

8. VDI/VDE – Fachtagung

Digitale Schraubtechnik

Frankfurt am Main, 04. und 05. Juni 2019

Bildquelle: © Atlas Copco

VDI-BERICHTE

Herausgeber:

VDI Wissensforum GmbH

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter www.dnb.de abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek (German National Library)

The Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliographie (German National Bibliography); detailed bibliographic data is available via Internet at www.dnb.de.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2019

Alle Rechte vorbehalten, auch das des Nachdruckes, der Wiedergabe (Photokopie, Mikrokopie), der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, auszugsweise oder vollständig.

Der VDI-Bericht, der die Vorträge der Tagung enthält, erscheint als nichtredigierter Manuskriptdruck.

Die einzelnen Beiträge geben die auf persönlichen Erkenntnissen beruhenden Ansichten und Erfahrungen der jeweiligen Vortragenden bzw. Autoren wieder. Printed in Germany.

ISSN 0083-5560

ISBN 978-3-18-092347-5

Inhalt

► Keynote

Wahrer Fortschritt liegt jenseits aller Standards	1
J. R. Schmid, Design Tech, Ammerbuch	

► Grundlagen

Einführung in die Grundlagen zu technischen Verschraubungen	3
C. Bye, Private Hochschule für Wirtschaft und Technik, Standort Diepholz	
Schwingungsüberlagerte Schraubwerkzeuge – ein Ansatz zur Steigerung der Vorspannkraftkonstanz	13
M. Merten, B. Werthe, Volkswagen AG Nutzfahrzeuge, Hannover; U. Füssel, Professur für Fügetechnik und Montage, Technische Universität Dresden	
Werkerführung bei der Schraubmontage in der industriellen Produktion – Herausforderungen der modernen Schraubmontage im I4.0 Zeitalter	29
H. J. Reiter, Product Management Joining Technology Bosch Rexroth, Murrhardt	

► Fachkompetenzen

Schraubmontage im Lichte der IATF 16949 – Chance und Herausforderung	37
M. Fischer, SCS Concept Academy GmbH, Reisbach	
IO = IO ? Höhere Qualität bei Verschraubungsprozessen durch Predictive Analysis	47
M. Täuber, CSP GmbH & Co. KG, Großköllnbach	

► Recht und Haftung

Technische Regeln – Wem gehören die Daten?	57
H. Hardt, Rechtsanwaltskanzlei Hardt, Essen	
IoT in der Praxis, live im Montagewerk und Prototypenbau – ein Praxisbericht aus dem Industrie 4.0 Alltag	63
F. Thurner, Contech Software & Engineering GmbH, Fürstenfeldbruck	

► **Digitalisierung**

KI in der Industrie bringt neue Herausforderungen im Fertigungsumfeld.65
H. Lukosz, Bosch Rexroth AG, Murrhardt

Künstliche Intelligenz in Schraubprozessen71
S. Matzka, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

► **Erfahrungsberichte**

**Die Taxonomie von effizientem Werkzeuggebrauch – Vom Menschen lernen und so
Arbeitsprozesse und Systeme neu gestalten und absichern.** .79
F. Honisch, nexonar – soft2tec GmbH, Rüsselsheim; C. Marquardt, Science&Motion GmbH,
Flörsheim am Main

**Auslegung von Sitzverschraubungen bei Hochgeschwindigkeitszügen mittels innovativer
Vorspannkraft und Reibungsanalyse** .91
B. Reck, REC® solutions in fastening technology, Breidenbach

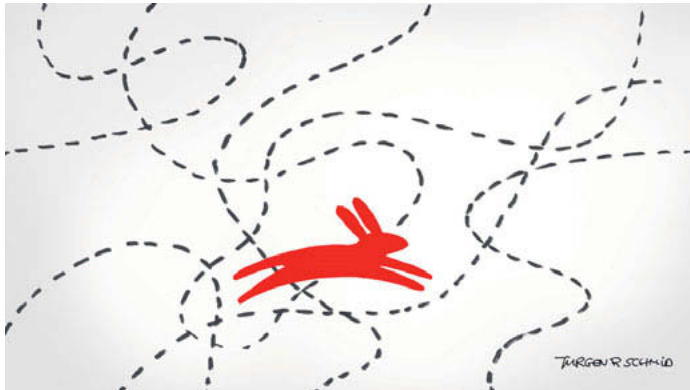
Wahrer Fortschritt liegt jenseits aller Standards

Jürgen R. Schmid, Design Tech, Ammerbuch

„Standards begrenzen die Unternehmen schon jetzt wie die Gitterstäbe den Löwen im Käfig“, urteilt Jürgen R. Schmid.

Der renommierte Maschinendesigner und Autor stellt in seinem Vortrag eine erschreckende Parallele zwischen Wirtschaft und Gesellschaft sowie der Gestaltung her: Der deutsche Mittelstand denkt in den immer gleichen, standardisierten Bahnen. Das Ergebnis?

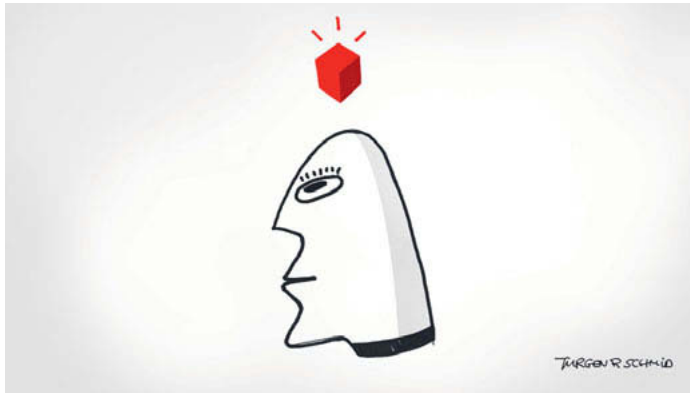
Mittelständische Unternehmen werden zusehends kraftlos und tuckern zuverlässig in den Stillstand.



Das Feldhasenprinzip: Wichtig ist das, was vor meiner Nase ist.

Doch Jürgen R. Schmid gibt Hoffnung: Trotz der Vorherrschaft des Standards gibt es immer noch erfolgreiche Individuen und Gemeinschaften. Also hat er seinen ganz eigenständigen Blick auf die Ansprüche an eine moderne Wirtschaft entwickelt. Und eröffnet in seinem Vortrag eine Perspektive, die jeglichen Standard über Bord wirft.

So schlicht und direkt wie sein Design ist auch sein Vortrag: pointiert, klar, frei von akademischen Diskursen. Schmid bietet einen Schlüssellochblick in seine Denkwerkstatt. Dabei liefert er in bildstarker Sprache überraschende und tiefgründige Einsichten, wo und wie der Mittelstand neue Lösungen finden kann und woher die Energie für diese Suche kommt.



Wie geht eigentlich echte Innovation?

Sie erwartet ein Vortrag mit großer Wirkung und kleinem Brimborium: Stellen Sie Jürgen R. Schmid an eine Flipchart und er hat alle Mittel beisammen, um Ihnen zu demonstrieren: Standard ist wahrhaft tödlich!

Einführung in die Grundlagen zu technischen Verschraubungen

Prof. Dr.-Ing. **Carsten Bye**,
Private Hochschule für Wirtschaft und Technik,
Standort Diepholz

Kurzfassung

Der Leichtbau ist heute als Konstruktionsvorgabe in allen Bereichen der Fahrzeugindustrie und darüber hinaus präsent. Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, die zu bewegenden Massen zu reduzieren. Die häufigste Variante ist der Stoffleichtbau, wo Werkstoffe geringer Dichte eingesetzt werden. Hier kommen beispielsweise Leichtmetalle wie Aluminium oder aber auch Kunststoffe zum Einsatz. Was hat dieser Materialmix (Mischbau) für Auswirkungen auf die zu verwendende Fügechnik? Hier sind erhebliche Veränderungen zu beobachten, bei denen insbesondere auch die Schraubenverbindung eine Lösung darstellt. Die Schraube ist eines der ältesten Maschinenelemente, welches zur Verbindung unterschiedlicher Bauteile eingesetzt wird. Jeder kennt die Schraube und jeder hat eine Schraubenverbindung gelöst und wieder angezogen. Aus diesem Grund sollte davon ausgegangen werden, dass auch jeder die Schraube versteht. Leider sieht die Realität anders aus. Insbesondere in modernen Unternehmen konstruieren Ingenieure Schraubenverbindungen, die so nicht funktionieren können, da die Grundlagen der Schraubenverbindung wohl oberflächlich zur Kenntnis genommen wurden, die Notwendigkeiten zur Realisierung einer funktionierenden Schraubenverbindung aber nicht verinnerlicht sind. Dieser kurze Übersichtsvortrag gibt einen Überblick über den Begriff Leichtbau und seine Konsequenzen. Darüber hinaus zeigt der Beitrag die wesentlichen Möglichkeiten und Notwendigkeiten zur Realisierung einer funktionierenden Schraubenverbindung auf, dient als Einleitung für die nachfolgenden Beiträge und schafft eine gemeinsame Terminologie für die weiteren Gespräche.

1. Einleitung

Leichtbau bringt dort Vorteile, wo bewegte Massen reduziert werden, um damit Energie einzusparen. Leichtbaukonstruktionen werden durch unterschiedliche Konstruktionskonzepte erreicht:

- Stoffleichtbau
- Bedingungsleichtbau
- Form- und Strukturleichtbau

Unter dem Stoffleichtbau wird die Verwendung von Werkstoffen mit einer geringen spezifischen Dichte, wie beispielsweise Aluminium, Magnesium und Kunststoffe oder die Verwendung hochfester Werkstoffe in geringen Blechdicken verstanden. Der Bedingungsleichtbau erfasst und berücksichtigt die Bedingungen, unter denen die Belastungen in das Bauteil eingeleitet werden. Entsprechend können die kalkulierten Sicherheiten reduziert werden. Beim Form- und Strukturleichtbau werden die Bauteilformen und -strukturen entsprechend den Belastungen, die eingeleitet werden, optimiert und gestaltet.

Ein ökonomischer Leichtbau ist durch die Integration aller drei Grundkonzepte realisierbar. So ist die Verwendung von gezielt verstärkten Bauteilen, bei denen nur an den Stellen hoher Belastung die notwendige Bauteilfestigkeit durch Verstärkungsmaßnahmen gewährleistet ist, ein wichtiger Ansatz, der intensiv genutzt wird. Eine solche Konstruktion sollte den Anforderungen bezüglich Funktion, Lebensdauer und Sicherheit mit einem Minimum an Aufwand erfüllen. Durch die richtige Auswahl der Verbindungstechnik werden die einsetzbaren Werkstoffe, die zu verbindenden Querschnitte, die Geometrien der Verbindungsstellen, die Zugänglichkeiten zu den Fügestellen, die erzielbaren Eigenschaften und damit die Konstruktion und ihr Gewicht entscheidend beeinflusst.

Die Herausforderung für den Bereich der Fügetechnik liegt in der prozesssicheren Beherrschung der technologischen Prozesse beim Verbinden von Leichtbauwerkstoffen unter Wahrung der Werkstoffeigenschaften. Darüber hinaus ist es notwendig, dass – gerade in Hinsicht auf die Betriebsfestigkeit und die Lebensdauer eines Bauteils – die durch die Verbindungstechnik eingebrachten, konstruktiv und technologisch bedingten Kerbwirkungen kalkulierbar sind und durch entsprechende konstruktive oder fertigungstechnische Maßnahmen reduziert werden. Eine Lösung stellt hier die Verwendung von Schraubenverbindungen dar. Die Schraube ist das am häufigsten und vielseitigsten verwendete Maschinenelement. Gestaltung, Werkstoff und Berechnung richten sich nach der Verwendung bzw. den Einsatzanforderungen an die Schraubenverbindung. Schrauben können aus unterschiedlichen metallischen oder auch nichtmetallischen (Bsp. FVK) Werkstoffen bestehen und werden in der Regel durch Kalt-

massivumformung hergestellt. Bild 1 zeigt die Realisierung des Stoffleichtbaus durch die Verwendung von Aluminiumschrauben. Hier ist das Leichtbaupotential von Aluminiumschrauben gegenüber Stahlschrauben in Abhängigkeit der verwendeten Schraubengröße und Verschraubungsaufgabe dargestellt.

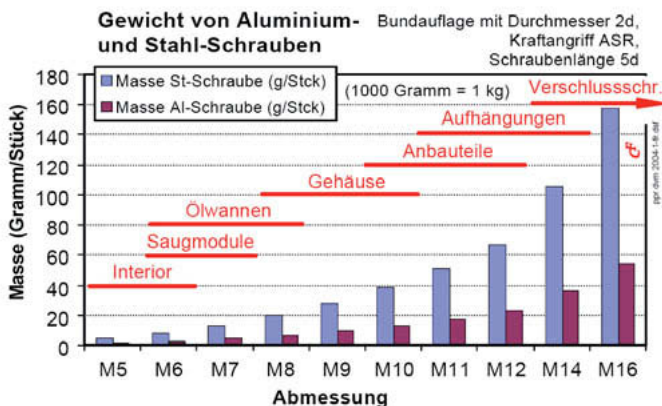


Bild 1: Gewichtsreduzierung durch die Verwendung von Aluminiumschrauben [1]

2. Funktion der Schraubenverbindung nach VDI 2230

Aus der VDI Richtlinie 2230 [2]: „Die Festlegungen dieser Richtlinie gelten für Stahlschrauben (Befestigungsgewinde mit 60° Flankenwinkel) in hochbeanspruchten und hochfesten Schraubenverbindungen, d.h. für Festigkeitsklassen 8.8 bis 12.9 bzw. 70 und 80 und einer kraftschlüssigen Übertragung der Betriebsbelastung. Diese besteht in der Regel aus einer statischen oder dynamischen Axialkraft (d.h. Wirkungsrichtung parallel zur Schraubenachse). Darüber hinaus können Biegemomente und Querkräfte auftreten“.

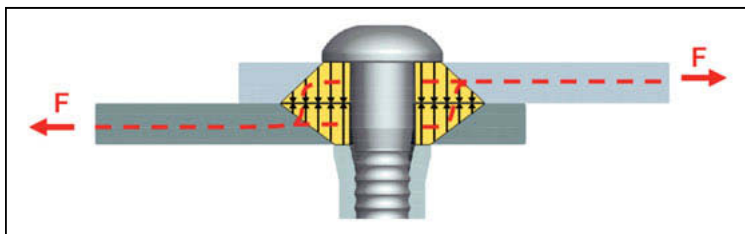


Bild 2: Kraftschlüssige Verbindung nach VDI 2230 – Querkraftbeanspruchung

Diese kraftschlüssige Übertragung der Betriebslasten ist nur durch das Einbringen einer definierten Vorspannkraft möglich. Neben dem Rauheitskoeffizienten der Bauteiloberflächen wird die max. übertragbare Betriebslast elementar durch die Vorspannkraft, die von der Schraube eingebracht wird, bestimmt.

Stellen wir uns die Schraube wie ein Gummiband vor. Umso länger das Gummiband gezogen, umso länger die Schraube also gelängt, umso größer ist die Vorspannkraft (Reaktionskraft des Gummibandes), die von der Schraube eingeleitet werden kann. Sicherlich hinkt der Vergleich an einigen Stellen, nicht zuletzt daran, dass ein Elastomer ein anderes mechanisches Verhalten aufweist als ein Metall, aber das grundsätzliche Funktionsprinzip lässt sich mit diesem Vergleich sehr schön veranschaulichen. Als eine Alternative zum Gummiband lässt sich der Vergleich mit einer metallenen Zugfeder herbeiführen, auch hieran lässt sich das Funktionsprinzip der Schraube sehr schön veranschaulichen.

Die Federkraft, die wir in Abhängigkeit der Federverlängerung benötigen, lässt sich einfach in der Steifigkeit der Feder darstellen. Im Gegensatz zur Feder wird die Schraube nicht durch den direkten Kraftangriff gelängt – mit Ausnahmen beim hydraulischen Anziehen – sondern über die Steigung des Gewindes und das Weiterdrehen bei Schraubenkopfauflage. Die Steifigkeit der Schraube stellt der Elastizitätsmodul des verwendeten Schraubenwerkstoffes dar. Aufgrund des hohen Moduls von Stahlschrauben ist der Bereich der elastischen Längung beim Verschrauben vom Werker optisch nicht wahrnehmbar.

