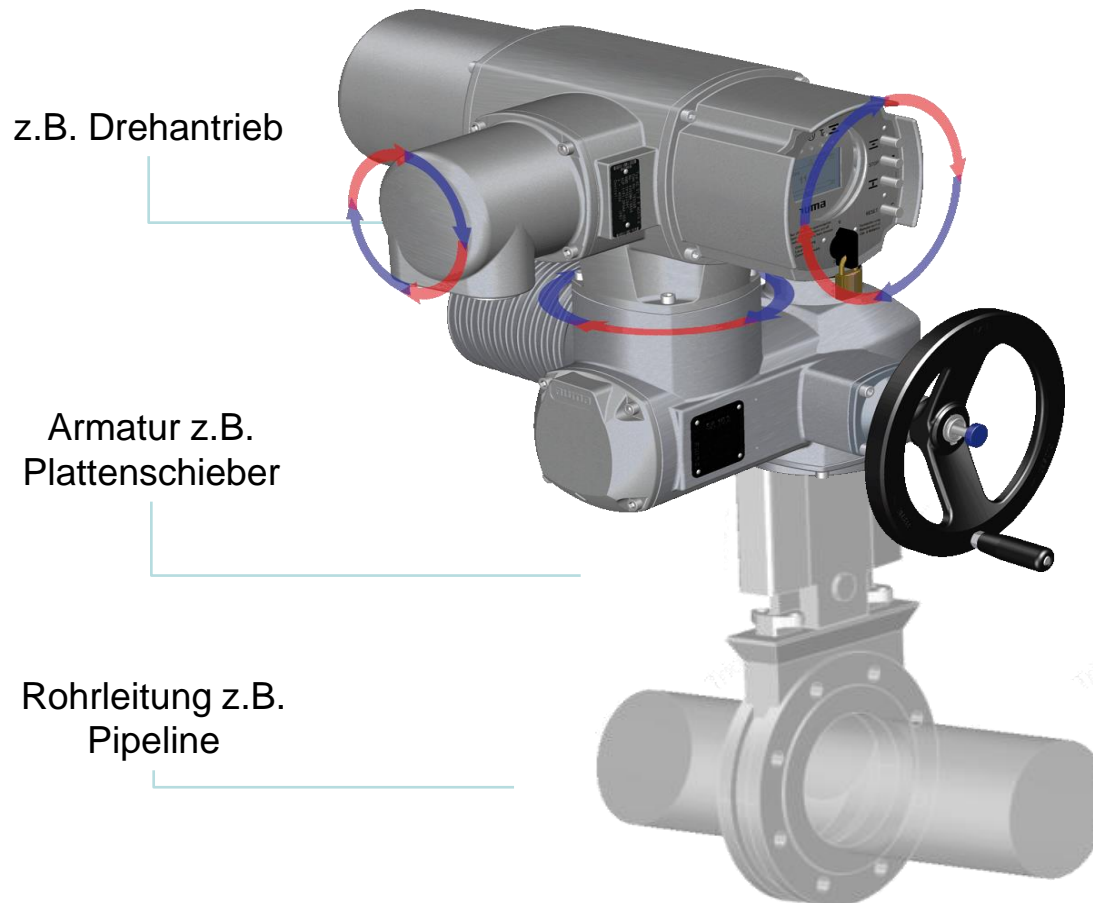


Ausgangssituation

AUMA Stellantriebe

Praxisbericht - Industriearmaturen

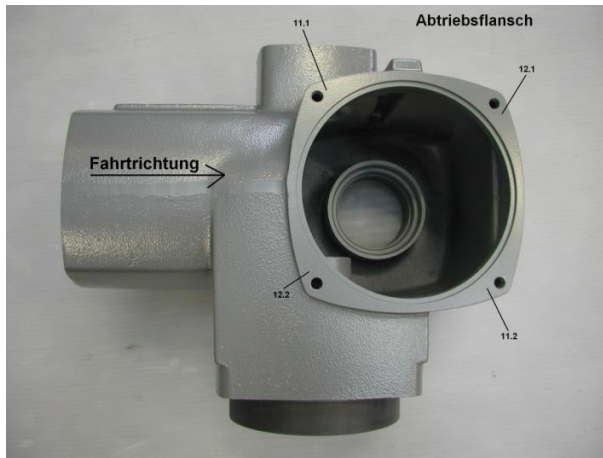
AUMA automatisiert Armaturen mit Stellantrieben



Montage mit lackierten Einzelteilen und Baugruppen



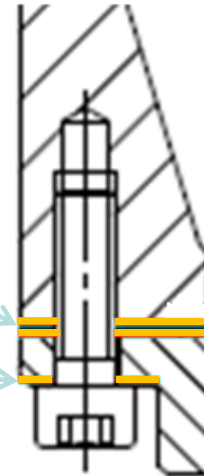
Herausforderung: Pulverlack in der Schraubverbindung



Wie verhält sich der Pulverlack?

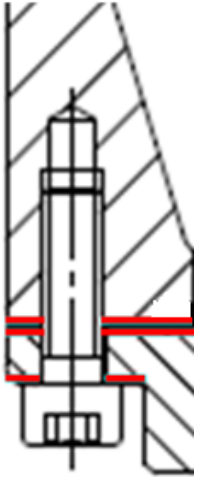
2 Pulverlackschichten in
der Trennfuge

Pulverlackschicht unter dem
Schraubenkopf



Pulverlack	Grundlack	Decklack
Schichtdicke je Pulverlackschicht	60 μm – 80 μm	60 μm – 80 μm
Gesamtschichtdicke je Pulverlackschicht	120 μm – 160 μm	
Gesamtschichtdicke in Schraubverbindung	360 μm – 480 μm	

Herausforderung – Lack im Kraftfluss



Warum ist dies eine Herausforderung?

M 24 x 3; 10.9; 100 mm Klemmlänge

Anzug auf 90% Streckgrenze.

Wie sehr längt sich dabei die Schraube?

Was hat die Längung der Schraube mit der Gesamtschichtstärke im Kraftfluss zu tun?

Worin genau besteht das technische Risiko?

Wie?



Stand von Normen und Richtlinien

Fazit bzgl. Normen und Richtlinien

DIN EN ISO 12944

- **„Ein Beschichtungsstoff ... darf auf die Reibfläche aufgetragen werden.“**
- vorausgesetzt:
- **„mit einem geeigneten Reibbeiwert“**
- **... es „sind Beschichtungssysteme zu verwenden, die nicht zu einer unzulässigen Abnahme der Vorspannung führen.“**
- **„Schrauben, Muttern und Unterlegscheiben sind so gegen Korrosion zu schützen, daß die Schutzdauer der des Korrosionsschutzes für das Bauwerk entspricht.“**

DIN EN 1090-2:

- **Verlust der Vorspannkraft $\leq 10\%$ Geeignet für Verbindungen mit Zug und Schubbeanspruchung. **Info:** Anzug drehmomentgesteuert auf 70% Re.**
- Verlust der Vorspannkraft $\leq 30\%$ Geeignet für Verbindungen mit Schubbeanspruchung.

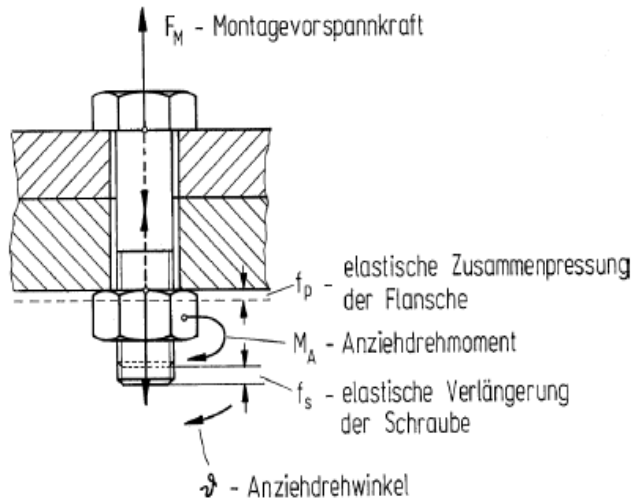
VDI 2230:

- **Organische Beschichtungen mit integrierten Festschmierstoff oder Wachsdispersion sind der Reibzahlklasse B (0,08 bis 0,16) zuzuordnen.**
Gleitlacke, Trockenschmierstoffe.



Problematik– Schraubenverbindungen, Vorspannkraft, lackierte Bauteile, Leistungsfähigkeit

Vorspannkraft in ausreichender Höhe erzeugt den Kraftfluss. Gleiten wird durch Reibschluss vermieden.