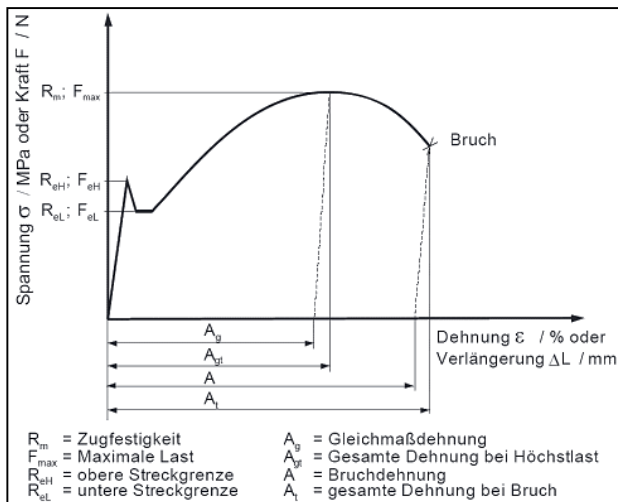


Bild 3: Die Ergebnisse des Zugversuches eines metallischen Werkstoffes (Bsp. Baustahl)

Nachdem nun die Steifigkeit der Schraube durch den verwendeten Schraubenwerkstoff feststeht, ist die Frage zu klären, wie hoch auf der Hook'schen Graden die Schraube elastisch gelängt werden kann, es stellt sich also die Frage nach der Streck- bzw. Dehngrenze der Schraube. Diese Grenze zwischen der elastischen und plastischen Längung der Schraube wird durch den Schraubenwerkstoff und den Wärmebehandlungszustand der Schraube eingestellt. Durch die entsprechende Festigkeitsklasse werden die Streck- bzw. Dehngrenze und die Zugfestigkeit der Schraube beschrieben. Um die Funktion der Schraube zu verstehen und um zu verstehen wie weit die Schraube gelängt werden darf/kann, ist das Wissen um das mechanische Verhalten des Schraubengrundwerkstoffes wesentlich, Bild 3.

3. Vorspannung

Aufgrund der Längung der Schraube beim Anziehen der Schraubenverbindung entsteht die Vorspannkraft, die die verschraubten Teile verspannt. Die elastischen Deformationen lassen sich nach dem Hook'schen Gesetz ermitteln. Die Zusammenhänge zwischen Längenänderung und Vorspannkraft werden meistens im Verspannungsschaubild dargestellt, Bild 4. Hier zeigen sich nun auch erstmals die Konsequenzen aus dem zu verschraubenden Bauteilwerkstoff. Unterschiedliche Bauteilwerkstoffe weisen hier unterschiedliche Steigungen und damit unterschiedliche Setzerscheinungen in der Verschraubung auf und führen zu entsprechenden Konsequenzen bei der Konstruktion von Schraubenverbindungen. Beispielsweise weisen Kunststoffe unter entsprechender Drucklast ein Kriechen auf, welches dazu führt, dass wenn hier hohe Vorspannungen übertragen werden sollen, metallische Buchsen im Kunststoffbauteil den Schraubfall stützen müssen.

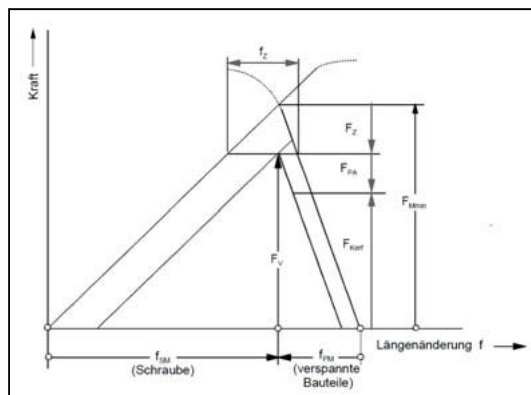


Bild 4: Verspannungsdiagramm einer Schraubenverbindung

Wichtig beim Lesen und Arbeiten mit dem Verspannungsdiagramm ist der Hinweis, dass im Verspannungsdiagramm keine Spannungen und Dehnungen - wie beim Zugversuch - aufgetragen werden, sondern die auftretenden Kräfte und die entsprechenden Längenänderungen. Beim Betrachten des Verspannungsdiagramms in Bild 4 fällt auf, dass zwei Verspannungsdiagramme in einem gezeichnet zu sein scheinen. Die äußeren Linien stellen den Idealfall direkt im Verschraubungsprozess dar, die inneren Linien den realen Verspannungszustand nach dem Setzen der Schraubenverbindung. Von „außen“ wird die Schraubenverbindung durch die max. Vorspannkraft aus der max. elastische Verformung der Schraube begrenzt, von „innen“ durch die erforderliche Restvorspannkraft, die zur Funktionsgewährleistung auch im extremsten Fall zur Verfügung stehen muss. Eingestellt wird die Vorspannkraft durch ein entsprechendes Anziehdrehmoment.

4. Anziehdrehmoment

Der Zusammenhang zwischen Vorspannkraft und Anziehdrehmoment kann relativ leicht hergeleitet werden, Bild 5. Es wird ersichtlich, dass das Anziehdrehmoment zu 80 % bis 90 % zur Überwindung der Reibung unter dem Kopf bzw. der Mutterauflage und im Gewinde dient. Somit ist das Anziehdrehmoment vorwiegend von den stark schwankenden Reibkoeffizienten μ_G und μ_K abhängig.

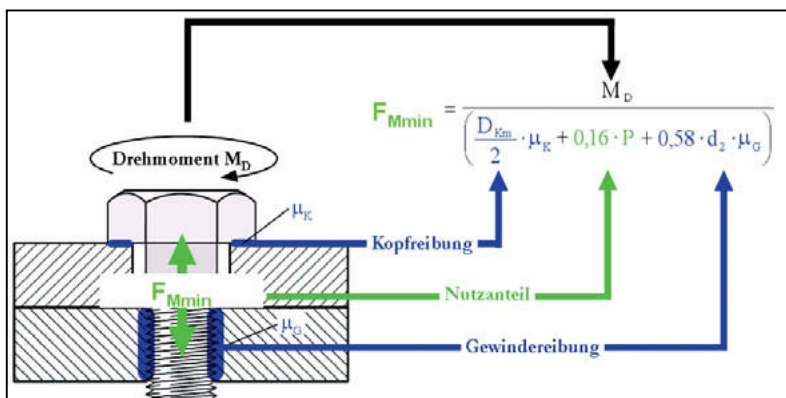


Bild 5: Zusammenhang zwischen Drehmoment und Vorspannkraft beim Verschrauben

Aus den Zusammenhängen wird ersichtlich, dass die Vorspannkraft einer Schraube über das Anziehdrehmoment nur ungenau eingestellt werden kann. Der Drehmomentanteil, welcher

durch den Schaft (bei Dehnschrauben die Taille) und das Gewinde der Schraube geleitet werden muss (Gewindemoment), verursacht dort eine große Torsionsbeanspruchung. Die Zugspannung infolge Vorspannkraft und die Torsionsspannung infolge Gewindemoment muss mittels Hypothese zu einer Vergleichsspannung zusammengerechnet werden. Aufgrund der Vorspannkraft soll während des Anziehens die Beanspruchung im Spannungsquerschnitt maximal der Dehngrenze des Schraubenwerkstoffes entsprechen. Über die entsprechenden Reibwerte kann nun ein zugehöriges Drehmoment zu Vorspannkraftverhältnis abgeleitet werden, welches aus Tabellenwerten, bspw. in der VDI 2230, abzulesen ist.

5. Anziehverfahren

Wird nun ein festes Drehmoment-Vorspannkraft-Verhältnis herangezogen, so setzt das voraus, dass mit einem Anziehverfahren die Schraubenverbindung angezogen wurde, welches zu 100% reproduzierbar das Anziehdrehmoment in die Schraubenverbindung einbringt. Das ist in der Realität leider nicht so, es zeigt sich, dass bei den gängigen Schraubverfahren vielmehr das Drehmoment teilweise stark streut, Bild 6. Zur Beschreibung der Streuung wird der Anziehfaktor des Schraubverfahrens herangezogen. Das Verhältnis aus der max. eingeleiteten zur min. eingeleiteten Vorspannkraft wird als Anziehfaktor bezeichnet. Bei der Berechnung von Schraubenverbindungen wird mit dem Anziehfaktor die Streuung des jeweiligen Anziehverfahrens berücksichtigt, damit eine errechnete - und für die Funktion der Schraubenverbindung notwendige minimale - Vorspannkraft gewährleistet wird [3].

Schraubwerkzeug	Schraubsystem mit Steuer- und Meßelektronik			Abschalt-schrauber	Schlagschrauber
	Streckgrenz-gesteuert	Drehwinkel-gesteuert	Drehmoment-gesteuert Wählervacht	Drehmoment- begrenzt	Drehmoment- begrenzt
Anziehfaktor	1*	1*	1,4 bis 1,6	1,7 bis 2,5	2,5 bis 4,0
Schraube Qualität 8.8 Klemmlänge 20 mm	M8	M8	M10	M12	M16
min. Vorspannkraft F min max. Vorspannkraft F max	15 000 N 15 000 N	15 000 N 15 000 N	15 000 N 24 000 N	15 000 N 37 500 N	15 000 N 60 000 N

Bild 6: Abhängigkeit von Anziehfaktor und Schraubverfahren und deren Konsequenz [2]

Handanzug

Das Anziehen „nach Gefühl“ mit Gabel- und Ringschlüssel oder Knarre darf nicht für wichtige Schraubenverbindungen angewendet werden. Die Streuung ist auch bei erfahrenen Werkern extrem groß. Bei Schraubengrößen bis M12 sind die Schrauben häufig über die Streckgrenze angezogen, bei Schraubengrößen über M14 sind die Schrauben in der Regel zu niedrig angezogen.

Drehmomentgesteuert

Mit theoretischen Betrachtungen beim Anziehen kann gezeigt werden, dass 80 bis 90% des Anzugsmomentes für die Überwindung der Reibung unter Kopf und im Gewinde notwendig sind. Nur ein kleiner Teil dient der eigentlichen Vorspannkrafterzeugung. Damit kann auch nachgewiesen werden, dass die Messung des Drehmomentes trotz einer Genauigkeit besser als $\pm 10\%$ wegen der Reibwertunterschiede eine große Streuung in der Vorspannkraft ergibt. Entsprechend liegt der Anziehfaktor zwischen 1,4 und 2,5, Bild 6.

Impulsgesteuert

Die Motorenergie wird im Schlagwerk in tangential Drehimpulse umgesetzt. Damit wird die Schraube stufenweise vorgespannt. Der Vorteil der Schlagschrauber liegt darin, dass von der Bedienperson fast kein Reaktionsmoment aufgenommen werden muss. Der Nachteil liegt in den vielen Einflussfaktoren auf die Schraubenvorspannung und dem sich daraus ergebenden hohen Anziehfaktor von 2,5 bis 4,0, Bild 6.

Längenmessung

Aus der Längenänderung der Schraube beim Anziehen (auf der Hook'schen Grade) wird bei bekanntem Elastizitätsmodul rechnerisch die Vorspannkraft ermittelt. Mit zunehmender Klemmlänge ist die Genauigkeit dieses Verfahrens immer besser und erreicht mindestens $\pm 5\%$. Der Anziehfaktor erreicht damit den Wert 1,2. Das Verfahren ist jedoch relativ aufwendig, teuer und erfordert für die Messmittel eine gute Zugänglichkeit zur Schraubstelle.

Drehwinkelgesteuert

Bei diesem Verfahren wird die Schraube zuerst drehmomentgesteuert auf ein Schwellmoment vorgespannt und dann um einen rechnerisch bestimmten Drehwinkel bis in den Beginn der plastischen Verformung weitergedreht. Das Verfahren erfordert aufwendige Vorversuche und ist damit teuer. Außerdem kann er nur für Schraubenverbindungen mit genügend großer Dehnlänge angewendet werden. Der Anziehfaktor kann mit ca. 1,0 berücksichtigt werden, wenn

mindestens auf die Streckgrenze angezogen wird, Bild 6. Durch die meist plastische Verformung der Schraube ist deren Wiederverwendbarkeit jedoch beschränkt und im Reparaturfall sollte die Schraube ausgetauscht werden.

Streckgrenzgesteuert

Wird das Anziehdrehmoment über den Drehwinkel dargestellt, zeigt die Kurve nach Überschreitung der Dehngrenze einen flacheren Verlauf. Diese Tatsache wird zur Steuerung des Anziehvorganges genutzt. Rechnerisch wird während der Verschraubung der Quotient aus Drehmoment und Drehwinkel ermittelt, der bis zur plastischen Verformung der Schraube konstant ist. Wird der Bereich der Streckgrenze erreicht, verändert sich der Quotient und das Verschraubungsgerät stoppt den Verschraubungsvorgang.

6. Das Sichern von Schraubenverbindungen

Die Schraubenvorspannkraft wird über verhältnismäßig kleine Flächen übertragen und führt dabei zu hohen Flächenpressungen, welche zu Kriechvorgängen im Bauteilwerkstoff führen. Diese plastischen Verformungen werden als Setzen bezeichnet und führen zu einem teilweisen Vorspannkraftverlust, Bild 4. Durch diesen Vorspannkraftverlust kann es dann zu einem Losdrehen der Schraubenverbindung infolge von erzwungenen Gleitbewegungen kommen, Bild 7.

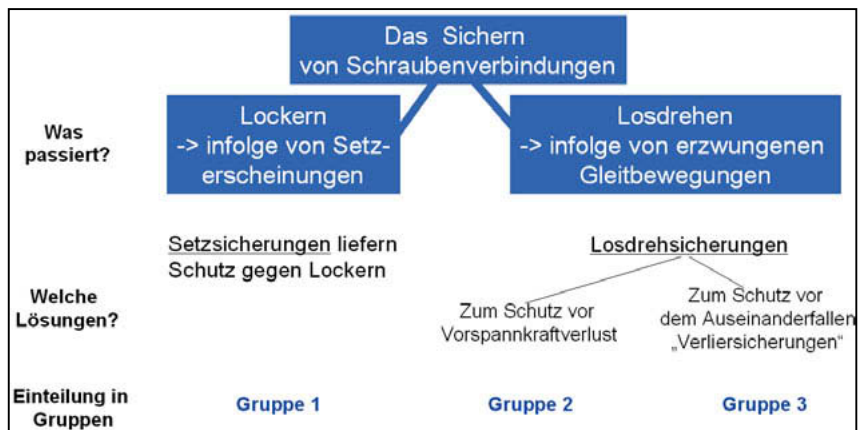


Bild 7: Das Sichern von Schraubenverbindungen infolge von Setzerscheinungen/erzwungenen Gleitbewegungen

Gegen das Setzen und gegen das Lösen müssen Sicherungsmaßnahmen bei der Konstruktion der Schraubenverbindung vorgenommen werden, die sehr unterschiedlich aussehen können, [4].

7. Berechnung

Die Grundlagen der Schraubenberechnung sind in [2] und [3] sehr umfangreich erläutert. Eine Schraubenverbindung muss nach verschiedenen Kriterien rechnerisch überprüft werden.

- Erforderliche Vorspannung für Reibschluss
- Vorspannungsabfall infolge Setzen
- ...

Die Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen erfolgt vorzugsweise nach VDI 2230 [2].

8. Literatur

- [1] **Friedrich, C.:** Verbindungselemente aus Aluminium für den optimierten Leichtbau, Beitrag zum DVM-Tag 2004 – Schraubenverbindungen, Berlin, 2004
- [2] **N.N.:** VDI 2230, Systematische Berechnung von hochbeanspruchten Schrauben, Düsseldorf, 2003
- [3] **Wiegand, H; Kloos, K.-H.; Thomala, W.:** Schraubenverbindungen – Grundlagen, Berechnung, Eigenschaften, Handhabung. 5. Auflage Springer Verlag, Berlin, 2007
- [4] **Bye, C.:** Faszination Schraube – Beitrag zum Seminar „Optimal ausgelegte Schraubenverbindungen in der Praxis“ der Fa. Dresselhaus am 16.09.2009 in Herford

Schwingungsüberlagerte Schraubwerkzeuge – ein Ansatz zur Steigerung der Vorspannkraftkonstanz

M. Merten, B. Werthe,

Volkswagen AG Nutzfahrzeuge, Hannover;

U. Füßel,

Professur für Fügetechnik und Montage, Technische Universität Dresden

Kurzfassung

Grundlage für die Bewertung von Schraubenverbindungen innerhalb der Fertigungsprozesse bilden die leicht zu erfassenden Messgrößen Drehmoment und Drehwinkel. Jedoch können bei drehmomentgesteuerten Anzugsverfahren im elastischen Werkstoffbereich, trotz stetig weiterentwickelter und präziser Messtechnik, reibungsbedingte Vorspannkraftstreuungen unentdeckt bleiben. Eine Möglichkeit, die Vorspannkraftvarianz zu verringern und damit die Verschraubungsqualität positiv zu beeinflussen, ist die Anwendung von Impulsschraubern. Gleichzeitig verfügen EC-Werkzeuge innerhalb Europas über eine sehr große Akzeptanz. Zur stetigen Verbesserung der Verschraubungstechnik sollen deshalb die qualitativen Vorteile pulsender Werkzeuge mit den Vorzügen kontinuierlich drehender Schrauber kombiniert werden. Ein Ansatz dazu besteht in der externen Schwingungsanregung der Verbindungselemente während der Montage. Ziel des nachfolgenden Beitrages ist es, die beabsichtigte Vorgehensweise näher zu beschreiben und erste Messergebnisse zu diskutieren.

1. Einleitung

Neben den Ansprüchen zur Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit steigen auch die gesetzlichen Sicherheits- und Dokumentationsanforderungen innerhalb der Fertigungsprozesse stetig an. Infolgedessen wird der Automatisierungsgrad in den Fabriken kontinuierlich erhöht. Weiterhin existiert im Zuge der Strategie „Industrie 4.0“ ein Anspruch, die gesamte Fertigungskette miteinander zu verknüpfen und anhand der gesammelten Daten die Qualität der gefertigten Produkte lückenlos zu überwachen und bei Bedarf zu optimieren.

Aufgrund hinreichend bekannter Vorteile, z. B. der Möglichkeit unterschiedliche Werkstoffe miteinander zu verbinden und der einfachen Demontage im Servicefall, gehört das Verschrauben im Automobilbau zu den bevorzugten Fügeverfahren. Als Maßnahme zur Umsetzung aller genannten gesetzlichen und wirtschaftlichen Anforderungen erhöht sich der Anteil gesteuerter und überwachter Schraubsysteme innerhalb der Produktion fortwährend.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist es verpflichtend, Istwerte für Verschraubungen der Kategorien A und B direkt zu messen und zu dokumentieren [1]. Darüber hinaus werden in steigendem Maße auch Schraubfälle der Kategorie C durch intelligente Schraubwerkzeuge ertüchtigt. Ein großer Vorteil der Anwendung überwachter Werkzeuge ergibt sich durch die produktbezogene Qualitätssicherung mit Hilfe der Messgrößen Drehmoment und Drehwinkel. Auch bietet sich die Möglichkeit Schraubkurven für Analysezwecke aufzuzeichnen. Hieraus lassen sich bei entsprechender Parametrierung und gezielter Festlegung der Toleranzen zahlreiche Fehler wie beispielsweise Schiefansetzen der Schraube, Gewindefresser und weitere Bauteilprobleme detektieren. An dieser Stelle sei jedoch noch einmal angemerkt, dass jede Schraubenverbindung hinsichtlich einer gemäß auftretender Lastkollektive berechneten Vorspannkraft ausgelegt wird. Dabei stellen Drehmoment und Drehwinkel nur leicht messbare Hilfsgrößen innerhalb der Fertigungsprozesse dar und lassen unter Umständen keinen direkten Rückschluss auf die Verbindungsqualität zu. So ergibt sich die erzeugte Vorspannkraft unterhalb der Streckgrenze vorwiegend aus den ablaufenden Reibungsvorgängen. Gleichzeitig verfügt das tribologische System einer Schraubenverbindung in seiner Komplexität über eine Vielzahl von Einflussfaktoren. Exemplarisch hierfür stellen beispielsweise die Temperatur und Luftfeuchtigkeit der Fertigungsumgebung nicht zu unterschätzende Einflüsse dar, sodass die Reibung einer gewissen Schwankung unterliegt und folglich während der Montage nur näherungsweise bestimmbar ist.

Über den Wirkungsgrad einer Schraubenverbindung ist bekannt, dass lediglich ein geringer Anteil des eingebrachten Drehmoments für den Aufbau der Vorspannkraft zur Verfügung steht. Der überwiegende Anteil dient demnach der Überwindung von Reibeffekten. Folglich treten analog **Bild 1** besonders bei drehmomentgesteuerten Anziehverfahren, trotz stetiger Verbesserung der Messwertgeber innerhalb der Werkzeuge, Schwankungen im Vorspannkraftniveau auf, welche die Verbindungsqualität negativ beeinflussen können.

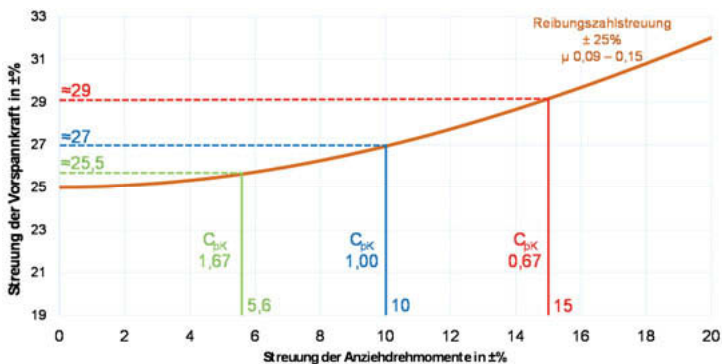


Bild 1: Vorspannkraftstreuung als Funktion von Reibung und Drehmoment

Diesem physikalisch bedingten Verhalten bestmöglich entgegen zu wirken, werden von den Anwendern möglichst eng tolerierte Reibeigenschaften der Verbindungselemente gefordert. Eine weit verbreitete Umsetzungsmöglichkeit dessen ist die Verwendung von Gleitmittel. Dabei ist die Absenkung der Reibung durch den Effekt des selbsttätigen Losdrehens begrenzt. Auch stellt die Verwendung von Schmiermitteln einen zusätzlichen Kostenfaktor dar. Unabhängig davon erfolgt die Herstellung von Verbindungselementen in großserieller Massenproduktion, sodass fertigungsbedingte Schwankungen trotz sorgfältiger Prozessüberwachung nicht in Gänze vermieden werden können.

Ein anderer Ansatz zur Steigerung der Verbindungsqualität besteht in der Verwendung schwingungsüberlagerter Schraubwerkzeuge. Dabei sollen Reibungseffekte durch extern aufgeprägte Schwingungen während der Montage gezielt verringert, das Vorspannkraftniveau erhöht und die Streubreite vermindert werden. Primäres Ziel dieses Beitrages ist es, die angedachte Systematik anhand bestehender Verfahren artverwandter Industriezweige theoretisch zu beschreiben. Des Weiteren wird ein experimenteller Versuchsaufbau zum Nachweis der Funktionsfähigkeit vorgestellt sowie erste Messergebnisse diskutiert.

2. Analyse der Charakteristik eines Impulsschraubers

Eine Möglichkeit, die Qualität der erzeugten Verbindung positiv zu beeinflussen, obliegt der Werkzeugauswahl. Dabei ermöglicht der Einsatz gesteuerter Schraubtechnik gegenüber manueller Handmontage stets eine grundlegende Verbesserung im Fertigungsprozess. Weiterhin konnte in zahlreichen Versuchen und wissenschaftlichen Arbeiten nachgewiesen werden, dass sich die Verwendung gesteuerter Impulsschraubtechnik positiv auf die Verbindungsqualität auswirkt. So ist bereits aus vorausgegangenen Tagungsbeiträgen und Veröffentlichungen bekannt, dass der Einsatz pulsender Werkzeuge gegenüber kontinuierlich drehenden Schraubern bei gleichem Anziehdrehmoment sowohl das mittlere Vorspannkraftniveau erhöht, als auch deren Varianz deutlich verringert [2]. Ungeachtet dieser Qualitätsvorteile sieht sich der Impulsschrauber trotz seiner stetigen Weiterentwicklung innerhalb der Industrie mit zahlreichen Vorbehalten konfrontiert. Infolgedessen konnte sich ein flächendeckender Einsatz dieser Werkzeuge bis zum jetzigen Zeitpunkt nur im asiatischen Raum und in Teilen Nordamerikas, gefördert durch den Einfluss japanischer Automobilhersteller, durchsetzen.

Im Gegensatz dazu verfügen kontinuierlich drehende Elektrowerkzeuge aufgrund ihrer bekannten Vorteile, wie der einfachen Erfassung der Messgröße Drehmoment sowie der Möglichkeit einer rückführbaren Kalibrierung über eine große Akzeptanz innerhalb der europäischen Industrie.

Gemäß der Charakteristik konstanter Drehzahlverläufe im Endanzug, wirken sich jedoch systembedingte Reibstrahlschwankungen der Verbindungselemente stärker auf die erreichte Vorspannkraft aus. Eine stetige Weiterentwicklung betreffend, ergibt sich hieraus das Potential einer qualitativen Optimierung kontinuierlich drehender Schraubwerkzeuge.

Wie vorausgehend erörtert, haben beide Werkzeugsysteme ihre individuellen Vorzüge und damit einhergehend entsprechende Anwendungsgebiete. Von besonderem Nutzen ist es jedoch, die bekannten qualitativen Vorteile des hochdynamischen Impulsschraubers mit der Akzeptanz und Bedienerfreundlichkeit kontinuierlich drehender Schraubwerkzeuge zu kombinieren. In Vorbereitung dessen sollen zunächst noch einmal die charakteristischen Besonderheiten eines Impulsschraubers in kompakter Form herausgestellt werden.

Das Grundprinzip eines Impulsschraubers basiert auf dem stoßartigen Weiterdrehen der zu verschraubenden Verbindungselemente. Bezugnehmend auf die Verbindungsqualität kommen der jeweiligen Antriebsart des eingesetzten Werkzeuges sowie der Pulserzeugung in hydraulischer oder mechanischer Form zunächst eine ungeordnete Bedeutung zu. So ist die Werkzeugauswahl den vorliegenden infrastrukturellen Gegebenheiten anzupassen. An dieser Stelle sei jedoch noch einmal darauf verwiesen, dass die Drehmomenthöhe eines Impulses nicht mit dem in die Verbindung eingebrachten Drehmoment gleichgesetzt werden kann. Aus diesem Grund ist es dem Verständnis dienlich, den eingeleiteten Impuls als Energiepaket zu betrachten [3]. Dabei korreliert die von der Impulszelle abgegebene Energiemenge mit dem Verschraubungsfortschritt.

Mit Blick auf die energetische Bilanz wird ersichtlich, dass ein Teil der eingebrachten Energiemenge aufgrund des Verformungsverhaltens von Kraftstecknüssen und zugangsbedingten Verlängerungen in elastische Torsion umgewandelt wird. Zudem erfolgt die Umwandlung weiterer Energiemengen durch ablaufende Verformungs-/ Anformprozesse wie beispielsweise bei überlagerten Blechen und konischen Verbindungen. Die verbleibende Energie dient schließlich dem aktiven Aufbringen des Drehwinkels und folglich der Erzeugung einer Vorspannkraft. Die Versuche hinsichtlich Vorspannkraftniveau und Varianz ergänzend [2], wurde das Verhalten der eingeleiteten Energiepakete auf die Schraubenverbindung zudem mit einem dreidimensionalen Beschleunigungsaufnehmer analysiert [4].

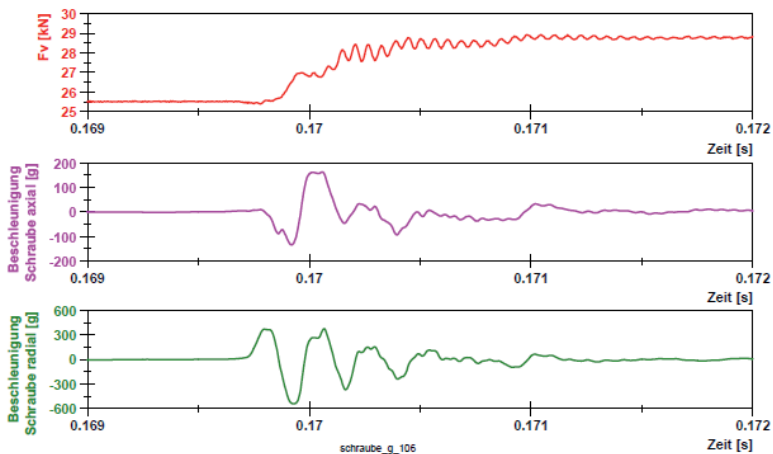


Bild 2: Axiale und radiale Beschleunigung bei Einwirkung eines Impulses [4]

Wie **Bild 2** zu entnehmen ist, wirken bei jedem Impuls über den gesamten Verschraubungsprozess sowohl in axialer, als auch in radialer Richtung sehr hohe Beschleunigungen auf die Schraube. Aufgrund schraubfallabhängiger Einflussfaktoren können jedoch keine allgemeingültigen Absolutwerte angegeben werden. Gleichwohl die Wirkungsdauer eines Impulses jeweils nur sehr gering ist, so sind die qualitativen Vorteile eines Impulsschraubers in diesen Beschleunigungsmaxima begründet.

Durch die Beschleunigung in Richtung der Längsachse wird die gesamte Schraube in axiale Bewegung versetzt. Infolge der reduzierten Anpresskraft des Schraubenkopfes gegenüber der Gegenlage im Augenblick des Weiterdrehens wird das zu überwindende Reibmoment unter Kopf verringert.

In Korrelation einer zunehmenden Vorspannkraft bei fortschreitendem Verschraubungsprozess verringert sich auch die Möglichkeit einer axialen Bewegung der Verbindungselemente. Gleichzeitig ermöglicht die beschriebene Charakteristik im beginnenden Verschraubungsprozess ab Kopfauflage einen geringeren Gleitmittelverbrauch, sodass dieses im Endanzug noch verstärkt wirksam ist.

Ein ähnliches Verhalten ist, bedingt durch axiale Bewegungen, auch zwischen den Gewindeflanken beider Verbindungselemente denkbar. Diese These gilt es jedoch in einer gesonderten Untersuchung näher zu spezifizieren. Ergänzend sei noch darauf hingewiesen, dass ein degressiver Drehzahlverlauf am Ende der Verschraubung die Verbindungsqualität ebenso positiv beeinflusst.

3. Aktueller Stand der Technik schwingungsunterstützter Schraubwerkzeuge

Aktuell wird der Effekt der Schwingungsüberlagerung, wenn auch nur als positive Nebenerscheinung, ausschließlich in pulsenden oder schlagenden Werkzeugen genutzt. Je nach Anwendung stehen dafür ein weites Spektrum verschiedener Schlagschrauber sowie zahlreiche gesteuerte Impulsschraubsysteme zur Verfügung.

Dennoch gab es bereits in der Vergangenheit zahlreiche Überlegungen und Ansätze zur Schwingungsüberlagerung während der Verschraubung und zum Lösen schwergängiger Verbindungen, welche in Form von Patenten dokumentiert sind. So wurden beispielsweise mehrere Vorschläge zur Nutzung von Schwingungen bei Rohrverschraubungen beschrieben. Vorrangige Ziele hierbei sollten ein gutes Anliegen der Gewindeflanken und eine verbesserte Dichtwirkung darstellen. Für den beabsichtigten Einsatz im Anlagen- und Gerätebau war eine vorrangige Nutzung von hohlen und dünnwandigen Bauteilen angedacht. Aufgrund dieser besonderen Geometrieansforderungen sind die beschriebenen Überlegungen für die in diesem Beitrag betrachteten Anwendungsfälle von untergeordneter Bedeutung. Weiterhin sind aus dem Bereich des Stahlbaus mögliche Anwendungen von Vibrationsenergie dokumentiert. Grund dafür war die teilweise unvermeidbare Montage angerosteter Bauteile, welche bei geringer Überdeckung der Rauigkeitsspitzen in Kombination mit einer sich bildenden Oxidschicht eine geringe Trennfugenreibung aufwiesen und folglich zum Abgleiten neigten.

Unter Berücksichtigung dieser Eigenschaften erforderte die sichere Vermeidung von Versagensfällen sehr hohe Klemmkräfte, welche jedoch besonders bei Montagearbeiten auf Baustellen begrenzt waren. Unter Einwirkung von Vibrationen auf Bauteile und Verbindungselemente sollte der Berührungsgrad mit zunehmender Frequenz deutlich gesteigert und demzufolge die erforderlichen Schraubenabmessungen verkleinert werden [7].