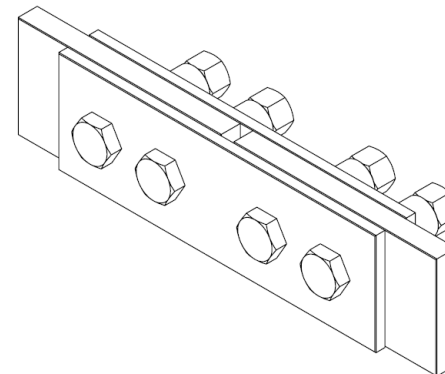
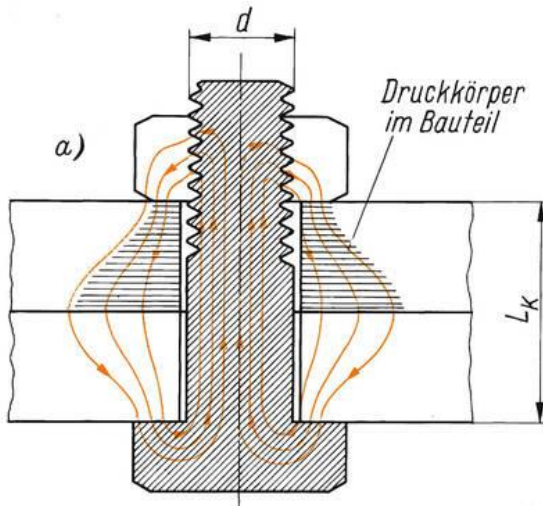


In der Montage wird die Vorspannkraft F_M und somit der Kraftfluss erzeugt.

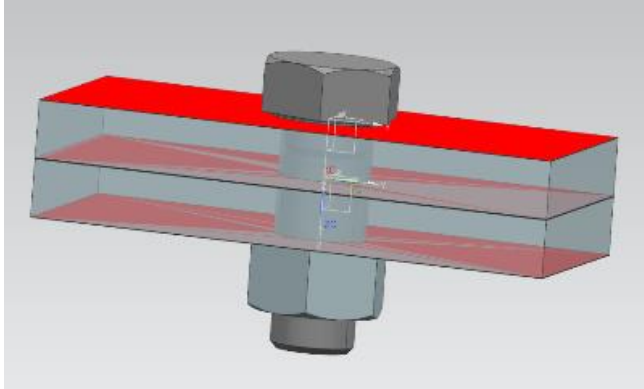
$$F_M = \frac{M}{\left(0,16 \times P + 0,58 \times d_2 \times \mu_{th} + \frac{D_{Km}}{2} \mu_b\right)}$$

Betriebssicherheit verlangt:

Mindestvorspannkraft oder Mindestklemmkraft muss gewährleistet sein, damit **kein Gleiten in der Trennfuge** entsteht. Sonst Folgeschäden und Versagen der Verbindung.



Korrosionsschutz - Lackierte Bauteile – Lackschicht in die Reibfläche – Wirkprinzip beeinflusst – Wirkung fraglich



Wie? - Im Maschinenbau und Fahrzeugbau „normativ“ nicht eindeutig geregelt.

Richtlinie VDI 2230 enthält sich.

DIN EN 13001-4 in Entstehung, k. A.

Stahlbau:

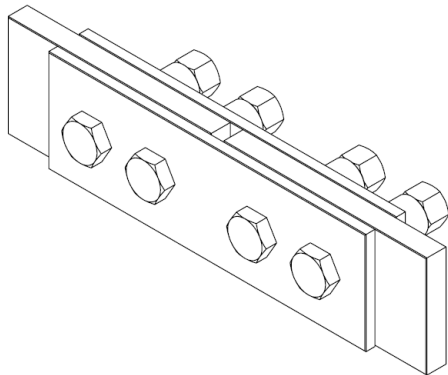
DIN EN ISO 12944 – verlangt es...

DIN EN 1090-2 - regelt es... StBau spezifisch.

Praxis:

Unsicherheiten führen zu Maskierungen und zum Risiko: Wasserstoffversprödung.

Hochfeste Schrauben: 12.9 – 16.8



Folge:





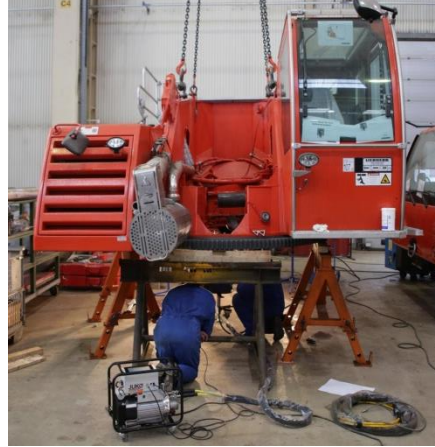
Referenzanwendungsfall

LIEBHERR Mobilkran – Drehkranz

Verbindung von Oberwagen zu Unterwagen

Analoge Problemstellung Liebherr – Mobilkräne

Drehkranz-Verschraubung



Anhand des Referenz-Anwendungsfalles galt es die Entwicklung, die Optimierung sowie den Fähigkeitsnachweis bzgl.:

- eines **sicheren Schraubmontageprozesses unter Anwendung des streckgrenzengesteuerten Anziehverfahrens (Gradientenverfahren)**;
- **geeigneter Lacksysteme hinsichtlich Vorspannkraftverlust, Reibung und Korrosionsschutz**

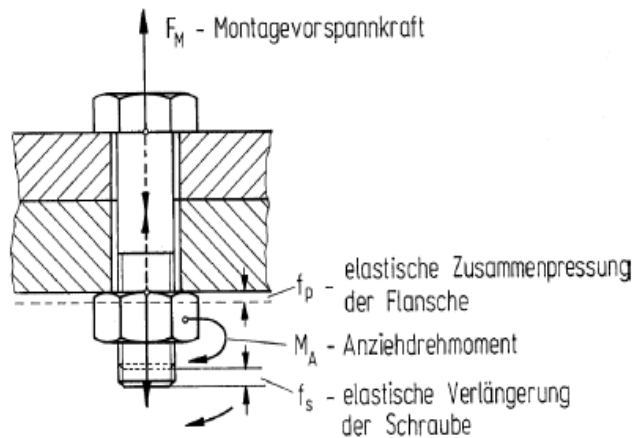
zu erbringen.



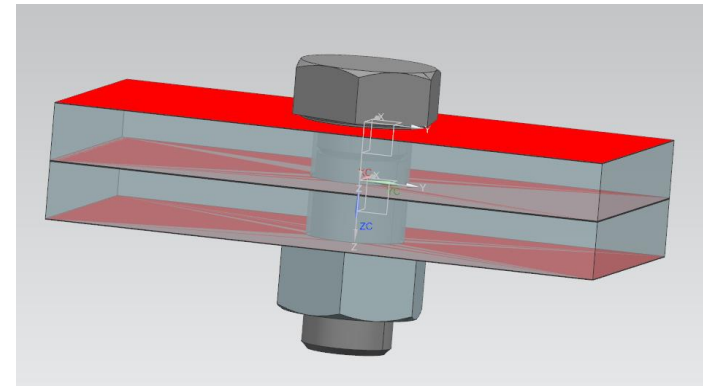
Schraubmontageprozess unter Anwendung des streckgrenzengesteuerten Anziehverfahrens (Gradientenverfahren)

Schraubmontage mit lackierten Bauteilen

- Die Montagevorspannkraft erfüllt die Funktion einer Schraubenverbindung, zwei oder mehr Bauteile so zu verbinden, dass sie wie ein Ganzes wirken.
- Korrosionsschutzlacke beeinflussen** die Schraubmontage und deren Ergebnisse entscheidend,
- insbesondere im Hinblick auf **Reibung**, erforderliche **Drehmomente und Drehwinkel**, das sich ergebende Setzverhalten **sowie** die effektiv **resultierende Montagevorspannkraft**.



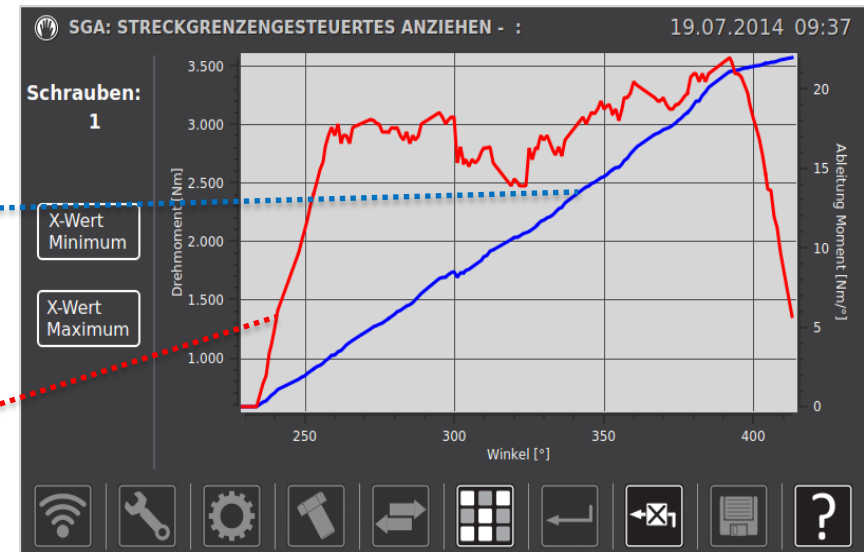
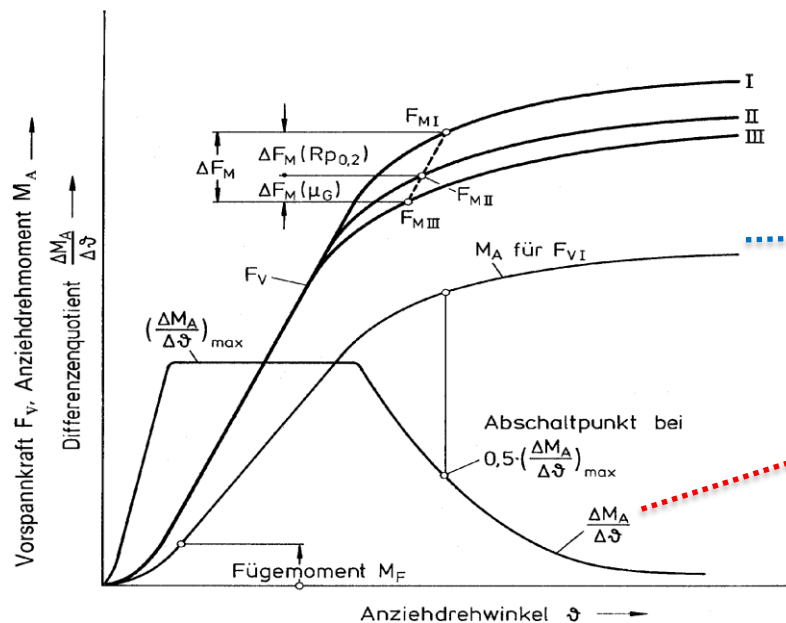
Quelle: Kloos, K.-H.; Thomala, W.: Schraubenverbindungen, Kap. 8