Zur Verbesserung des optischen Erscheinungsbildes und Diebstahlschutzes beschreibt ein weiteres Patent die Montage von Schrauben ohne Kraftangriff. Dabei dient die Schwingungseinleitung durch Ankopplung von Piezoelementen der gezielten Übertragung des erforderlichen Drehmoments [8]. Ergänzend sei an dieser Stelle noch auf ein Vorgehen zur Reduzierung setzungsbedingter Vorspannkraftverluste verwiesen. Zur Umsetzung dessen war das Einleiten von Schwingungen in Form von Schlägen vor, während und nach der Montage angedacht [9].

Bezugnehmend auf die Schraubenmontage wurden ebenfalls Patente zur gezielten Reibungsreduktion durch den Einsatz von Schwingungen veröffentlicht. Beispielsweise sollte durch Schwingungen in einem Frequenzbereich von 50 bis 200Hz quer zur Schraubenachse der Reibschluss während der Montage überwunden und so ein direkter Zusammenhang zwischen Drehmoment und Vorspannkraft hergestellt werden [10].

Eine weitere Idee bestand in der Überlagerung von Torsionsschwingungen während des Drehmomentanzuges mit Handwerkzeugen.

Zur Erhöhung der Genauigkeit sollten diese Werkzeuge zusätzlich mit Schleppzeigern ausgestattet sein. Für die Erzeugung der Schwingungen waren sowohl Unwuchtschwinger als auch Pressluftvibratoren und mechanische Umformer mit einem Frequenzspektrum von 15 kHz bis 50 kHz vorgesehen [11],[12]. Die Einleitung von Schwingungen fester Frequenzbereiche ergänzend, wurde auch ein Vorgehen unter Ausnutzung des Resonanzeffektes erläutert. Voraussetzung dafür stellte eine zusätzliche Schwingungsmesstechnik dar. Dabei sollte die Schraubenverbindung durch Longitudinalwellen kontinuierlich in ihrer Eigenfrequenz angeregt und so der Reibschluss verringert werden. Neben einer geringen Erregerenergie waren gemäß der Korrelation zwischen Eigenfrequenz und Vorspannkraftniveau zudem Rückschlüsse auf die Verbindungsqualität nach beendeter Montage beabsichtigt [13].

4. Experimenteller Nachweis einer aktiven Schwingungsüberlagerung

Zur Sicherstellung gleichbleibender Qualität wird der Verschraubungsprozess durch standardisierte Überwachungsverfahren kontrolliert. Diese Verfahren sind in entsprechenden Normen festgelegt. Für die Montage im Automobilbau wird gefordert, dass Drehmomente direkt gemessen werden und ausschließlich rückführbare Drehmomentsensoren zu verwenden sind. Trotz zahlreicher Patentanmeldungen sind nach aktuellem Stand der Technik keine Schraubvorrichtungen bekannt, welche erhöhte Reibungszahlen zwischen den Verbindungselementen kompensieren und gleichzeitig mit standardisierten Überwachungsfunktionen kompatibel sind. Ebenso sind keinerlei Messdaten oder Parameterstudien zu dieser Thematik verfügbar. Aufgrund hinreichend bekannter Schwingungseigenschaften lassen sich dennoch in der Theorie, durch die Verwendung schwingungsunterstützter und überwachter Werkzeuge, qualitative Vorteile für die hergestellten Verbindungen ableiten. Diese Annahme gilt es jedoch zuerst in einem experimentellen Nachweis zu bestätigen und hinsichtlich möglicher Einflussgrößen zu untersuchen.

Ziel der angestrebten, externen Schwingungsüberlagerung während der Montage ist das Herabsetzen der Reibmomente zwischen den Kontaktpartnern. Mit der aktuell verfügbaren Technik zur Schwingungserzeugung steht hierfür ein weites Frequenzspektrum vom nieder- bis hochfrequenten Bereich und variablen Kräften zur Verfügung. Für die Vermeidung zusätzlicher Geräuschentwicklungen erfolgten die ersten Versuche mit Schwingungen im Ultraschallbereich oberhalb von 20 kHz. Ergänzend war es für eine Analyse zudem von großem Interesse, in welchem Umfang die Teilreibmomente Unterkopf und im Gewinde beeinflusst werden. Aus diesem Grund erwies sich eine Durchführung der Versuche auf dem Reibungszahlenprüfstand als sinnvoll.

Eine weitere Einflussgröße stellten mögliche Schwingungsverluste während der Ankopplung zwischen dem Schwingungserzeuger und den anzuregenden Bauteilen dar.

Für eine bessere Vergleichbarkeit der Messergebnisse wurde deshalb mit einer festen Kopplung begonnen. Der hierfür verwendete Versuchsaufbau mit Anordnung der einzelnen Komponenten ist in **Bild 3** schematisch dargestellt.

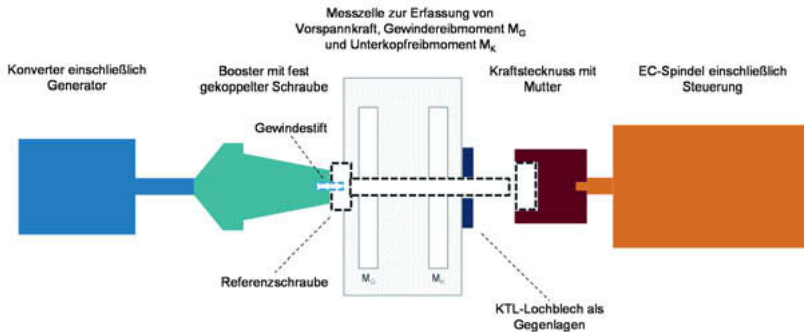


Bild 3: Schematischer Versuchsaufbau mit fester Kopplung und mutternseitigem Anzug

Zur axialen Ausrichtung des Schwingungsanregers einschließlich Schraube gegenüber der Durchgangsbohrung des Reibwertmesskopfes war eine starre und ortsfeste Halterung erforderlich. Diese verhinderte ein Mitdrehen des Ultraschallgenerators, bestehend aus Konverter und Booster. Aus diesem Grund wurde der Anzug der Verbindung mutternseitig realisiert. Die Umsetzung der festen Kopplung erfolgte über einen Gewindestift. Hierfür wurde eine Schraube der Abmessung M10 mit einer zusätzlichen Gewindebohrung im Kopf versehen.

Nach dem Einschrauben des Gewindestiftes in das bereits vorhandene Innengewinde des Boosters konnte die Schraube gegen dessen Vorderseite verspannt werden. Zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit des Ultraschallgenerators während der gesamten Montage war eine vorausgehende Abstimmung des schwingungsfähigen Systems erforderlich. Die dabei ermittelte Schraube sollte eine Mindestlänge von 100 mm aufweisen, was sich aufgrund der Breite des Messkopfes als Vorteil herausstellte.

Wie hinreichend bekannt ist, unterliegt die Ermittlung der Reibbeiwerte einer Vielzahl an Einflussgrößen. Hinsichtlich einer besseren Reproduzierbarkeit der Daten orientierte sich die Versuchsdurchführung daher an internen Werksnormen [14]. Als Referenzteile wurden die mit Gewindebohrungen präparierten Schrauben und KTL beschichtete Lochbleche verwendet. Zusätzlich wurden diese Teile in einem dreistufigen Verfahren mit Waschbenzin gereinigt. Die Flanschmutter, versehen mit einem Zinklamellenüberzug und gleitmittelhaltiger Deckschicht (r647 [15]), wurde gemäß Anlieferungszustand verschraubt und nicht zusätzlich behandelt. Das Festlegen einer geeigneten Anziehvorschrift erfolgte nach aktuellem Wissensstand anhand der aktuellen Werksnorm VW01131 [14].

So wurde ein zweistufiges Verfahren mit einem Voranzug auf 12 Nm (200 min^{-1}) und einem Endanzug auf 40 Nm (20 min^{-1}) über die Schraubersteuerung realisiert. Für das stabile Betreiben des Ultraschallgenerators wurden Konverter und Booster während der Versuche mit einer Frequenz von 20 kHz und einer maximalen Amplitude von $3,7 \mu\text{m}$ angeregt.

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse sind in **Bild 4** die beim Verschrauben gemessenen Teilreibmomente über der Vorspannkraft, mit und ohne Schwingungsüberlagerung, dargestellt.

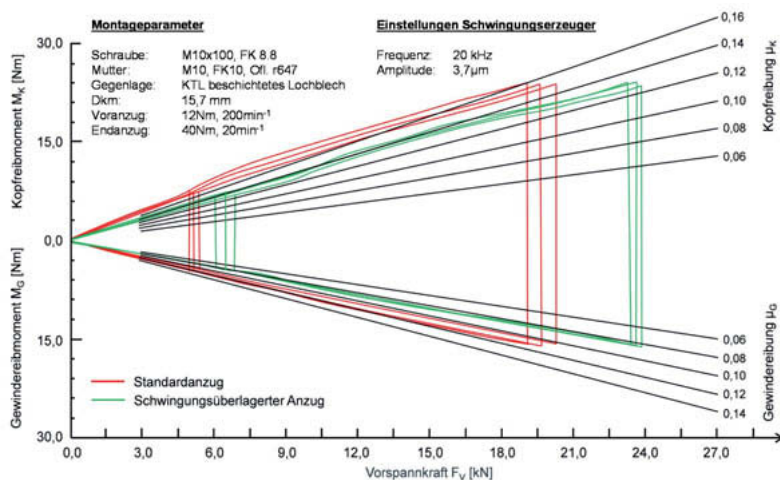


Bild 4: Vergleich der Teilreibmomente mit und ohne Schwingungsüberlagerung

Anhand des Reibstrahldiagrammes wird ersichtlich, dass das Niveau der Vorspannkraft beim Verschrauben mit Schwingungsüberlagerung nachweislich höher liegt und eine geringere Varianz aufweist.

In Analogie dessen sind auch die Teilreibmomente im Gewinde und Unterkopf durch den Einsatz von Ultraschallschwingungen geringer. Somit konnte die theoretische Annahme einer positiven Beeinflussung der Verbindungsqualität und Wirkungsgradverbesserung durch externe Schwingungsüberlagerung bestätigt werden.

Der anfänglich beschriebenen Versuchsanordnung geschuldet war die Schraube das aktiv angeregte Bauteil, diente jedoch während der Montage nur als ruhendes Referenzteil. Demzufolge mussten die eingeleiteten Schwingungen über das im Eingriff befindliche Gewinde auf die Mutter, als drehendes Bauteil gegenüber der Gegenlage, übertragen werden. Unter dem Aspekt toleranzbedingter Übertragungsverluste zwischen den Gewindeflanken ist

daher davon auszugehen, dass die Wirkung der Schwingungen beim Anzug der Flanshmutter nicht im vollen Maß genutzt werden konnte.

Gleichzeitig obliegt besonders der Kopfreibung während der Verschraubung ein großer Einfluss auf die erzeugte Vorspannkraft, sodass es diese bestmöglich zu reduzieren gilt. Zu diesem Zweck war ein angepasster Versuchsaufbau, welcher eine aktive Schwingungsanregung der Schraube bei gleichzeitiger schraubenseitiger Montage ermöglicht, erforderlich.

Dazu wurden Booster und Konverter in einer Halterung drehbar gelagert. Die Aufnahme des Boosters erfolgte im Bereich des Nulldurchganges der erzeugten Amplitude, sodass keine schwingungstechnischen Verluste auftraten. Ebenso wurde die anfänglich verwendete EC-Spindel mit Z-Abtrieb durch einen EC-Schrauber mit Winkelgetriebe und geschlossenem Flachabtrieb ersetzt. Vorteil dessen war die axiale Ausrichtung von Messzelle, Schraube und Ultraschallerzeuger bei gleichzeitig überwachtem und schraubenseitigen Drehmomentanzug. Die angepasste Versuchsanordnung kann schematisch **Bild 5** entnommen werden.

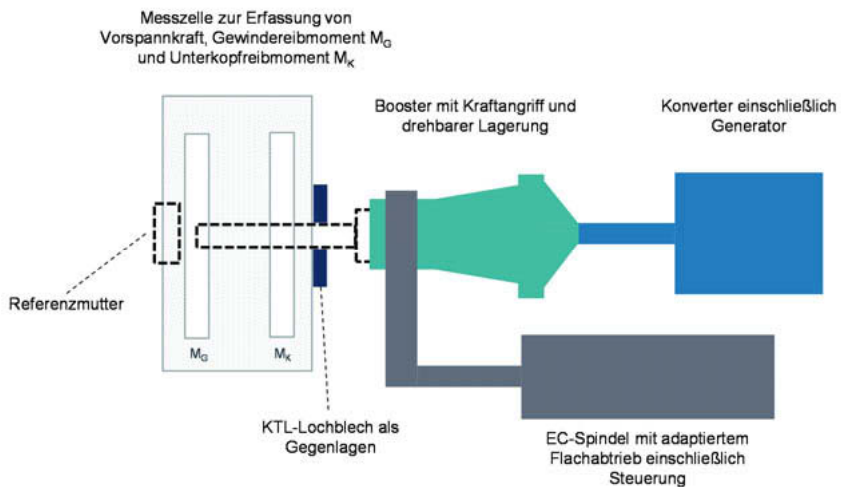


Bild 5: Schematischer Versuchsaufbau mit loser Kopplung und schraubenseitigem Anzug

Gemäß der kabelgebundenen Energieversorgung zwischen Generator und Konverter war der Drehwinkel des Schwingungserzeugers während der Verschraubung begrenzt. Unter Berücksichtigung des Vorspannkraftaufbaus ist für die Versuche eine Schwingungseinleitung erst ab Kopfanlage zwischen Verbindungselement und Gegenlage von Interesse, weshalb die Schrauben in einem vorgelagerten Arbeitsschritt manuell bis kurz vor Kopfanlage eingeschraubt wurden. Eine grundlegende Voraussetzung, die es hinsichtlich eines möglichen

Serieneinsatzes von Beginn an zu berücksichtigen galt, ist das Beibehalten standardisierter Kraftangriffe der Schrauben. Dafür war es erforderlich, auch eine lose Kopplung zu erproben. Hierzu wurde der Booster, wie in **Bild 6** dargestellt, als Nuss mit einem Sechskantkraftangriff und einer Schlüsselweite von 16 mm ausgeführt.

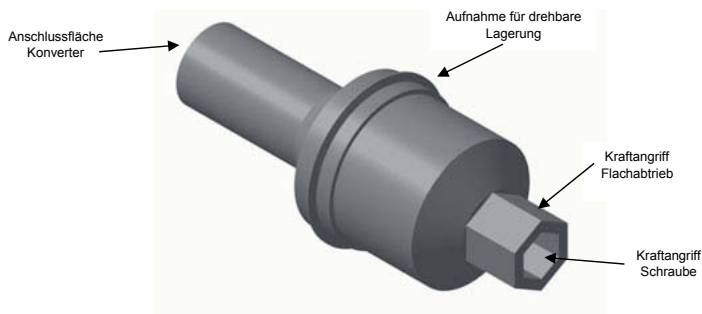


Bild 6: Booster mit zweifachem Sechskantkraftangriff für die lose Kopplung

Ein zusätzlich gefertigter Außensechskant mit einer Schlüsselweite von 24mm diente als Kraftangriff für den geschlossenen Flachabtrieb und ermöglichte einen kontrollierten Drehmomenteintrag durch den EC-Schrauber. Eine grundlegende Voraussetzung für die lose Schwingungskopplung bildet der ständige Kontakt zwischen Booster und der Oberseite des Schraubenkopfes. Deshalb wurde der Gleitschlitten, einschließlich drehbarer Lagerung, mit einer Feder vorgespannt. Die dabei eingestellten Anpresskräfte waren mit ca. 100N bewusst gering gewählt und dienten vorrangig einer kontinuierlichen Nachführung. Auch war bei der Konstruktion des beschriebenen Boosters die Eintauchtiefe des Schraubenkopfes in die Nuss von Bedeutung. Ist diese zu groß, so stützt sich die Schraube gegenüber der Nuss auf dem überstehenden Flansch ab. Infolgedessen wäre die Schwingungsübertragung ausschließlich über eine ringförmige Kontaktfläche erfolgt, was es zur Vermeidung zusätzlicher Übertragungsverluste zu unterbinden galt.

Die für den Versuch verwendeten Schrauben hatten gemäß Anforderungen aus vorausgegangener Simulation die Abmessung M10x100 und als Oberflächenschutz einen Zinklamellenüberzug mit gleitmittelbehafteter Deckschicht (t647 nach [14]). In Analogie der Festigkeitsklasse 10.9 erfolgte eine Anpassung der zweistufigen Montagevorschrift. So wurde der Voranzug bei 200 min⁻¹ auf 17 Nm und der Endanzug mit 20min⁻¹ auf 55 Nm angepasst. Zur genaueren statistischen Beurteilung wurden jeweils 10 Versuchsteile montiert und ausgewertet.

In diesem Zusammenhang sollte ebenso ein möglicher Einfluss auf Wiederholverschraubungen untersucht werden, sodass bei jeder Schraube neben dem Erstanzug auch drei Wiederholverschraubungen durchgeführt wurden.

Der Ultraschallanreger wurde mit 20kHz und einer Booster bedingten Amplitude von 4,2 μm betrieben. Die Ergebnisse der Versuchsreihe sind in **Bild 7** zusammengefasst.

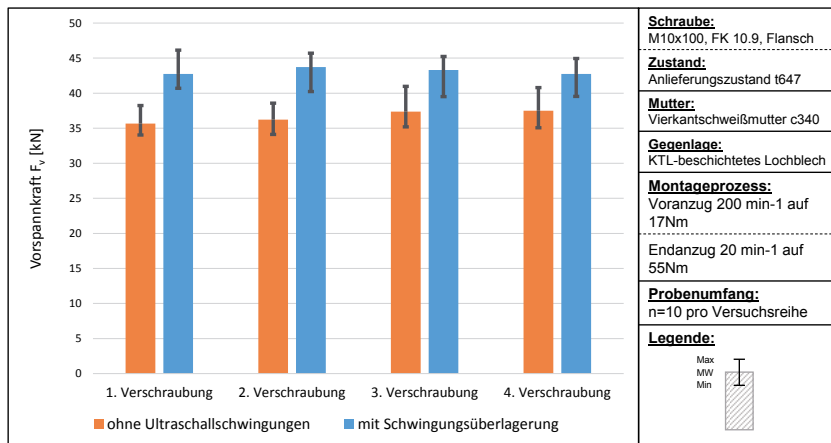


Bild 7: Schrauben im Anlieferungszustand: Vorspannkraftvergleich mit und ohne Schwingungsüberlagerung

In Bezug auf die Versuche mit Schrauben im Anlieferungszustand kann festgestellt werden, dass die Schwingungsüberlagerung ein nachweislich höheres mittleres Vorspannkraftniveau in den Verbindungen erzeugt. So beträgt die Steigerung der Klemmkraft unter den angegebenen Randbedingungen für die Erstverschraubung annähernd 20%. Ursache dafür ist die Herabsetzung des Reibschlusses zwischen den Kontaktpartnern infolge axialer Schwingungen während der Montage. Folglich steht für den Vorspannkraftaufbau ein größerer Anteil des eingeleiteten Drehmomentes zur Verfügung. Wenngleich sich der Reibungseinfluss durch Glättungseffekte bei Wiederholverschraubungen verringert, so ist eine Schwingungsüberlagerung in dieser Anwendung gemäß einer Vorspannkrafterhöhung um 15% dennoch sinnvoll. Im Gegensatz dazu konnten bezüglich der erreichten Vorspannkraftvarianz keine signifikanten Verbesserungen durch das Einleiten von axialen Schwingungen festgestellt werden. Ergänzend sei an dieser Stelle noch angemerkt, dass die für diesen Versuch verwendeten Schrauben vom Hersteller mit Gleitmittel beaufschlagt und somit optimal eingestellt waren. Der Gesamtreibbeiwert betrug bei der Erstverschraubung im Mittel $\mu_{\text{ges}}=0,9-0,11$. Folglich ist

auch der schwingungswirksame Effekt einer Vorspannkrafterhöhung in seinem Umfang begrenzt.

Im Gegensatz dazu ergibt sich in der theoretischen Betrachtung ein Hauptschwerpunkt schwingungsunterstützter Werkzeuge für Verbindungselemente mit höheren oder signifikant schwankenden Reibungszahlen. Aus diesem Grund wurden Schrauben für einen weiteren Versuch in inhibierter Salzsäure gebeizt, wodurch die Beschichtung entfernt wurde.

Hieraus ergab sich für die Erstverschraubung gegen KTL-beschichtetes Lochblech ein mittlerer Gesamtreibbeiwert von $\mu_{\text{ges}}=0,40-0,46$. Gleichwohl derartig hohe Reibungszahlen für die serielle Produktion nicht zulässig sind, wurde diese Einstellung zur Untersuchung der beschriebenen Thematik bewusst gewählt. Die jeweils erreichten Vorspannkraftniveaus mit und ohne Schwingungsüberlagerung sind in **Bild 8** gegenübergestellt.

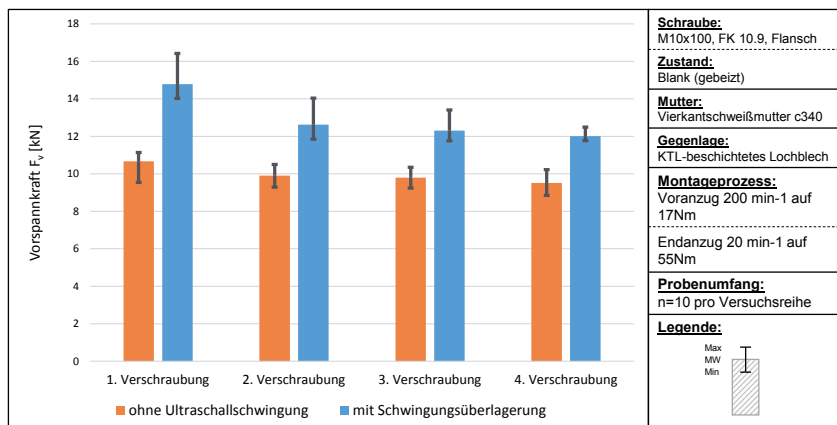


Bild 8: Schrauben gebeizt- blank: Vorspannkraftvergleich mit und ohne Schwingungsüberlagerung

Es wird ersichtlich, dass auch in diesem Versuch das mittlere Vorspannkraftniveau durch Einbringen externer Schwingungen deutlich gesteigert werden konnte. Aufgrund erhöhter Reibungseffekte blanker Oberflächen ergibt sich eine verstärkte Wirksamkeit des Vibrations-effektes. Gleichwenn das Vorspannkraftniveau geschmierter Schrauben unter den bewusst extrem gewählten Bedingungen nicht erreicht werden kann, so bewirkt die Anregung im Ultraschallbereich eine Verbesserung von 38%. Diese Eigenschaft ist besonders für eine Kompensation fertigungsbedingter Reibzahlschwankungen bei Verbindungselementen von großem Interesse.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund stetiger Wechselwirkungen der Reibungsverhältnisse zwischen den Kontaktpartnern innerhalb der drehmomentgesteuerten Schraubenmontage ist ein Rückschluss auf die erzeugte Vorspannkraft nur bedingt möglich. Gleichzeitig ist die Haftreibung im Betriebsfall unter wechselnder Belastung zur Unterdrückung eines selbsttätigen Lockerns oder Losdrehens von besonderer Bedeutung, sodass der Einsatz von Schmierstoffen nur begrenzt zulässig ist. Eine andere Möglichkeit der Qualitätsoptimierung obliegt der Weiterentwicklung bestehender Schraubwerkzeuge. So besteht in der Verknüpfung der positiven Eigenschaften von kontinuierlich drehenden Schraubwerkzeugen und Impulsschraubern ein neuer Ansatz.

Dafür wird beabsichtigt, die drehmomentgesteuerte Montage mit extern erzeugten, axialen Schwingungen zu überlagern und die auftretenden Reibeffekte während der Verschraubung zu minimieren. Jedoch galt es diese theoretischen Annahmen in einem Laborversuch zunächst näher zu spezifizieren. Neben der Entwicklung spezieller Prüfstandsaufbauten musste auch die verwendete Schwingungsart festgelegt werden. Für die Vermeidung zusätzlicher Geräuschentwicklungen erwies sich der Ultraschallfrequenzbereich oberhalb 20kHz als geeignet. So konnte in Versuchsreihen mit loser und fester Schwingungsankopplung durchgehend ein positiver Einfluss auf die Verbindungsqualität nachgewiesen werden. Ergänzend konnte zudem festgestellt werden, dass die Wirksamkeit der Schwingungen unter erhöhten Reibungsverhältnissen ansteigt. Aufgrund der eingeschränkten Amplitudenvariation innerhalb des Versuchsaufbaus und der ausschließlichen Nutzung von Frequenzen im Ultraschallbereich entsprechen die hier vorgestellten Ergebnisse jedoch ausschließlich einem Funktionsnachweis.

Folglich gilt es in umfangreichen Analysen die wichtigsten Einflussparameter innerhalb der Schwingungsüberlagerung herauszustellen. So sind in weiteren Versuchsreihen beispielsweise die Auswirkungen verschiedener Amplituden zu untersuchen. Auch ist die optimale Höhe der eingeleiteten Kraft in Abhängigkeit des Schraubfalls und die bestmögliche Form der Schwingungsanregung zu bestimmen. Ebenso kommt auch der losen Schwingungsankopplung, für die beabsichtigte Nutzung standardisierter Kraftangriffe, eine große Bedeutung zu.

Ergänzend zum hochfrequenten Bereich ist es sinnvoll, ebenso den Einfluss niederfrequenter Schwingungen bis 1000 Hz zu untersuchen. Dafür sind unter Umsetzung eines speziellen Prüfstandsaufbaus weitere Versuche und Parameterstudien auf einem elektro-mechanischen Schwinger in Planung.

Veröffentlichungen über den Inhalt der Arbeit sind nur mit schriftlicher Genehmigung der Volkswagen Aktiengesellschaft zugelassen. Ergebnisse, Meinungen und Schlüsse dieser Veröffentlichung sind nicht notwendigerweise die der Volkswagen Aktiengesellschaft.

1 Literatur

- [1] VDI/VDE 2862 Blatt 1: *Mindestanforderungen zum Einsatz von Schraubsystemen und -werkzeugen/ Anwendungen in der Automobilindustrie*, Stand: April 2012
- [2] M. Merten: *Potentialanalyse der Impulsschraubtechnik im Automobilbau*, große Belegarbeit bei der Volkswagen AG Nutzfahrzeuge, Hannover 2014
- [3] M. Merten, M. Tiede, E. Behm, J. Rammelkamp: *Dimensionierung und Parametrierung von Impulsschraubern*, Parametrierleitfaden von der Volkswagen AG Nutzfahrzeuge, Hannover, Stand 01/2017
- [4] M. Wilke, B. Werthe: *Stand der Impulsschraubtechnik und deren Vorzüge in der Großserienfertigung*, Volkswagen AG, Beitrag zur Tagung Schraubenverbindungen des Deutschen Schraubenverbandes, Darmstadt 2012
- [5] <https://www.lti-motion.com/de/branchenloesungen/general-mechanical-engineering/werkzeugmaschine>, Stand 28.01.2019
- [6] https://www.badalini.it/home_de.php?azione=scheda_prodotto_de&id=168, Stand 28.01.2019
- [7] Horioka, Masaki, Yokohama, Kanagawa (Nippon Kokan K.K, Tokio): *Verfahren zum Befestigen von Bauelementen mittels einer Schraube*, Patent DT 2354346 A1, Japan, 07.05.1975
- [8] Hiroshi Kawano; Tatsuya Hirahara (Nippon Telegraph and Telephone Corporation Tokyo): *Screw Driving Device and Screw*, Patent US 7800283 B2, USA, 21.09.2010
- [9] Haas, N. (Daimler-Benz AG): *Verfahren zum Anziehen einer Schraubverbindung*, Patent DT 2604369, Deutschland, 18.08.1977

- [10] Jacob, H.-J. (Technische Universität Dresden): *Verfahren zum Einstellen der Vorspannkraft einer Schraubverbindung*, Patent DD 287 676 A5, Deutschland, 07.03.1991
- [11] Junker, G. (Bauer & Schaurte, Schrauben- und Mutterfabrik): *Verfahren zum Anziehen von Schrauben*, Patent DE 1603708A, Deutschland, 17.09.1970
- [12] Pruder, G.; Maropis, N.; Jones, J. (Aeroprojects Inc., West Chester): *Verfahren und Vorrichtung zum Verdrehen von Schraubverbindungen*, Patent DE 1812526A, Amerika, 03.07.1969
- [13] Wenske, H.; Gallien, A.; Kauschinger, M.; Unger, K.; Brendel, J. (VEB Chemieanlagenbaukombinat Leipzig. Grimma): *Verfahren und Einrichtung zum Anziehen oder Lösen schraubbarer Verbindungen*, Patent DE 3620578 A1, Deutschland, 02.01.1987
- [14] VW 01131: Volkswagen AG Konzernnorm: *Ermittlung von Reibungszahlen- mechanische Verbindungselemente aus Stahl mit Metrischem ISO-Gewinde*; Stand: 03/2018
- [15] VW13750: Volkswagen AG Konzernnorm: *Oberflächenschutz für Metallteile- Schutzarten, Kurzzeichen*; Stand: 07/2018

Werkerführung bei der Schraubmontage in der industriellen Produktion

Herausforderungen der modernen Schraubmontage im I4.0 Zeitalter

Hans J. Reiter,

Product Management Joining Technology Bosch Rexroth, Murrhardt

Kurzfassung

Neue Produktionsmethoden mit I4.0 Vorgaben verlangen auch neue Ansätze bei der Schraubmontage, um die damit verbundenen Herausforderungen zu bewältigen. Eine gut konzeptionierte Werkerführung kann hierzu Lösungen bereitstellen.

Abstract

The connected industry demands that tightening operations in the industrial production provide new solutions that reflect the increase of complexities in the modern assembly process. An operator guidance system can be the answer for these challenges.

1. Einführung:

Der Vortrag versucht folgende Fragen zu beantworten:

Was ist eine Werkerführung, was kann Sie und warum wird sie eingesetzt?

Was sind die Bestandteile einer typischen Werkerführung?

Welchen Nutzen oder welche Vorteile bringt eine Werkerführung?

2. Begrifflichkeit und Definition:

Eine Werkerführung ist am einfachsten als ein Assistenzsystem zu verstehen, dass einem Worker in der industriellen Montage in den Einzelaufgaben unterstützt, leitet und ihm Entscheidungen abnimmt oder zumindest leichter macht.

3. Der Wandel in der industriellen Produktion durch die Anforderung von erhöhter Flexibilität:

Warum ist das nun überhaupt so gekommen? Man kann ja nicht behaupten, dass die heutigen Fließbandarbeiter im Vergleich zu Ihren Kollegen aus der Frühzeit der Autoproduktion dümmmer geworden sind. Nein, es liegt daran, dass die Anforderungen an den Worker enorm gestiegen

sind. Der Grund darin liegt ganz eindeutig in der Forderung nach einer zunehmenden Flexibilität der Produktion (full flex production): Da wo früher oft nur ein einziges Automodel über die Anlage gelaufen ist, da wird von einer modernen Autofabrik gefordert mehrere Modelle bauen zu können, und dies je nach Auftragslage „on the fly“ also ohne großen Umbau der Anlage wegen eines Modellwechsels. Das heißt in der Konzeption der Anlage ist eine größtmögliche Ausnutzung der Produktionsressourcen fest eingebaut. So sollte es zum Beispiel überspitzt ausgedrückt von der A Klasse bis zur S Klasse von Daimler alles auf einer Linie gefertigt werden können. Unter Umständen sogar mit der Losgröße eins und das mit dem kleinstmöglichen Aufwand an Linienumbau.

4. Die neuen Herausforderungen an den Arbeitsplatz und den Werker:

Das bedeutet, dass der Arbeitsplatz einer individuellen Station an der Linie, alle potentiellen Teile zur Verfügung haben muss und auch die notwendigen Maschinen und Werkzeuge vorhanden und sofort ohne Umrüstung einsatzfähig sein müssen. Allein die Auswahl des jeweiligen Werkzeuges und die jeweils richtige Anwendung ist eine komplizierte Aufgabe für einen Werker.



Bild 1

Was ist nun anders geworden?

Das heißt zum Beispiel an einer Schraubstation, dass nicht nur alle Arten von Schrauben vorhanden sein müssen, sondern auch alle Schrauber alle Schraubaufgaben erfüllen können. Während in der Vergangenheit vielleicht, wie im Bild oben gezeigt wird, ein Abschaltschrauber mit einem fest eingestellten Drehmoment ausreichte, können Schrauber der neuesten Generation oft 256 Parametrierungen, Programme oder Sequenzen abarbeiten und dies wiederum „on the fly“ bewerkstelligen., ja sogar automatisiert, entweder so vorprogrammiert oder jeweils durch ein Signal einer SPS dazu befehligt.