Quelle: Eigendarstellung Hochschule Offenburg

Streckgrenzgesteuerte Schraubmontage via Gradientensteuerung

- **Ziel: Maximale Nutzung der Leistungsfähigkeit der Schraubverbindung.**
- **Streckgrenzgesteuertes Anziehen** der Schraubverbindung bis zur plastischen Verformung der Schraube
- Die **Reibung in der Kopfauflage hat keinen negativen Einfluss** auf das Prozessergebnis der Vorspannkraft.
- **Materialprobleme**, Oberflächenprobleme und Prozessprobleme können frühzeitig erkannt werden.- **Analysetool.**



Quelle: Praxisdaten SGA – Fa. Juko Technik GmbH (Smartorc)

Quelle: Kloos, K.-H.; Thomala, W.: Schraubverbindungen, Kap. 8



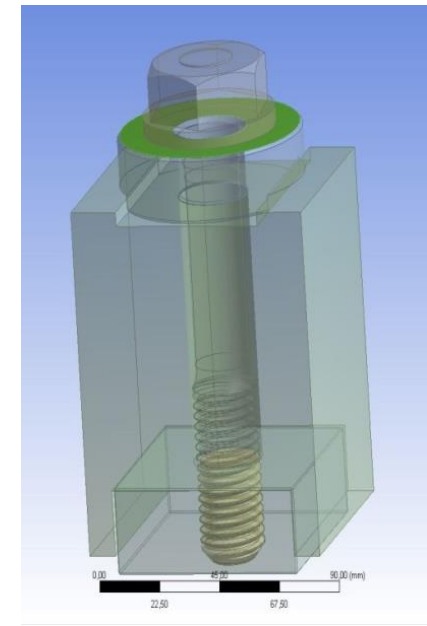
Eco2Touch - Schraubmontageversuche im Labor

Realitätsnaher Versuchsaufbau

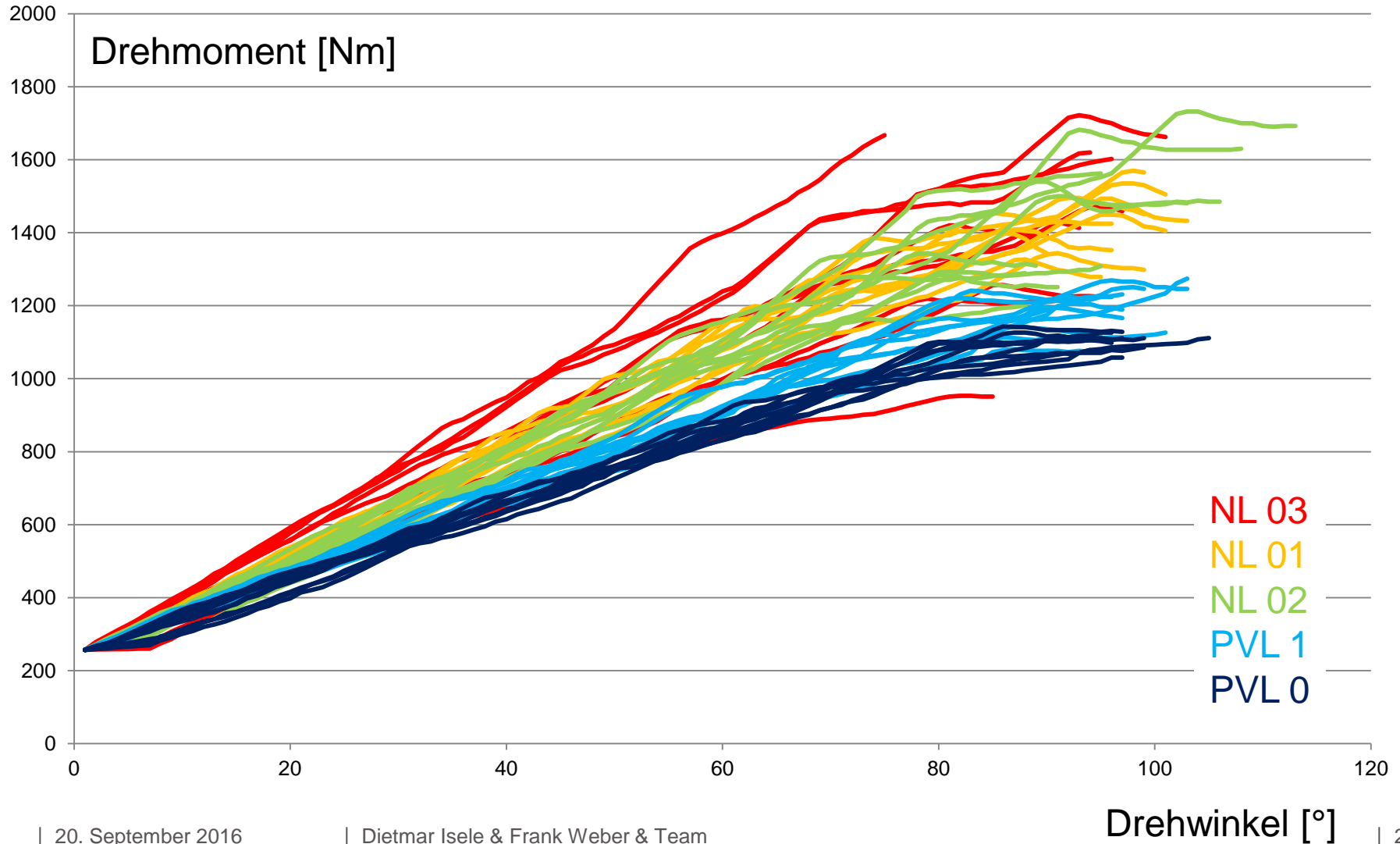


- Das Anziehen der Verbindungen erfolgte mit der Eco2Touch von JUKO Technik und dem Werkzeug Avanti 1 von Hytorc (max.1780 Nm)
- **Fünf verschiedene Lackschichten mit jeweils 10 Prüfkörpern somit insgesamt 50 Prüfkörper im Vergleich zu unlackierten Bauteilen.**
- Die Bezeichnungen der Beschichtungen lauteten:

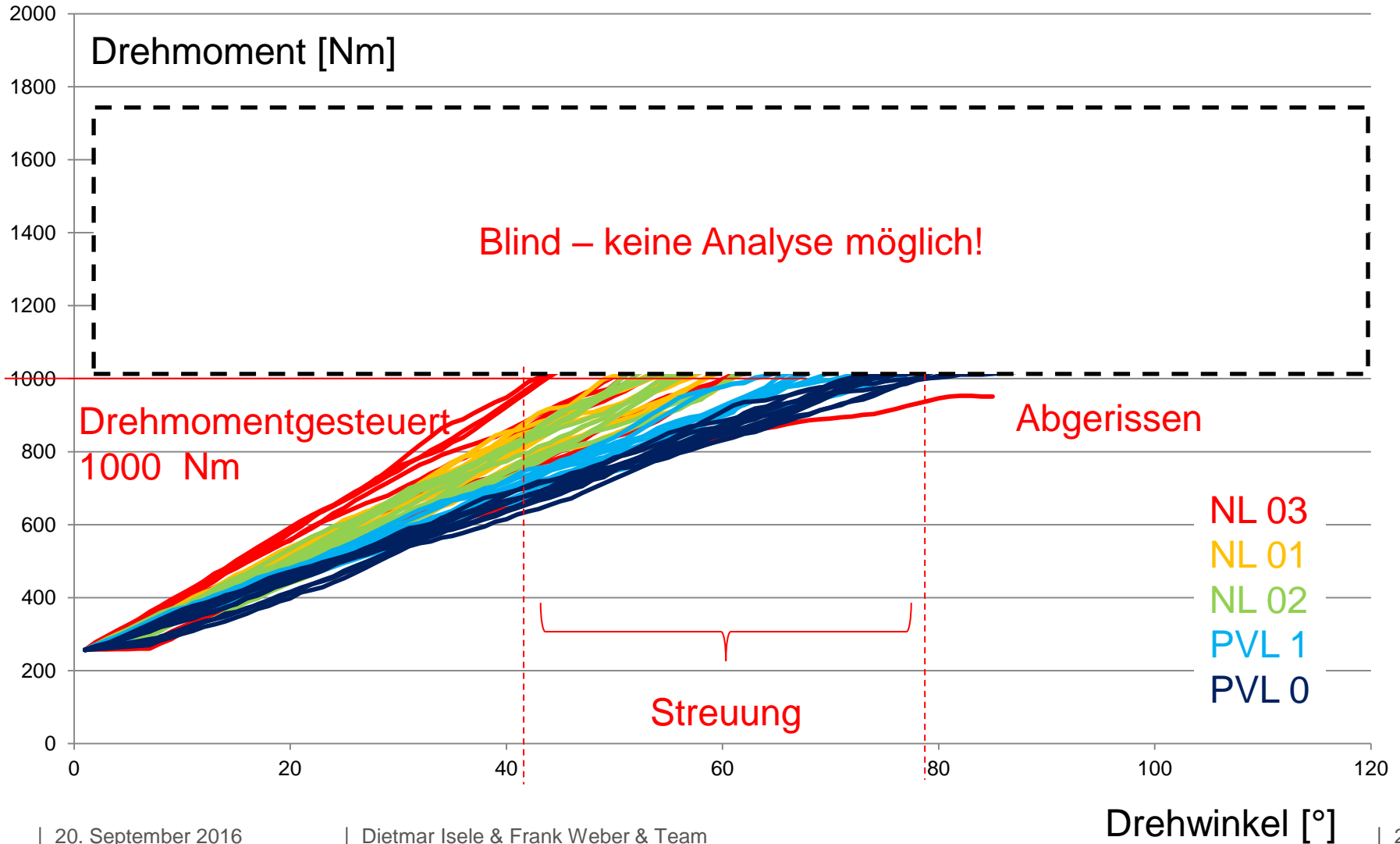
- PVL-0
 - PVL-1
 - NL 01
 - NL 02
 - NL 03
- } Pulverlacke
- } Nasslacke



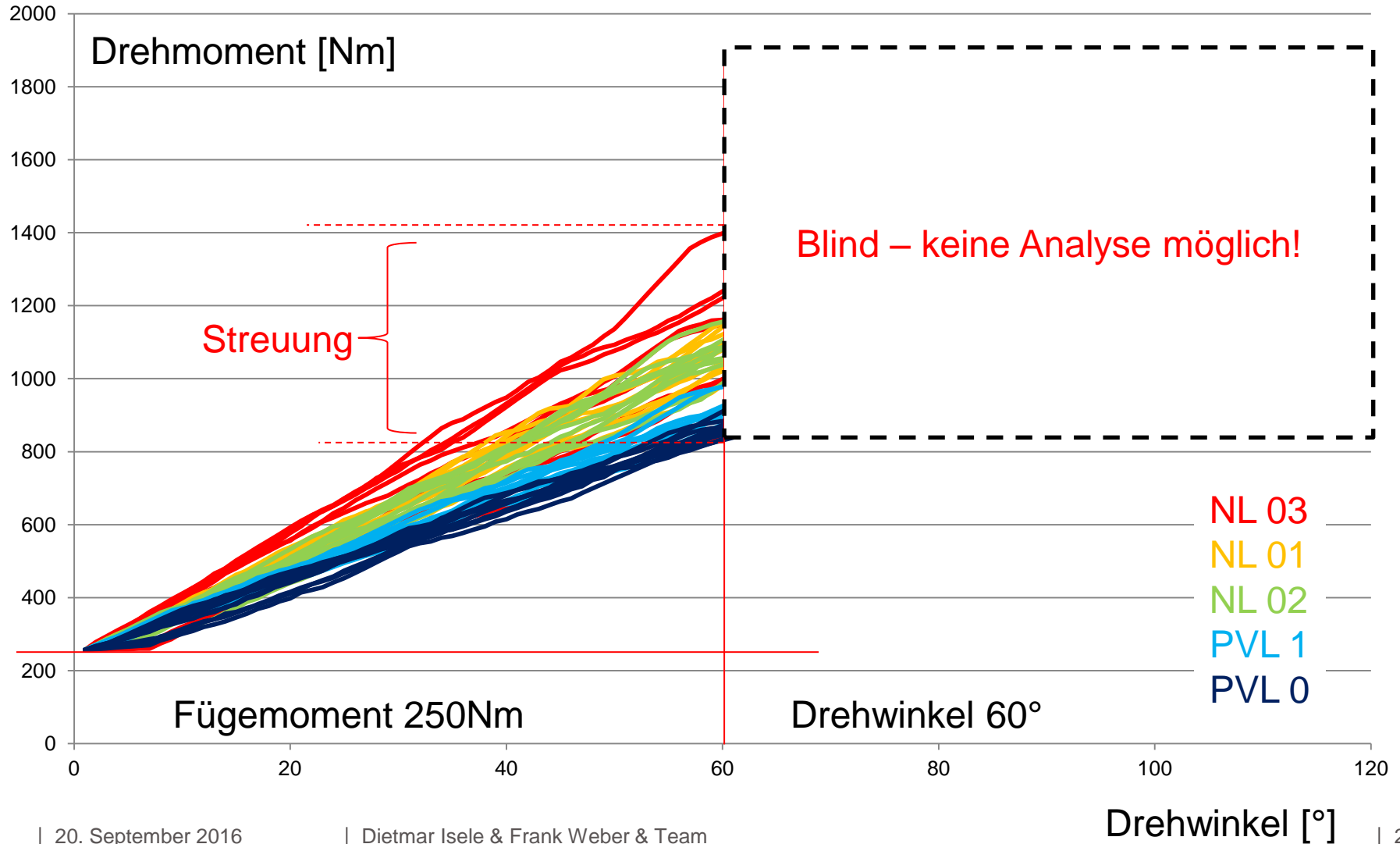
Vergleich der Drehmoment-Drehwinkel-Kurven verschiedener Lackschichten



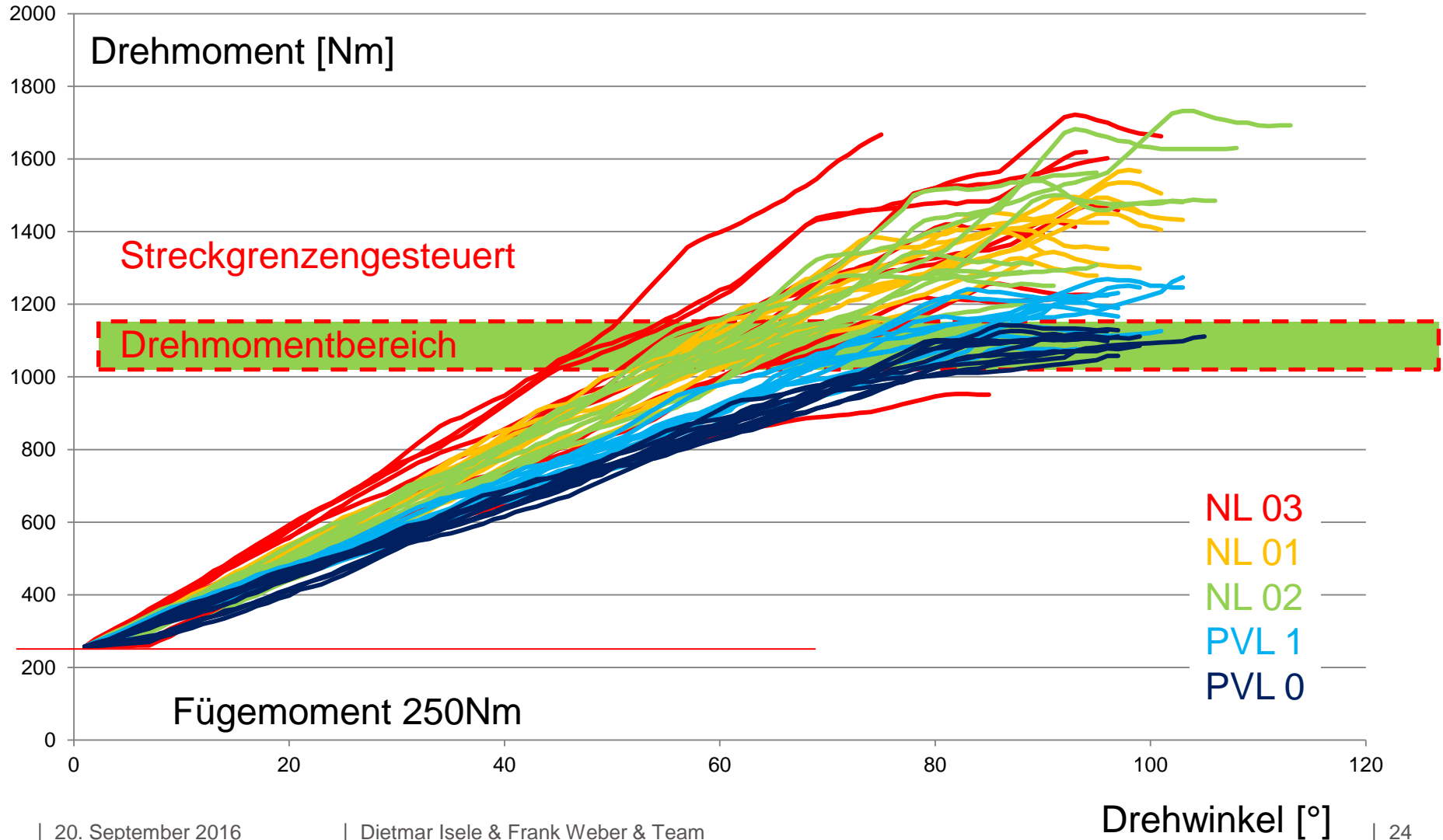
Vergleich der Drehmoment-Drehwinkel-Kurven verschiedener Lackschichten