Früher musste der Werker vielleicht nur wissen, welcher Schrauber zu welchem Schraubvorgang benutzt werden muss. Heutzutage sind die Montageaufgaben ungleich vielfältiger. Teile müssen ausgewählt und Produktmodellen zugeordnet werden, Die Sequenz einer Schraubmontage mit mehreren Schraubfällen ist oft nicht einfach. Moderne Schrauber sind oft Clients in einem WIFI Netzwerk und nicht mehr nur einfache mechanische Geräte, die über einen Schalthebel bedient werden. Ein Abschaltschrauber braucht oft nur einen Drücker, ein moderner EC Akkuschrauber braucht eine geladene Batterie, braucht Zugang zum WIFI Netz, braucht eine Freigabe zum Schrauben und blockiert wenn irgendwas in der Abfolge nicht den Voraben entspricht.

Dass diese Konstellation eine enorme Komplexität für den einzelnen Werker darstellt, steht außer Frage.

Der Werker an einer modernen Produktionsanlage weiß oft auch nicht, welches genaue Model als nächstes in seine Station einfährt und genau welche Arbeitsschritte für dieses Model an einem Arbeitsplatz gefordert sind.

Hier genau setzt die Werkerführung an: Zum Beispiel könnte auf dem Monitor dargestellt werden, welches Teil als nächstes zu montieren ist, inklusive der einzelnen Schraubfällen, wie an diesem folgenden Beispiel aufgezeigt wird:

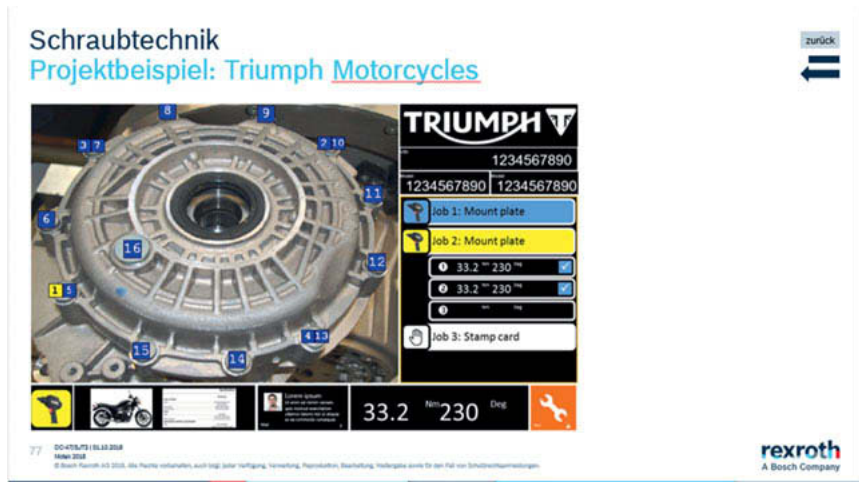
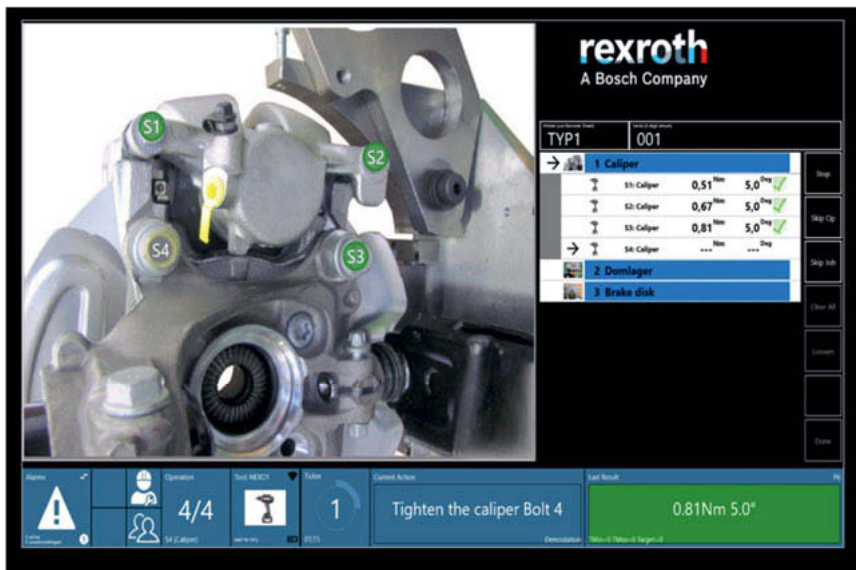


Bild 2

Wie zu sehen ist, ist eine Werkerführung in der Lage anzuzeigen, in welcher Sequenz eine Anzahl von Verschraubungen zu tätigen sind. So kann die als nächste zu bearbeitende Schraube auf der bildlichen Darstellung farblich (z.B. gelb) abgehoben werden und schon verarbeitete Schrauben mit grün als IO Verschraubungen angezeigt werden. Verschraubungen, die nicht in Ordnung waren (NOK) können deutlich mit rot gekennzeichnet werden. Zusätzlich zur Sequenzanzeige der einzelnen Verschraubungen kann der Monitor auch noch folgende hilfreiche Details anzeigen:



- Welcher Schraubertyp benutzt werden soll - in unserem Fall zum Beispiel ein Pistolenschrauber
- Eine Progressionsanzeige – in unserem Beispiel hier 4 von 4 Schraubfällen
- Eine Detailanzeige mit der Auflistung aller gegenwärtigen Schraubfällen inklusive individuellem Resultat für Moment und Winkel und der Bewertung

Bild 3

Zuzüglich zu der Vorgabe der Sequenz von Schraubfällen kann die Werkerführung auch bildlich darstellen, genau welches Schraubwerkzeug für diese Arbeitsschritte zu benutzen (sollte zum Beispiel die nächste Verschraubung mit einem anderen Schrauber getätigt werden) ist und des weiteren, genau welche Nuss oder welcher Bit hierfür auf den Schrauber aufgesteckt sein muss.

Die Werkerführung nimmt dem Werker also die Entscheidung, welches Teil mit welchem Schrauber in welcher Sequenz verarbeitet werden muss ab und zeigt dies genau Arbeitsschritt für Arbeitsschritt in Bildfolgen auf dem Monitor an, so dass er den vorgegebenen Schritten nur zu folgen hat, ohne sich Gedanken machen zu müssen in Hinsicht auf das Was und Wie der Arbeitsschritte. Weitere Vorteile ergeben sich bei Schichtwechsel – hier erlaubt eine Werker-

führung ein schnelles Erkennen, wo der letzte Kollege aufgehört hat. Auch notwendige Nacharbeiten können durch klar durch bildliche Darstellung der betroffenen Schraubstellen einfach und schnell identifiziert und durchgeführt werden.

In Summe geht es hier um das hohe Ziel der Nullfehlerproduktion, in der auch der Gedanke eine Rolle spielt, nicht nur letztendlich Fehler zu vermeiden, sondern auch schon im ersten Anlauf alles korrekt zu bewerkstelligen. Eine Aufgabe, die bei den komplexen Systemen einer modernen Produktion von einem Werker ohne Anleitung kaum noch zu bewältigen ist.

Eine nützliche Nebenwirkung eines solchen Systems ist dann auch die Möglichkeiten für Werker öfters und vor allem leichter den Montageplatz zu wechseln, um Monotonität und vor allem einseitige körperliche Belastungen zu vermeiden.

5. Systemaufbau einer Werkerführung am Beispiel Triumph:

Ich habe oben vor allem die Werkerführung dargestellt als eine Visualisierung auf einem auf dem Arbeitsplatz aufgestellten Monitor. Basis dieser Visualisierung ist eine SPS, eventuell auch PC basierend, die die notwendige Logik in Ihrer Programmierung beinhaltet. Die Kommunikation zu den Schraubsystemen kann dann über LAN oder WLAN durch Open Protocol an die Schraubwerkzeuge selbst und die eventuell anderen Peripheriegeräte (zum Beispiel Stecknussköcher) weitergegeben werden. Einen Überblick über die Systemkomponenten und deren Zusammenspiel sehen Sie hier:

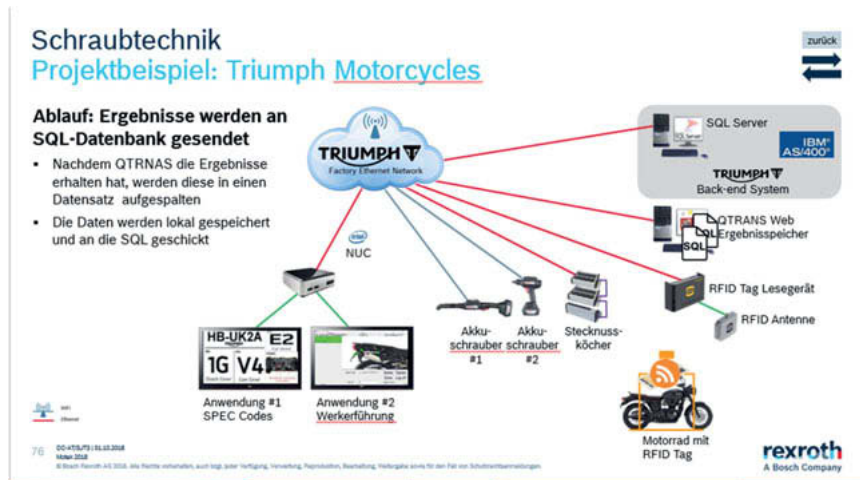


Bild 4

Ein Beispiel für den Aufbau eines intelligenten Nussköchers sehen Sie hier:



Bild 5

Natürlich geht eine gute Werkerführung über das Anzeigen von Arbeitsschritten auf einem Bildschirm hinaus. Das reibungslose Zusammenspielen einer wohlausgefeilten Prozesslogik,

wie z.B. durch „pick to light“ wo die Auswahl von zu entnehmenden Teilen angezeigt und überwacht wird, Kameras, die das Vorhandensein bestimmter Teile am rechten Platz bestätigen und zum Beispiel auch das Zusammenfügen von Programmfolgen zu Jobs kann Teil der Werkerführung sein.

So wird zum Beispiel durch ein Scanvorgang, eine MID über Open Protocol oder auch generell ein Signal einer SPS ein bestimmter Schrauber freigegeben, der dann z.B. 3 Schrauben mit dem Programm # 15 verschraubt und dann automatisch auf das Programm 28 wechselt und damit noch 2 Verschraubungen tätigt und schließlich am Ende nochmals eine Schraube mit dem Löseprogramm löst.

Und auch hier ist eine Werkerführung noch nicht ausgereizt. Bei Bosch Rexroth können wir in Verbindung mit dem Funkakkuschrauber Nexo und seinem hochauflösendem Display direkt auf dem Schrauber und im Blickwinkel noch zusätzliche Hinweise geben, wie z.B. den OK/NOK Zähler, Hinweise bei NIO wie z.B. „Gewindeschaden -Schraube ersetzen“ oder „Sofort nacharbeiten“.

Das heißt in einem wohl definierten Zusammenspiel wird durch die dezentrale Intelligenz am Arbeitsplatz selbst noch ein Maximum an Unterstützung für den Arbeiter für seine komplexen Aufgaben erreicht. Der Arbeiter sollte sich somit auf die Dinge konzentrieren können, die von ihm gefordert sind und in seiner Tätigkeit effizient unterstützt werden.

Schließlich gehört zu einem wohl integrierten System auch das Erfassen und wenn nötig zum Beispiel im Falle eines Netzwerkausfalls bei einem Funkakkuschrauber auch das Zwischenlagern der Schrauberergebnisse auch letztendlich auch das Abschieken und Archivieren der Ergebnisdaten auf einem Server.

In Summe, so glauben wir bei Bosch Rexroth kann eine gute Werkerführung im Zusammenspiel mit modernsten intelligenten und kommunizierenden EC Schraubern einen wesentlichen Beitrag dazu zu leisten, die sehr komplex gewordenen Anforderungen einer Montage im Zeitalter der I4.0 zu meistern.

Schraubmontage im Lichte der IATF 16949

Chance und Herausforderung

Fastener Assembly in the light of the IATF 16949

Chance and Challenge

Dipl.-Ing. Schraubfach.-Ing. (DSV)[®], **Markus Fischer**,
SCS Concept Academy GmbH, Reisbach

Kurzfassung

Mit der Veröffentlichung der aktuellen ISO 9001 im Jahre 2015 gab es bereits maßgebliche Änderungen bzw. Verschiebungen des Fokus für alle Anwender, so auch in der Schraubtechnik. Die branchenspezifischen Qualitätsmanagement-Normen (QM-Normen) wie z.B. die DIN EN 9100 (Luftfahrt), die ISO/TS 22163 (Bahn) oder aber eben die IATF 16949 für die Automobilindustrie beschreiben in der Regel höhere Anforderungen oder sind zumindest deutlich spezifischer beschrieben. Die IATF 16949 ist dabei im Bereich der Schraubtechnik ein wahres „Schatzkästchen“ für alle Praktiker aus den Bereichen Produktion, Qualitätssicherung und Instandhaltung. Dies gilt vor allem für Personen, denen Aspekte wie Minimierung von Risiken und Verbesserung der Qualität bei gleichzeitiger Berücksichtigung wirtschaftlicher Faktoren wichtig sind.

Der Beitrag greift einige wesentliche Punkte der IATF 16949 für die Schraubtechnik heraus und setzt sie in den globalen Kontext von ohnehin bestehenden gesetzlichen Forderungen oder anderen neuen technischen Regelwerken. Die Schlaglichter reichen von der Parametrierung von Überwachungsgrößen an Schraubsystemen über spezifische Anforderungen an Mess- und Prüfmittel bis hin zu spezifischen Kompetenzanforderungen in der Instandhaltung bzw. bei Montage, Maschinenfähigkeits- und Prozessfähigkeitsuntersuchung.

1. Hintergrund

Die IATF 16949 hat sich bereits mit seinem Vorgänger der ISO/TS 16949:2009 als weltweit anerkannter Standard für Qualitätsmanagementsysteme in der Automobilindustrie etabliert. Entwickelt wurde die aktuelle Version des Regelwerkes von der International Automotive Task Force (IATF), einer Arbeitsgruppe von Automobilherstellern und -verbänden.

Die Verbände sind namentlich:

- VDA (Verband der Automobilindustrie - Deutschland)
- AIAG (Automotive Industry Action Group - Nordamerika)
- ANFIA (Associazione Nazionale Filiera Industria Automobilistica - Italien)
- FIEV (Fédération des Industries des Équipements pour Véhicules - Frankreich)
- SMMT (Society of Motor Manufacturers and Traders - Großbritannien)

Im Oktober 2016 erschien die Neufassung auf Basis der High Level Structure der ISO (International Organization for Standardisation) für integrierte Management Systeme. Dies vereinfacht ihre bestimmungsmäßige Anwendung in Kombination mit der ISO 9001:2015 deutlich. Das risikobasierte Denken stellt dabei einen Fokus beider Normen dar. Bei gleichrangiger Betrachtung von und Umgang mit Gefahren und Chancen soll dem Eintreten von unerwünschten Ereignissen effektiv vorgebeugt werden. Denn man darf nicht vergessen, dass sichere Produkte nur mit einem entsprechend gelebten Qualitätsmanagement realisierbar sind. Die Schraubtechnik mit all ihren Facetten (z.B. C-Teile Einkauf, Konstruktion, Produktionsplanung, Softwarebeschaffung, Instandhaltung, Prozessfähigkeituntersuchung) ist ein wesentlicher Bestandteil der modernen industriellen Fertigung und muss ebenfalls im Lichte dieser Qualitätsmanagementvorgaben betrachtet werden. Wie dies sinnvoll, wirtschaftlich und pragmatisch möglich ist, wird im Folgenden beispielhaft erläutert.

Zum Einstieg wollen wir uns der Beurteilung von Mess- und Prüfmitteln bzw. deren Rückführbarkeit widmen. Auch wenn diese Punkte in vielen anderen Fällen als eher unproblematisch zu betrachten sein werden, verbergen sich in der Schraubtechnik dahinter doch häufig große Herausforderungen.

Bei der Annäherung zum Thema sollte man sich zunächst die Frage stellen, ob es sich bei einem vorliegenden Gerät um ein Prüf- bzw. Messmittel handelt oder vielleicht doch eher um ein Produktionsmittel. In der Schraubtechnik ist es üblich von einem Produktionsmittel zu sprechen, wenn das Gerät zur Herstellung einer Schraubverbindung genutzt wird. Der alternative Fall zur Überprüfung erschließt sich entsprechend. Dass die konsequente Umsetzung jedoch in der industriellen Schraubtechnik für Verwirrung sorgen kann und dies auch immer wieder tut, wird am Fall des mechanisch auslösenden Drehmomentschlüssels (im Folgenden maD bezeichnet) klar. Dieses System findet für die Herstellung von Schraubverbindungen sowie zur attributiven Prüfung z.B. nach VDA 5.2 Anwendung. Auch wenn dieses System in der Anwendung im industriellen Umfeld in der Regel klar unterschiedlich gekennzeichnet ist, wird bei

dem Nachweis seiner Fähigkeit, diese wichtige und strikte Unterscheidung häufig vernachlässigt.

Wird ein maD als Prüfmittel genutzt, so ist er nach DIN EN ISO 6789:2017 zu kalibrieren. Dabei ist zu beachten, dass hierfür das Blatt 2 der Norm Anwendung finden muss. Hier wird, wie für Prüfmittel zu erwarten, das Hauptaugenmerk auf die Messunsicherheit gelegt und dieses mit dem Kalibrierzertifikat ausgewiesen. Zudem umfasst die Kalibrierung teilweise schon Bereiche, die man auch bei einer Messgerätefähigkeitsuntersuchung erwarten würde. Ein Beispiel hierfür ist die Betrachtung des Einflusses der Änderung des Krafteinleitungspunktes entlang des Griffes. Erwartungsgemäß ist eine solche Kalibrierung mit gewissen Aufwendungen verbunden, was in der Regel auch zu höheren Kosten führt. Manch Anwender der vorangegangenen Version, nämlich der DIN EN ISO 6789 von 2003, war wohl verblüfft, als er die detaillierten Anforderungen las, die nun in der Version von 2017 zu finden sind, auch wenn diese für den Anwendungszweck im Bereich der Prüfmittel nur allzu verständlich sind. Jedoch hatte man sich früher mit deutlich verkürzten Prüfumfängen zufriedengegeben – vermutlich, weil die Masse der Anwender den maD ja „nur“ als Produktionsschlüssel nutzte. Eine Prüfung, die diesen Umfängen der alten Norm entspricht, findet sich in Blatt 1 der Neuauflage wieder, und zwar in Abschnitt 5.3 „Konformitätsprüfung während des Einsatzes“. Bei einem auslösenden Drehmoment-Schraubwerkzeug vom Typ II (Klassen A, D und G) sind das jeweils fünf Messungen beim niedrigst einstellbaren Drehmomentwert (in der Norm mit „beim niedrigsten festgelegten Drehmomentwert des Messbereichs“ beschrieben), bei etwa 60 % und schließlich bei 100 % des Höchstwerts des Schlüssels. Damit wäre eine Konformität zur Norm dargelegt, falls die vorgegebenen Grenzwerte eingehalten werden. Allerdings muss man sich hierbei die Frage stellen, ob eine solche eine Erklärung dem Ziel bzw. der Absicht des Anwenders entspricht. Nicht ohne Grund wird in der Norm entsprechend großer Wert daraufgelegt, dass ein entsprechendes Dokument, dass auf Basis des Teil 1 entsteht eben auch nicht als „Zertifikat“ bezeichnet werden darf, sondern lediglich als „Konformitätserklärung“ betitelt werden darf.

Es lohnt sich also hier den Messprozess etwas näher zu beleuchten. Die Messungen werden auf statischen Messwertaufnehmern durchgeführt, die Messwerte quasistatisch angefahren, ohne jegliche Simulation eines Schraubfalls. Zudem sind die Anforderungen und Rahmenbedingungen der Norm so gestellt, dass das Aufbringen des Drehmoments, und damit dann konsequenter Weise das Auslösen des maD, durch ein automatisches/mechanisches System erfolgen muss, um diese erfüllen zu können.

Berücksichtigt man all dies, so muss man wohl schlussfolgern, dass eine solche Prüfung nicht den Anforderungen des statistischen Nachweises der Fähigkeit eines Produktionsmittels für seinen beabsichtigten Einsatzfall darstellt. Dieser ist jedoch nicht nur aus normativer Sicht

gefordert, sondern gebietet sich schon unter Anwendung des gesunden Menschenverstands. Für einen adäquaten Fähigkeitsnachweis bedarf es einer statistischen Betrachtung der Messwerte, gegebenenfalls unter Nutzung von Hilfsmitteln wie SPC (statistische Prozesssteuerung). Dies ist auch eine Forderung der IATF, wie unter anderem im Abschnitt 8.5.1.3 „Verifizierung von Einrichtvorgängen“ (von Produktionsmitteln) zu lesen ist. Daneben ist jedoch auch noch der Punkt zu betrachten, dass die in der DIN EN ISO 6789 beschriebene Prüfung lediglich als werkzeug- bzw. herstellerspezifische Prüfung anzusehen ist. Die Anwendung am spezifischen Schraubfall unter Berücksichtigung der Handhabung des Bedieners wird hier überhaupt nicht betrachtet. Als optimal ist daher eine Prüfung des Werkzeugs auf dem simulierten Schraubfall durch einen qualifizierten Bediener anzusehen. Die ermittelten Werte sind unter Berücksichtigung von Toleranzen und benötigten Fähigkeitskennwerten, wie in der VDI/VDE 2645 Blatt 2 beschrieben, statistisch auszuwerten. Die zuletzt genannte Richtlinie befasst sich als einzige technische Regel weltweit mit der systematischen, regelmäßigen Überprüfung von Schraubsystemen im Einsatz. Des Weiteren zeichnet sie ihr statistischer Auswertungsteil und die Dokumentationsanforderungen aus, die internationalen Standards genügen und dabei die Praktikabilität nicht außer Acht lassen. Sie beschreibt zudem detailliert die in der VDI/VDE 2862 Blatt 1 als Mindestanforderung postulierte schraubstellenbezogene Maschinenfähigkeitsuntersuchung (MFU). Diese steht im Gegensatz zur werkzeugbezogenen MFU.

Wenn ein maD dennoch als Prüfmittel eingesetzt werden soll, so ist dabei zu beachten, dass eine damit durchgeführte attributive Prüfung auf keinen Fall mit einem geforderten Prozessfähigkeitsnachweis in der Schraubtechnik gleich zu setzen ist. Entsprechende Belege für die regelmäßige Prozessfähigkeitsuntersuchung (PFU) sind nach der aktuell 4. Auflage des VDA Band 1 für mindestens 30 Jahre zu archivieren, ebenso wie die für die MFU und Prozess-FMEA. Eine PFU ist zunächst einmal ein der Montage nachgelagerter Messprozess. Ein solcher ist mit einem herkömmlichen maD nicht realisierbar. Der Anwendungsfall von maD als Prüfmittel wird darüber hinaus noch weiter erschwert, indem die einschlägigen QM-Normen, neben der metrologischen Rückführung (Kalibrierung) von Messgeräten, auch den Nachweis der Messsystemanalyse (MSA) bzw. einer Prüfprozesseignung (PPE) fordern. Ein solcher Nachweis ist nicht zuletzt aufgrund des signifikanten Bediener-Einflusses bei herkömmlichen maD und der spezifischen Herausforderungen im Bereich Schraubverbindungen sehr schwer sinnvoll zu erbringen. In der Praxis stellt sich häufig schon während der PPE heraus, dass aufgrund des niedrigen Informationsgehalts der attributiven Prüfung, kombiniert mit den doch recht hohen Aufwendungen, eine PFU (zum Beispiel nach VDI/VDE 2645 Blatt 3) wirtschaftlicher und zielführender ist.

Zwei Teile der MSA und PPE, die von Kalibrierlaboren geleistet werden können, sind die Kalibrierung und die Messgerätefähigkeit (früher auch zum Teil abgehandelt in einer Messmittelfähigkeitsuntersuchung bez. MMFU). Es wurden und aktuell werden noch wesentliche technische Regeln im Bereich der Schraubtechnik zum Kalibrieren von Drehmoment und Drehwinkel überarbeitet. Messmittelbeauftragte müssen sich daher mit einer zum Teil deutlich geänderten Vorgabenlage vertraut machen. Dies gilt zum Beispiel für die technischen Regeln zur direkten und indirekten Drehwinkelkalibrierung VDI/VDE 2648 Blatt 1 und 2, die gänzlich überarbeitet und um das Blatt 0 ergänzt wurden. Im Bereich der Messgerätefähigkeit arbeitet der VDI gerade an der VDI/VDE 2645 Blatt 1, die sich ausschließlich dem Thema Messmittel zur MFU und PFU in der Schraubtechnik widmen wird. Ebenso werden voraussichtlich noch im Jahr 2019 die DKD-R 3-7 und 3-8 in ihrer überarbeiteten Version als 10-7 und 10-8 veröffentlicht werden. Ebenfalls im Feld der Drehmomentkalibrierung angesiedelt und auch überarbeitet wurde bereits vor kurzem die VDI/VDE 2646. Diese VDI-Richtlinie galt lange Zeit als Werkskalibrierrichtlinie, die zuweilen auch außerhalb des akkreditierten Bereichs z.B. direkt bei industriellen Unternehmen Anwendung fand. Dazu kam es meist bei vermeintlich weniger relevanten Messmitteln. Die Frage, die sich hier sofort stellt: gibt es überhaupt im industriellen Umfeld weniger wichtige Messaufgaben, bei denen solche Messmittel eingesetzt werden können, die wiederum nicht mit der entsprechenden Sorgfalt eines akkreditierten Labors kalibriert wurden? Dies muss wohl konsequenter Weise verneint werden und kann auch folgerichtig so aus der nationalen Fußnote der DIN EN ISO 9001 zur metrologischen Rückführung abgeleitet werden. Im Jahr 2016 hat die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAKKS) im Merkblatt zur metrologischen Rückführung im Rahmen von Akkreditierungsverfahren diesen Aspekt auch nochmals aufgegriffen und bestätigt. Kalibrierlabore können die aktuelle, wie auch demnächst die überarbeitete VDI/VDE 2646 zum akkreditierten Umfang mit aufnehmen. Diese ist dann auch auf der Akkreditierungsurkunde des Labors zu finden. Jedoch müssen Anwender bzw. Auftraggeber sich damit auseinandersetzen und in der Regel auch dokumentieren, warum sie nicht auf entsprechend umfassendere Normen, wie in diesem Fall die DIN 51309, zurückgegriffen haben bzw. wenn nötig den Kalibrierprozess anpassen.

Mit Hinblick auf die metrologische Rückführbarkeit fordert die IATF 16949 konsequent in Abschnitt 7.1.5.3.2 „Externe Labore“ von diesen eine entsprechende Akkreditierung nach ISO/IEC 17025. Dabei müssen die durch das Labor angewandten technischen Regeln zur Prüfung bzw. Kalibrierung im Umfang der Akkreditierung eingeschlossen sein und damit auch auf dem Zertifikat zu finden sein. Den Alternativweg der Auditierung durch den Kunden nutzen nach entsprechender Risikoabwägung verständlicherweise kaum Anwender. Die Akkreditierung der internen Labore nach der ISO/IEC 17025 wird unter 7.1.5.3.2 nicht explizit gefordert.

Jedoch wird eine konsequente Umsetzung der in diesem Abschnitt beschriebenen Anforderungen nach einer nüchternen Risiken- und Kostenabwägung, wohl in vielen Fällen ebenfalls dazu führen, dass man sich zu einer „Third Party“-Akkreditierung entschließt.

Eine – man könnte vielleicht sagen – Stilblüte der oben genannten Anforderungen ist, dass immer häufiger Kalibrierlabore und Werkzeughersteller von Anwendern angefragt werden ob sie nicht auch motorisch betriebene Schraubwerkzeuge kalibrieren könnten. Hierzu ist zunächst einmal zu sagen, dass es kein dynamisches Drehmomentnormal gibt, welches aber Grundvoraussetzung für die Kalibrierung solcher Systeme wäre. Dies ist eben auch einer der Gründe, warum die Messgerätefähigkeit für Messmittel zur dynamischen Überprüfung der Mess- und Wiederholgenauigkeit von Schraubwerkzeugen so schwierig darzustellen ist. Für Produktionsmittel ist es ohnehin nur zweckmäßig einen Fähigkeitsnachweis für den beabsichtigten Verschraubungsprozess zu führen.

Jedoch ist in der Tat die MFU eine Prüfung eines Werkzeugs nach einer anerkannten technischen Regel wie der VDI/VDE 2645-2. Die ISO/IEC richtet sich ja ebenso an Personal von Prüflaboren. Der Schluss, dass solche Prüfungen sinnvoller Weise durch nachweislich kompetentes Personal durchzuführen sind, liegt also nicht zuletzt auch deshalb nahe. Dies gilt gerade dann, wenn man sich nochmals vor Augen führt, dass mit solchen Werkzeugen unter anderem sicherheitsrelevante Schraubverbindungen hergestellt werden. Aktuell jedoch ist es noch nicht möglich, dass sich Labore nach ISO/IEC 17025 auf Basis der VDI/VDE 2645-2 in Deutschland akkreditieren lassen können. Entsprechende Anfragen dazu wurden aber schon gestellt und liegen der DAkkS zur Prüfung vor.

Häufig wird in diesem Zusammenhang die Argumentation angeführt, dass die MFU doch nur eine nachrangige Rolle beim Nachweis eines sicher verschraubten Produkts darstellt und die PFU doch ausreichend sei. Betrachtet man jedoch die komplexen Zusammenhänge im Bereich der Schraubtechnik, so wird schnell klar, dass hier in der Regel nur eine Kombination aus mehreren Maßnahmen zum Ziel führen kann. Dies wird auch in einschlägigen Richtlinien, wie der VDI/VDE 2862 bestätigt. Dabei handelt es sich grundsätzlich um folgende vier Punkte:

1. Zum einen ist dies die fachgerechte Parametrierung von Steuer- und Überwachungsparametern am Werkzeug. Die Parametrierung des sogenannten 9er-Felds ist hier in der Regel gerade bei sicherheitskritischen Schraubverbindungen nicht ausreichend. Fehler während des Einschraubvorgangs sind in der Regel nur durch eine entsprechende umfassende Parametrierung detektierbar. Eine auf das zum Montageendmoment relativ bezogene PFU kann dies nicht leisten.

2. Zum anderen benötigt man den entsprechenden Nachweis der Fähigkeit dieses Systems für die spezifische Schraubstelle, die sogenannte schraubstellenbezogene MFU.

3. Des Weiteren ist die Validierung der Fähigkeit der Überwachung durch Überprüfung mit möglichen defekten Bauteilen bzw. Simulation von Störungen, die sich zum Beispiel aus einer Prozess-FMEA ergeben nötig. Um dies kosteneffizient zu tun, können weite Teile einer solchen Defektteil-Prüfung in der Regel auch auf einer Messbank mit dynamischer Schraubfallsimulation durchgeführt und dokumentiert werden. Nach der Erstparametrierung ist eine Verifizierung des Einrichtungsgangs durch statistische Verfahren nötig
4. Zum Abschluss bleibt aber die PFU nach der Montage unverzichtbar.

Eines der größten Fehlerpotentiale liegt aber wohl bei PFU und MFU in der Qualifikation des Personals. Nicht ohne Grund kann man ohne Weiteres mehrere Qualifikationsbausteine aus der VDI/VDE 2637 Blatt 1 „Mindestanforderungen an die Qualifikation an Personal in der Schraubtechnik“ einer Person, z.B. im Bereich der Prozessfähigkeitsuntersuchungen, zuordnen. Diese Q-Bausteine reichen von Schraubfallanalysen über weitreichende statistische Fähigkeiten bis natürlich zur Anwendungsfähigkeit entsprechender Messmittel.

Bei der Erstparametrierung aber auch bei der Nach- bzw. Feinparametrierung von Schraubsystemen ist ein nicht zu unterschätzendes Kompetenzniveau dringend erforderlich, um z.B. ein gesteuertes Schraubsystem den Anforderungen entsprechend zu bedienen. Für die grundlegende Mindestqualifikation von Instandhaltungspersonal, welches oft solche Tätigkeiten durchführt, gibt es sogar eine entsprechende Norm, die DIN EN 15628. Diese verweist aber explizit darauf, dass spezifische Kenntnisse in Fachgebieten, wie der industriellen Schraubtechnik, zusätzlich noch aufgebaut, nachhaltig requalifiziert und überprüft bzw. nachgewiesen werden müssen. Der Nachweis der Wirksamkeit einer Qualifikationsmaßnahme wird den meisten wohl logisch erscheinen und ist folglich sowohl in der ISO 9001 als auch in der IATF 16949 gefordert.