Vergleich der Drehmoment-Drehwinkel-Kurven verschiedener Lackschichten



Vergleich der Drehmoment-Drehwinkel-Kurven verschiedener Lackschichten



Ergebnisse der Schraubmontageversuche

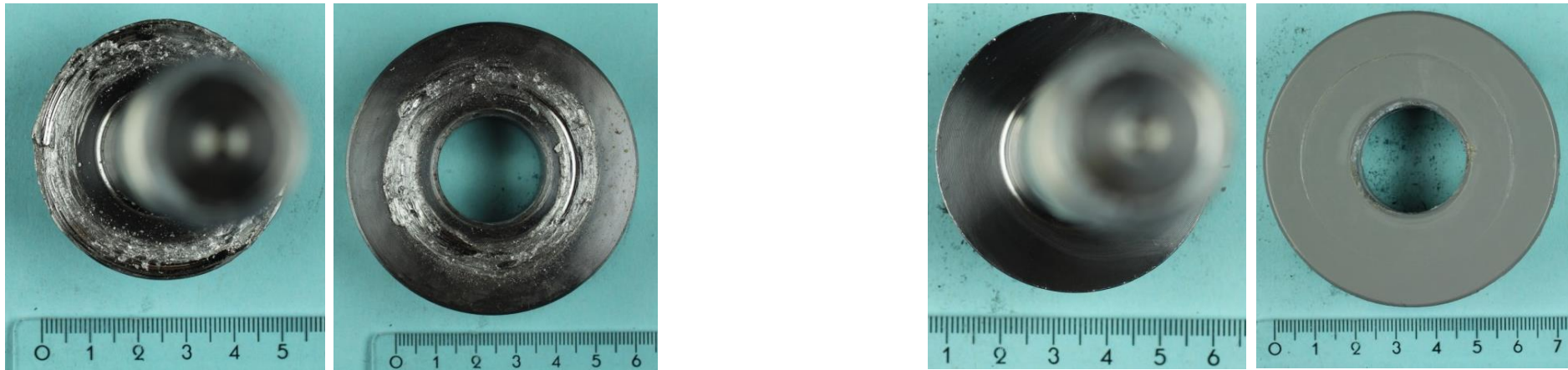
- Die **Eco2Touch ist** durch Anwendung des streckgrenzengesteuerten Anzugverfahrens **in der Lage beliebige Schraubverbindungen bzgl. Ihres möglichen Potentials zu analysieren**
- Die Eco2Touch von JUKO Technik ist in Verbindung mit dem Hytorc Werkzeug in der Lage, Schraubenverbindungen mit den analysierten Lackschichten im Kraftfluss **wiederholgenau streckgrenzengesteuert anzuziehen**
- **Die untersuchten Lackschichten unterscheiden sich zum Teil erheblich in der Neigung zur Abrasion und dem Reibwert**





Vorauswahl von Lacksystemen

Vergleich der Extreme – Unterschiede nur in der Kopfauflage

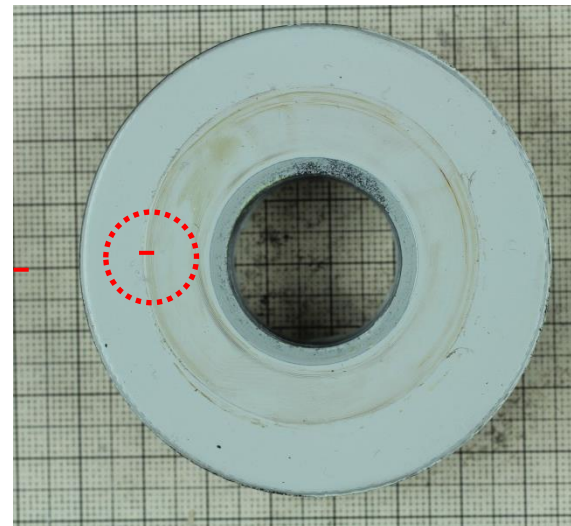
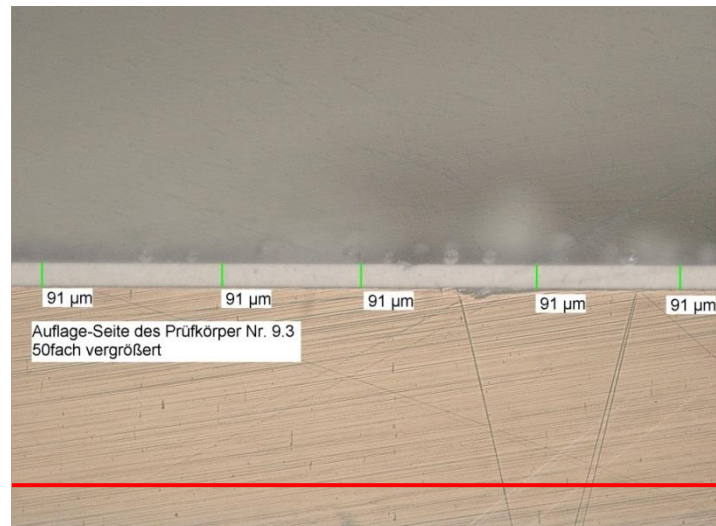
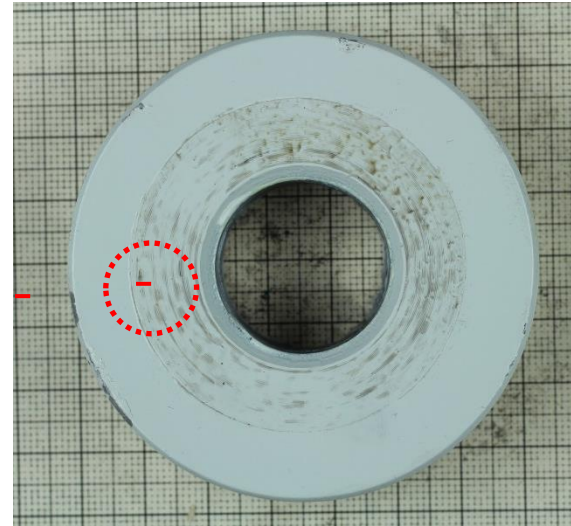


	F _{75%F_p} kN	T _{75%F_p} Nm	T _{th 75%F_p} Nm	T _{b 75%F_p} Nm	Wkl _{75%F_p} °	μ _{tot 75%F_p}	μ _{th 75%F_p}	μ _{b 75%F_p}	F _F -Streckgrenze kN	T _F -Streckgrenze Nm	Wkl _F -Streckgrenze °
2.1	221,16	2344,14	323,19	2020,96	173,00	0,31	0,08	0,46	327,95	4367,94	61,00
7.1	220,52	473,52	326,96	146,56	156,00	0,05	0,08	0,03	328,05	704,11	56,00
Range	0,64	1870,62	3,77	1874,40	17,00	0,26	0,00	0,43	0,10	3663,83	5,00

DIN EN ISO 16047:2013-01 Kapitel 10 Versuchsauswertung: „Wenn nicht anders vereinbart, muss die Bestimmung bei einem Vorspannkraftniveau erfolgen, das 75 % der Prüfkraft (0,75 F_p) des Referenzteiles oder des Prüfteiles beträgt, wobei der kleinere Wert gilt.“
 Prüfkraft F_p=293kN (siehe DIN EN ISO 898-1:2013-05 Tabelle 5)

Im Ergebnis eindeutig: Rechts Bauteil i. O., Schraube i. O.
Verschleißschutz und Korrosionsschutz gegeben!

Lackschichten trotz Streckgrenze bei 320kN unzerstört



Besonderheit:
Prüflinge via
M24-10.9
Drehkranz-
schraube auf
Re angezogen;
60min bzgl.
Vorspannkraftrela-
xation gehalten
und wieder
geöffnet.

Ergo:
i.d.R.
Lackschicht
unzerstört.

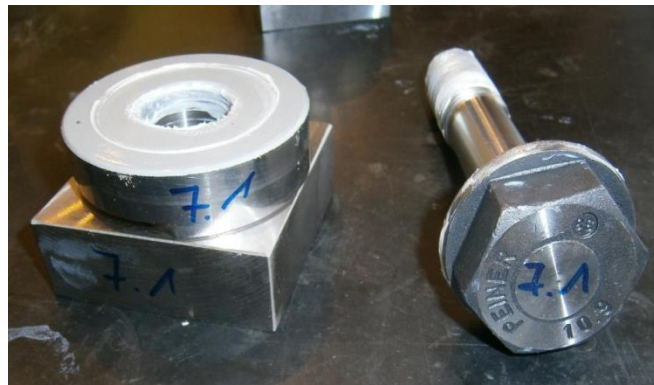
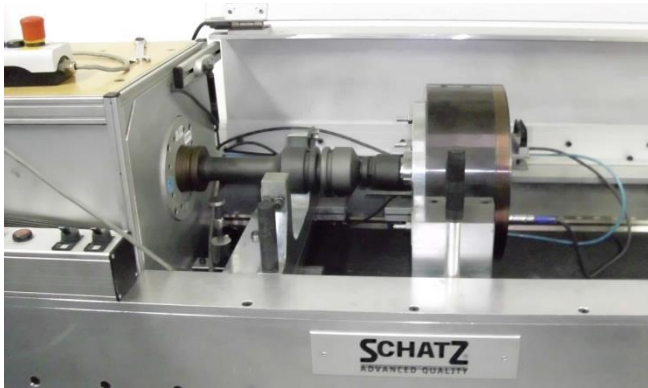
Schliffbilder der
Schraubenkopfauflage
Prüfling: Oben 7.1 – ER 1936 sowie
Unten: 9.3 – PVL 1

Ermittlung von Kopf- und Gewindereibung nach ISO 16047

Lackiert, Gewinde und Kopf geschmiert Nr	$F_{75\% F_p}$ kN	$T_{75\% F_p}$ Nm	$T_{th 75\% F_p}$ Nm	$T_b 75\% F_p$ Nm	$Wkl_{75\% F_p}$ °	$\mu_{tot 75\% F_p}$	$\mu_{th 75\% F_p}$
7.1	220,52	473,52	326,96	146,56	156,00	0,05	0,08

μ_{th} : Reibkoeffizient Gewinde
 μ_{tot} : Reibkoeffizient gesamt
 μ_b : Reibkoeffizient Kopf

Lackiert, Gewinde und Kopf geschmiert Nr	$\mu_b 75\% F_p$	$F_{F\text{-Streckgrenze}}$ kN	$T_{F\text{-Streckgrenze}}$ Nm	$Wkl_{F\text{-Streckgrenze}}$ °
7.1	0,03	328,05	704,11	56,00



Reibungskoeffizient in der Kopfauflage μ_b :

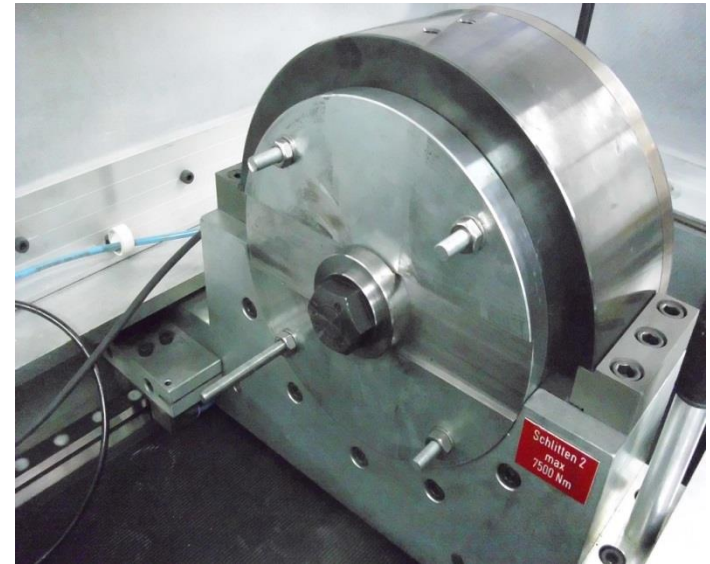
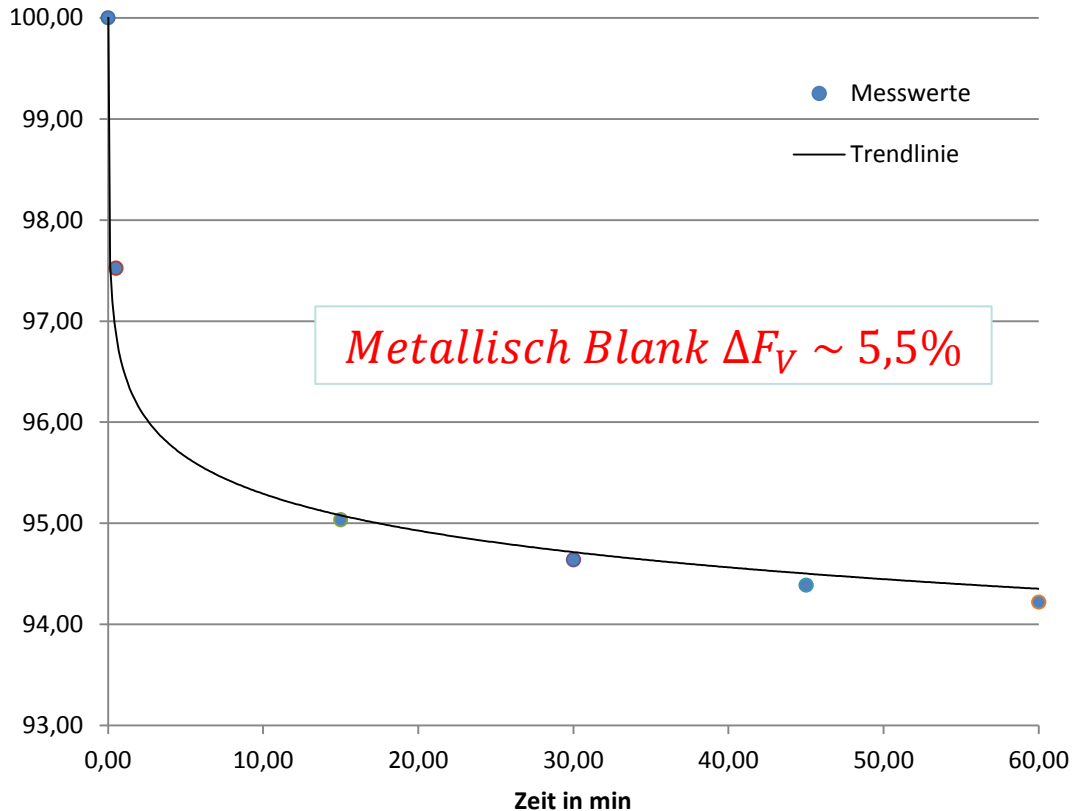
- μ_b max bei NL 03 : $\mu_b = 0,14$
- μ_b min bei PVL 1: $\mu_b = 0,05$
- Range = 0,09

Hinweis:

- Geschmierter Kopf und metallisch blankes Bauteil haben denselben Koeffizienten wie ungeschmierter Kopf und mit PVL-1 lackiertes Bauteil: $\mu_b=0,05$

Vortrag Morgen !

Prozentualer Vorspannkraftverlust über 60 min bei RT



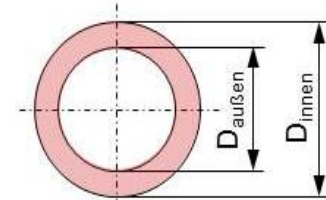
Die Untersuchung erfolgte an 50 lackierten Kopfaufbauteilen mit Schrauben M24 der Festigkeit 10.9. Die Messwerte sind arithmetisch gemittelte Werte.



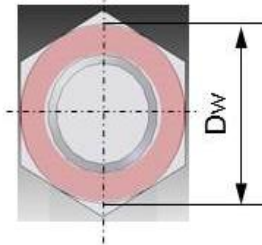
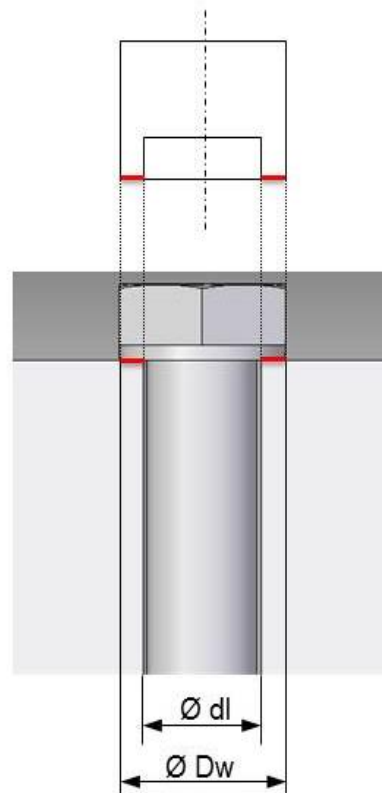
Vorspannkraftverlustversuche im Labor – p , t , T

Grundprinzip Kopfauflagefläche via Stempel abgebildet

Stempel (Model)



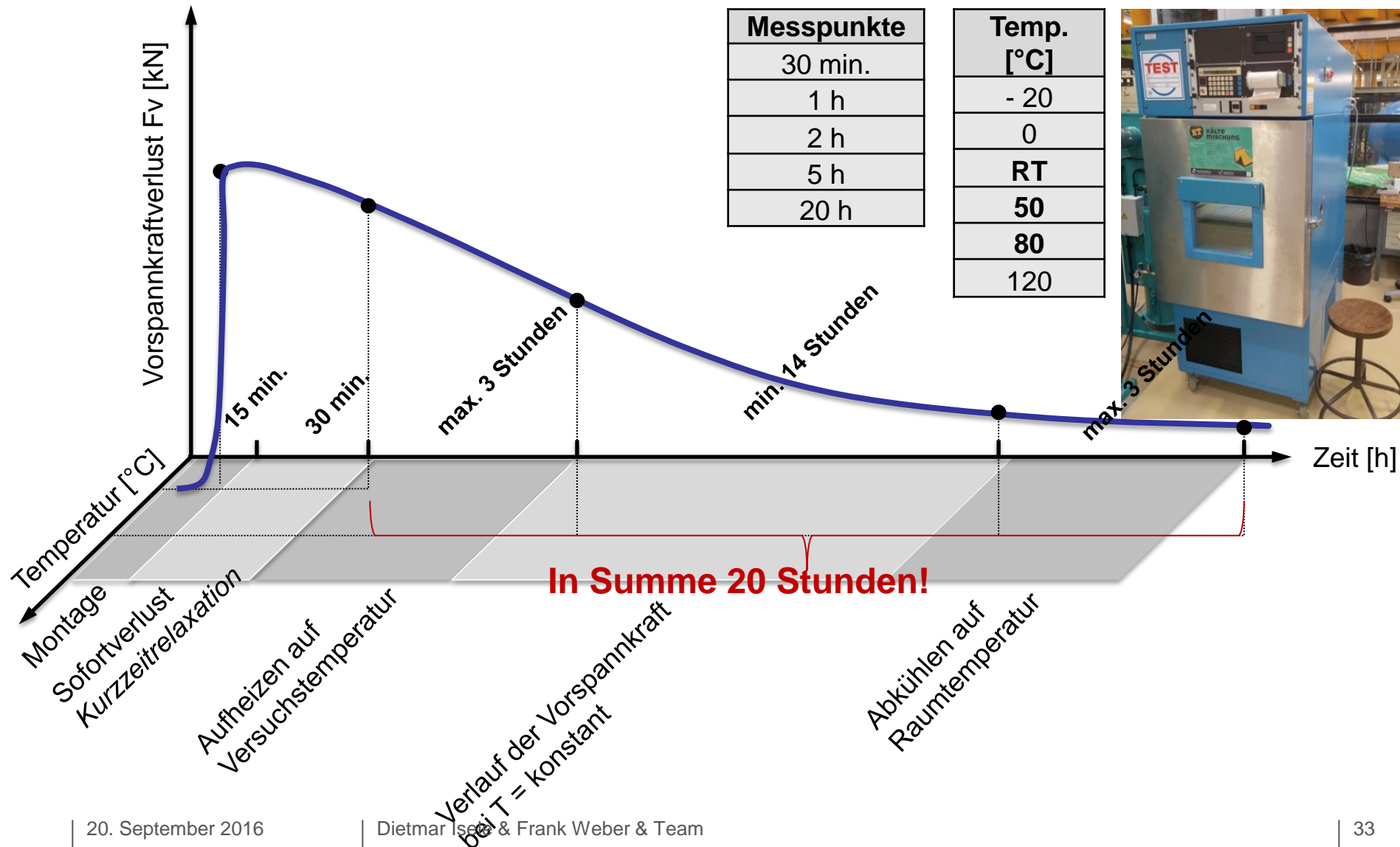
Verschraubungsfall (real)



— Kontaktfläche

Ø dl	Durchgangsbohrung DIN EN 20273 (fein)
Ø Dw	Kopfauflegedurchmesser

Versuchsablauf, so dass eine Messreihe in 24h Zyklus passt... 4 Messreihen je Woche je Vorrichtung.

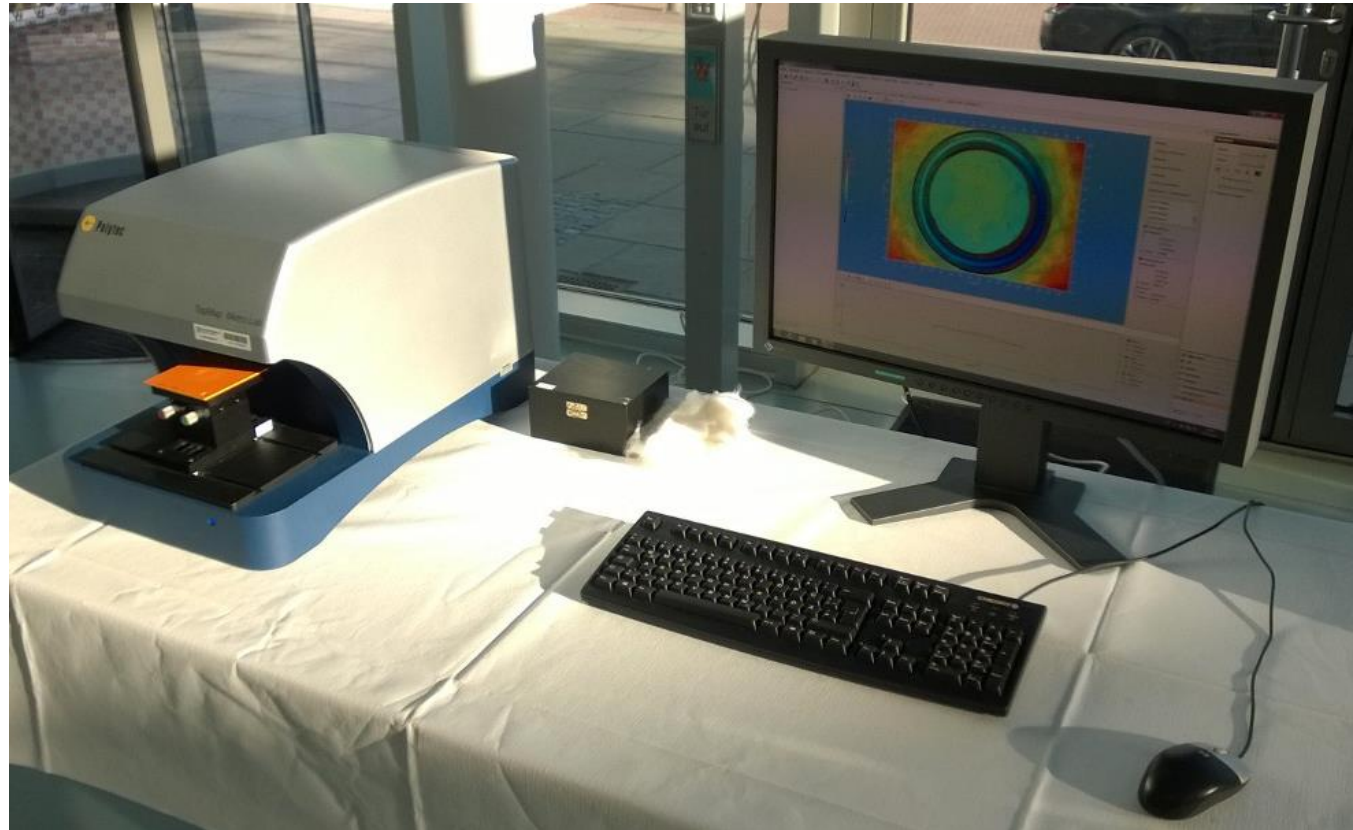




Eindringtiefen quantifizieren

Eindringtiefen

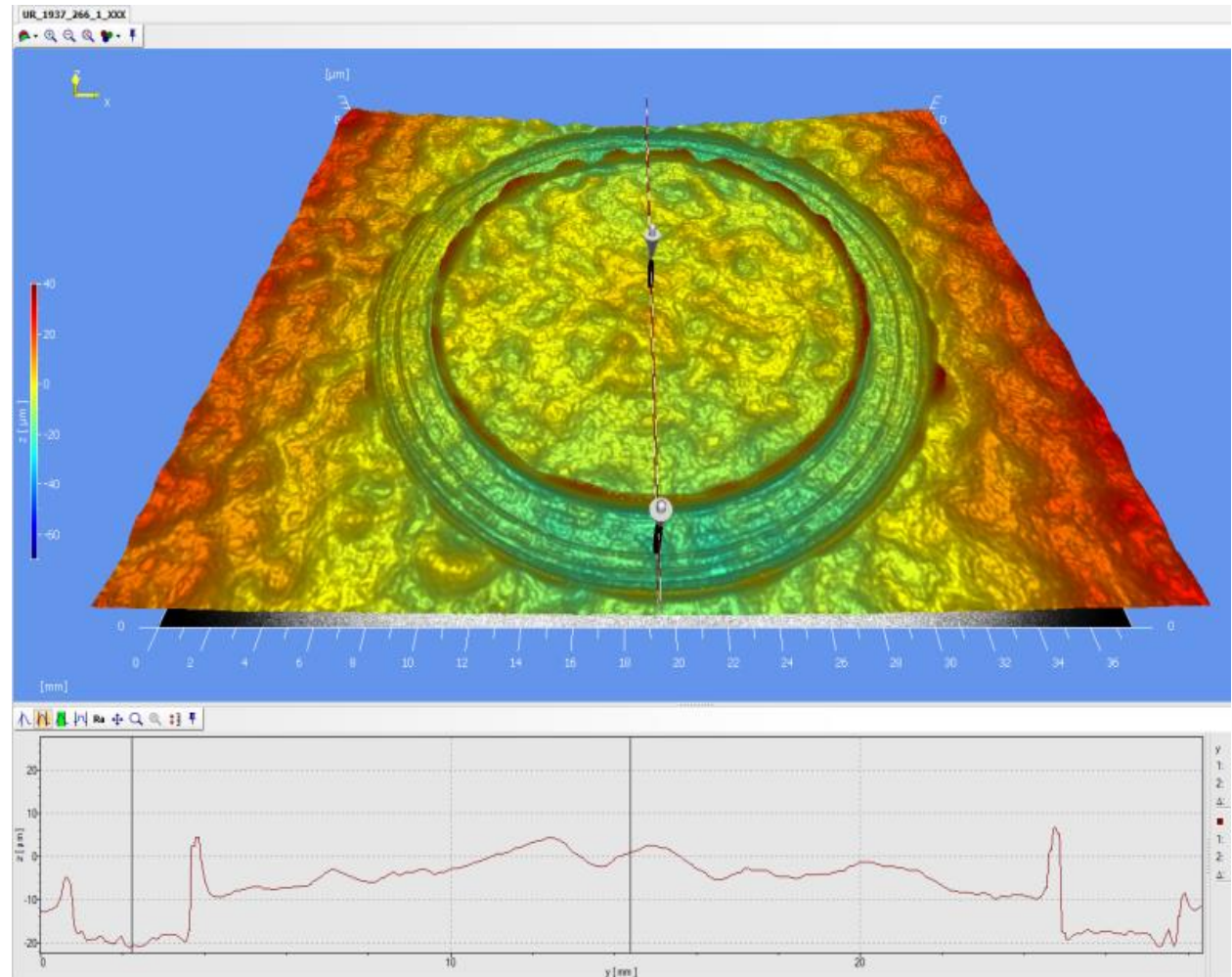
Messen der Eindringtiefe mit TMS100 (Weißlichtinterferometer)



Ermittlung der Eindringtiefe

Profilschnitt und Flächenschwerpunkt - LCS 3 hardened with 70°C and tested with 50°C

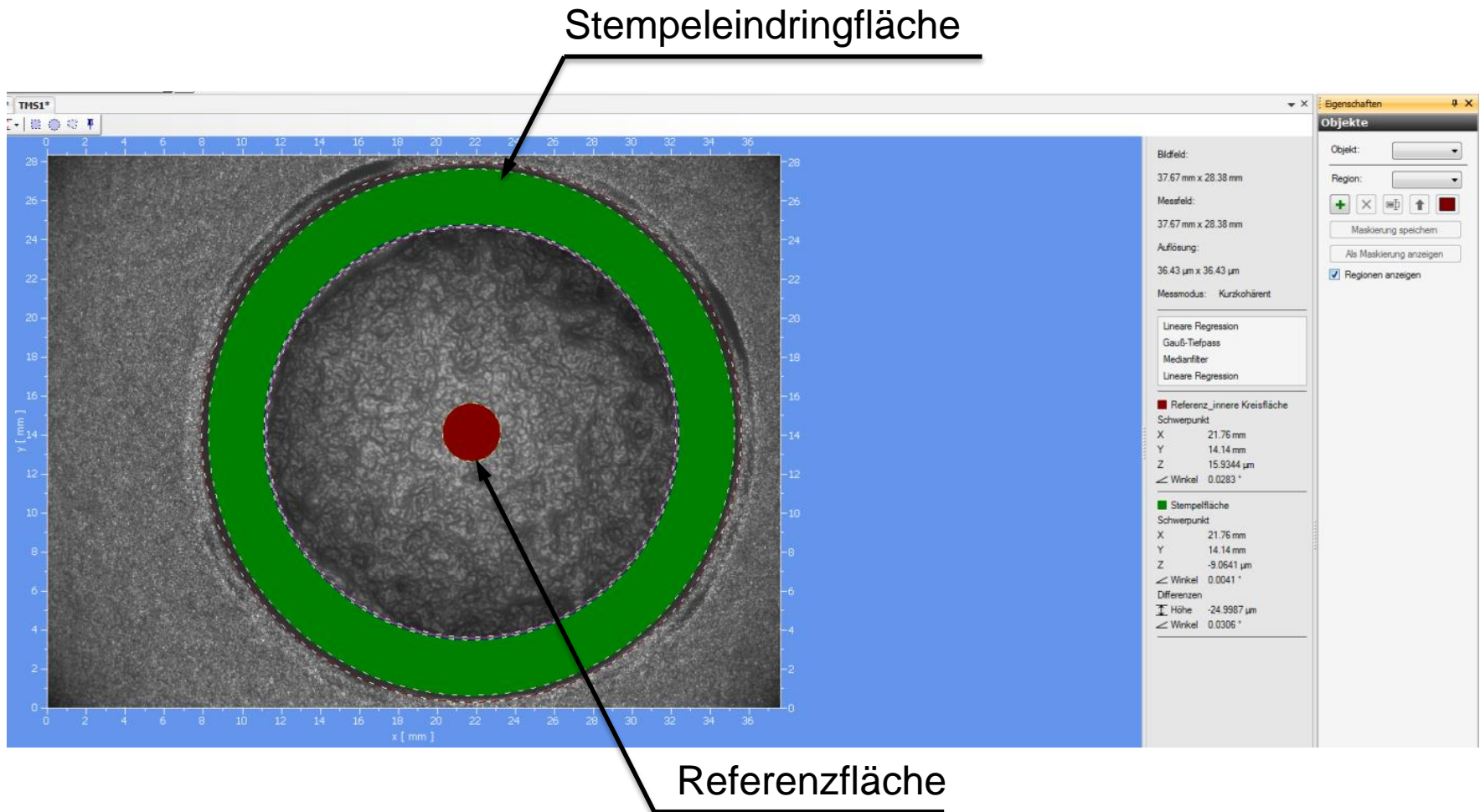
**3D-Ansicht
Flächenschwerpunkt**



**2D-Ansicht
Profilschnitt**

Ermittlung der Eindringtiefe

Profilschnitt und Flächenschwerpunkt





Zusammenfassung & Ausblick

Zusammenfassung

Schraubmontage:

- Die Eco2Touch ist in der Lage, auch mit den analysierten Lackschichten im Kraftfluss wiederholgenau streckgrenzengesteuert anzuziehen
- **Das streckgrenzengesteuerten Anzugverfahrens ist in der Lage beliebige Schraubverbindungen bzgl. Ihres möglichen Potentials zu analysieren**

Lacke in der Kopfauflage:

- **Lackschicht bleibt zusammenhängend**
(Trotz mit M24-10.9 rein in Re, halten und wieder raus aus Re)
- **Lackschicht ist KO-Schutzschicht und Verschleißschutzschicht**
- Die verwendeten Lackschichten unterscheiden sich erheblich in der Neigung zur Abrasion und dem Reibwert → **Wahl des Schraubverfahrens entscheidet bzgl. Fähigkeit**
- **Unter den bisherigen, gegebenen Bedingungen: Vorspannkraftverlust „sehr nahe an“ metallisch blank insgesamt weniger als 10%.**

Ausblick

- Projektergebnisse führen zur Entwicklung angepasster oder neuer Lacksysteme
- Direkt Vorspannkraftgesteuertes Montageverfahren mit Hilfe Intelligenter Messschrauben

FreiLacke



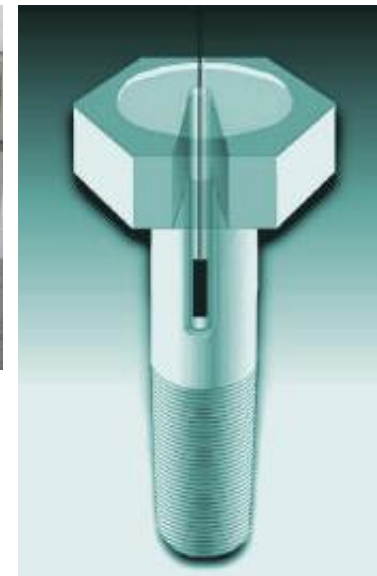
Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

smarttorc®
intelligentboltingsystems



Danke für Ihre Aufmerksamkeit!

Wenn Sie vor einer entsprechenden Aufgabenstellung stehen und das Know-How sowie die Erfahrung unseres Netzwerkes nutzen möchten dann sprechen Sie uns Bitte an. Danke.

Jeder Anwendungsfall, jede Konstruktion und jedes Lacksystem haben spezifische Eigenheiten und besondere Unterschiede.

Wir verfügen über eine allgemeingültige Prüfmethodik, Konzepte und erste Lösungen – allerdings sind neue Anwendungen spezifisch zu analysieren und zu bewerten.

Kontakt:

Dipl.-Ing. Dietmar Isele

Hochschule Offenburg

Fakultät Maschinenbau und
Verfahrenstechnik

Badstr. 24

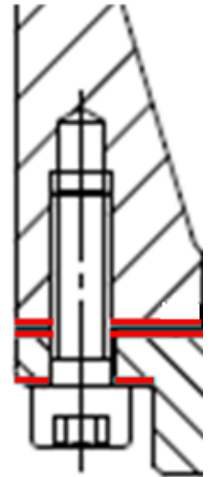
77652 Offenburg

Fon 0781 205 4625

Fax 0781 205 454625

Mobil 0174 3385458

Dietmar.Isele@hs-offenburg.de



Wie?