Auditoren müssen übrigens auch im spezifischen Tätigkeitsbereich qualifiziert sein. Das gilt nicht zuletzt für die Schraubtechnik. Diese Forderung ist in der IATF 16949 in den Abschnitten 7.2.3 und 7.2.4. zu finden. Selbstverständlich müssen z.B. Produktauditoren nachweisen können, dass sie über die notwendige Kompetenz verfügen, die Anforderungen an Produkte bezüglich der Schraubverbindungen zu verstehen und die dafür relevanten Mess- und Prüfmittel zur Überprüfung der Produktkonformität entsprechend zu handhaben.

Fazit:

Da bereits die ISO 9001 umfangreiche Anforderungen an die industrielle Schraubmontage und ihre angelagerten Prozesse bereithält, ist es nicht verwunderlich, dass ihre branchenspezifische Detaillierung für die Automobilbranche in Form der IATF weitere Aspekte betrachtet, aber auch bestehende noch weiter spezifiziert. Der in diesem Beitrag gesetzte Fokus kann ohne Weiteres auch auf andere Abschnitte der Norm gerichtet werden und wird ebenso viele Aspekte für die Schraubtechnik aufwerfen. Eine gezielte Auseinandersetzung mit den bestehenden Schraubtechniknormen, z.B. aus dem VDI Fachbereich 3.63 in Kombination mit der IATF 16949, ist daher dringend anzuraten. Nicht nur, um möglichen Problemen bei einem Audit aus dem Weg zu gehen, sondern, um ein sehr sinnvolles Qualitätsmanagementsystem nicht zu einem ineffektiven, zahnlosen Papiertiger verkommen zu lassen. Bei näherer Betrachtung und Auseinandersetzung mit der Gesamtheit der Anforderungen ist der rote Faden der Sinnhaftigkeit und des gesunden Menschenverstands gut zu erkennen. Dies bedarf jedoch der gezielten Allokation von Ressourcen und der klaren Zuweisung von Verantwortlichkeiten gepaart mit entsprechender Qualifikation.

Literatur:

1. IATF 16949 (2016): Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme für die Serien- und Ersatzteilproduktion in der Automobilindustrie. Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA), Qualitäts Management Center (QMC) Berlin
2. ISO/TS 16949 (2009): Qualitätsmanagementsysteme – Besondere Anforderungen bei Anwendung von ISO 9001:2008 für die Serien- und Ersatzteil-Produktion in der Automobilindustrie. Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA), Qualitäts Management Center (QMC) Berlin
3. DIN EN ISO 9001 (2015): Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen. Beuth Verlag Berlin
4. DIN EN 9100 (2018): Qualitätsmanagementsysteme – Anforderungen an Organisationen der Luftfahrt, Raumfahrt und Verteidigung. Beuth Verlag Berlin
5. DIN EN ISO 6789 Teil 1 (2017): Schraubwerkzeuge – Handbetätigte Drehmoment-Schraubwerkzeuge – Teil 1: Anforderungen und Prüfverfahren für die Typprüfung und Annahmeprüfung: Mindestanforderungen an Konformitätserklärungen. Beuth Verlag Berlin
6. DIN EN ISO 6789 Teil 2 (2017): Schraubwerkzeuge – Handbetätigte Drehmoment-Schraubwerkzeuge – Teil 2: Anforderungen an die Kalibrierung und die Bestimmung der Messunsicherheit. Beuth Verlag Berlin
7. DIN EN ISO 6789 (2003): Schraubwerkzeuge – Handbetätigte Drehmoment-Werkzeuge – Anforderungen und Prüfverfahren für die Typprüfung, Annahmeprüfung und das Rekalibrierverfahren. Beuth Verlag Berlin
8. DIN EN 15628 (2014): Instandhaltung – Qualifikation des Instandhaltungspersonals. Beuth Verlag Berlin
9. ISO/TS 22163 (2018): Bahnanwendungen – Qualitätsmanagementsystem – Anforderungen an Geschäftsmanagementsysteme für Organisationen im Bahnsektor: ISO 9001:2015 und besondere Anforderungen für die Anwendung im Bahnsektor. Beuth Verlag Berlin
10. ISO/IEC 17025 (2017): Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien. Beuth Verlag Berlin
11. VDA Band 5.2 (2013): Prüfprozesseignung für das Drehmoment von Schraubverbindungen; Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie. Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA), Qualitäts Management Center (QMC) Berlin
12. VDI/VDE MT 2637, Bl. 1 (2018): Qualifikation in der Schraubtechnik – Bedarfsgerechte Qualifikation für Mitarbeiter und Führungskräfte.

13. VDI/VDE 2645, Bl. 2 (2014): Fähigkeitsuntersuchung von Maschinen in der Schraubtechnik – Maschinenfähigkeitsuntersuchung – MFU. Beuth Verlag Berlin
14. VDI/VDE 2645, Bl. 3 (2016, Entwurf): Fähigkeitsuntersuchung von Maschinen in der Schraubtechnik – Prozessfähigkeitsuntersuchung – PFU. Beuth Verlag Berlin
15. VDI/VDE 2862, Bl. 1 (2012): Mindestanforderungen zum Einsatz von Schraubsystemen und -werkzeugen – Anwendungen in der Automobilindustrie. Beuth Verlag Berlin
16. VDI/VDE 2648, Bl. 1 (2009): Sensoren und Messsysteme für die Drehwinkelmessung – Anweisungen für die rückführbare Kalibrierung – Direkt messende Drehwinkelmesssysteme. Beuth Verlag Berlin
17. VDI/VDE 2648, Bl. 2 (2007): Sensoren und Messsysteme für die Drehwinkelmessung – Anweisungen für die rückführbare Kalibrierung – Indirekt messende Drehwinkelmesssysteme. Beuth Verlag Berlin
18. VDI/VDE 2648 (2018): Drehmomentmessgeräte/Messketten – Mindestanforderungen an Kalibrierungen. Beuth Verlag Berlin
19. DKD-R 3-7 (2018): Statische Kalibrierung von anzeigenden Drehmomentschlüsseln. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), DKD-Geschäftsstelle, Braunschweig
20. DKD-R 3-8 (2018): Statische Kalibrierung von Kalibriereinrichtungen für Drehmoment-schraubwerkzeuge. Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), DKD-Geschäftsstelle, Braunschweig
21. DAkkS Merkblatt zur metrologischen Rückführung im Rahmen von Akkreditierungsverfahren (2016) – 71 SD 0 005, Revision: 1.4

IO = IO ?

Höhere Qualität bei Verschraubungsprozessen durch Predictive Analysis

Mario Täuber, CSP GmbH & Co. KG, Großköllnbach

Kurzfassung

Big Data ist der neue Produktionsfaktor in der Wirtschaft. Immer mehr Branchen werden von der Welle der Big Data Technologien in der Produktion erfasst. Wer seine Produktion systematisch steuern und langfristig optimieren möchte, kommt an der strategischen Nutzung seiner Daten nicht vorbei. Denn nur Unternehmen, die ihre Daten richtig aufnehmen, aufbereiten und analysieren, können ihre Produktionsprozesse immer weiter optimieren. Bereits heute werden in Unternehmen unzählige Daten erfasst, die jedoch überwiegend nur unzureichend ausgewertet werden. Dabei sind die Potenziale, die sich durch gezielte Auswertung dieser Daten erheben lassen, enorm.

Predictive Analytics ist derzeit einer der wichtigsten Big-Data-Trends, um Trends oder zukünftige Ereignisse vorherzusagen. Durch intelligente Auswertung lässt sich erkennen, wann sich im Fertigungsprozess ein Ausfall andeutet und warum ein „IO“ („in Ordnung“) in der Produktion nicht immer automatisch ein „IO“ ist. Daraufhin lässt sich gezielt und rechtzeitig in den Prozess eingreifen. Ein modernes prädiktives Prozessdatenmanagement erlaubt präzise Bewertungen durch statistische Verfahren und automatische Berechnungen. Eine Früherkennung von Prozessproblemen in Echtzeit ist genauso möglich, wie die Vermeidung von Rückrufaktionen oder Produktionsstillständen.

Big Data ist auch Grundlage für Predictive Maintenance, deren Ziel es ist, die Maschinen und Anlagen proaktiv zu warten, Störungszeiten zu minimieren und Ausfallzeiten niedrig zu halten. Ergänzt werden diese Ansätze durch Prozessüberwachung (Process Monitoring) und Zustandsüberwachung (Condition Monitoring). Mit Big Data Analytics im Produktionsumfeld lassen sich neue Wertpotenziale erschließen, die mit bestehenden Systemen unentdeckt blieben.

1. Big Data - Trends & Stand der Technik

Produzierende Unternehmen erfassen bereits heute unzählige Daten, welche jedoch nur unzureichend ausgewertet werden. Dabei sind die Potenziale, die sich durch gezielte Auswertung dieser Daten erheben lassen, enorm. In den derzeitigen Produktionsanlagen entstehen pro Sekunde Tausende von Informationen. Diese Informationen wie z. B. Drehmomente, Geschwindigkeiten oder Temperaturen haben Unternehmen ursprünglich dazu verwendet, gezielt die Automatisierung der Fertigung voranzutreiben. Intelligente Auswertungen und automatische Benachrichtigungen können Daten in Erkenntnisse überführen, die Entscheidungen unterstützen und sogar Grundlage für automatisiertes Handeln ermöglichen.

Das Bewusstsein vom Wert der Informationen wächst zunehmend. In der IT-Branche ist dies eine Selbstverständlichkeit. Von Unternehmen wie Google oder Facebook, deren gesamtes Geschäftsmodell auf der intelligenten Datenauswertung fußt, hören wir das tagtäglich. Daraus werden jährlich Gewinne von mehreren Milliarden US-Dollar erzielt.

Big-Data-Methoden sind hier schon lange etabliert, Rechenleistungen und Speicher sind erschwinglich, die Fortschritte im maschinellen Lernen sind enorm und Frameworks zur Nutzung dieser Verfahren frei verfügbar. Doch der Einsatz von Big-Data-Methoden ist im Maschinen- und Anlagenbau, insbesondere bei kleinen und mittleren Unternehmen, nach wie vor verhalten.

2. Scheitert Big Data in der Produktion?

Der Ansatz Industrial Data Science bietet hier eine ganzheitliche Perspektive an. Hier werden neben den Verfahren zur Datenauswertung auch Datenquellen, Dateninfrastruktur und die darauf aufbauenden Anwendungsfälle betrachtet. Diese tiefere Betrachtungsweise stellt besonders kleine und mittlere Unternehmen vor eine Herausforderung, weil es ihnen an Budget und Personal fehlt. In produzierenden Unternehmen sieht die typische Dateninfrastruktur wie folgt aus: ERP-Systeme (Enterprise Resource Planning) sind die zentrale Speicher- und Verarbeitungsinstanz für Unternehmensdaten. Sie ermöglichen die Produktionsplanung und -steuerung (Material, Personal oder Betriebsmittel). MES-Systeme (Manufacturing Execution System) hingegen sind für die tiefere Verarbeitung von Maschinen- und Betriebsdaten verantwortlich und übernehmen die Überwachung und Steuerung einzelner Fertigungsprozesse. ERP und MES sind somit in den meisten Fällen die zentralen Datenspeicher in einem Fertigungsbetrieb. Fazit: Die typische IT-Infrastruktur in der Industrie ist nicht für Big-Data-Auswertungen ausgelegt.

Ein weiteres Problem: Anwendungsfälle für die Datenauswertung sind im industriellen Umfeld sehr heterogen. In der Fertigung kann der Zustand einzelner Maschinen beobachtet (Condition Monitoring) oder Ausfälle vorhergesagt werden (Predictive Maintenance). Gleichzeitig ist es auch möglich, den Fertigungsprozess zu überwachen (Process Monitoring) oder zu optimieren (Process Optimization). Die verschiedenen Anwendungsfälle erfordern eine jeweils unterschiedliche Herangehensweise bei der Datenauswertung.

3. Big Data in der Fertigung

Jedes Unternehmen muss folglich eine eigene Big-Data-Strategie entwickeln. Ein Widerspruch in unserer Denkweise, was wir als Mensch von maschinellen Lernverfahren erwarten. Es wird suggeriert, dass intelligente Algorithmen selbstständig Lösungen finden, sofern man eine qualitative und quantitative hochwertige Datenbasis zur Verfügung stellt.

Der Fertigungsprozess sollte möglichst beherrschbar sein, konstant und gleichbleibend verlaufen. Für die richtige Dimensionierung der entsprechenden IT-Infrastruktur gilt es, die fünf V's zu berücksichtigen, die Big Data charakterisieren:

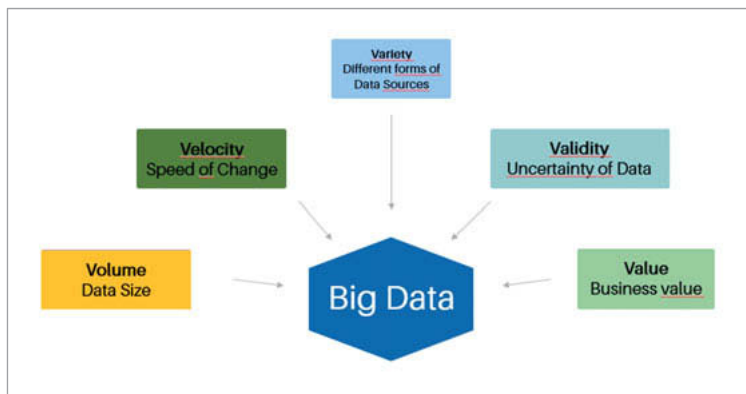


Bild 1: Big Data – die fünf V

Big Data-Definition – die drei grundlegenden V:

- **Volume** definiert die enormen Mengen an Daten, die z.B. Unternehmen täglich produzieren. Deren Aufkommen ist so groß und so komplex, dass es mit herkömmlichen Methoden der Datenverarbeitung nicht mehr gespeichert oder gar analysiert werden kann.

- **Variety** bezieht sich auf die Vielfalt der Datentypen und -quellen. 80 Prozent der Daten weltweit sind heute unstrukturiert und weisen auf den ersten Blick keinerlei Zusammenhänge auf. Dank der Big Data-Suchalgorithmen können Daten wieder strukturiert eingeordnet und auf Zusammenhänge untersucht werden. Neben herkömmlichen Datensätzen zählen hierzu auch Bilder, Videos und Sprachaufzeichnungen.
- **Velocity** bezeichnet die Geschwindigkeit, mit der Daten generiert, ausgewertet und weiterverarbeitet werden können. Heutzutage meist im Bruchteil von Sekunden bzw. in Echtzeit.

Big Data-Definition – zwei entscheidende zusätzliche V:

- **Validity** benennt die Sicherstellung der Datenqualität bzw. die Glaubwürdigkeit von Daten. Big Data arbeitet mit allen „Qualitätsgraden“, da der Faktor Volume einen Mangel an Qualität meist auffängt.
- **Value** bezeichnet den unternehmerischen Mehrwert. Viele Unternehmen haben mittlerweile eigene Datenplattformen aufgebaut, -pools gefüllt und viel Geld in Infrastruktur investiert.

Für viele geht es um den unternehmerischen Erfolg (**Value**). Schlüssel dazu ist die Gewinnung neuer Informationen – die in kürzester Zeit (**Velocity**) sehr vielen Nutzern zur Verfügung stehen müssen – mittels enorm großer Datenbestände (**Volume**) aus unterschiedlichsten Quellen (**Variety**) und unterschiedlichen Qualitäten (**Validity**), um dadurch schneller wettbewerbskritische Entscheidungen treffen zu können.

4. Lösungsansätze

Da die Anwendungsfälle für die Auswertung und Analyse sehr heterogen sind, gibt es für die industriellen Szenarien, vor allem bei Auswertung von Qualitätsdaten aus Prozessdatenerfassungssystemen keine Best Practices. Es entstehen viele Lösungen jedoch keine verifizierbaren Standards!

Heute werden unabhängig der Use Cases folgende Ansätze verfolgt:

- **Condition Monitoring: Zustandsüberwachung**
Condition Monitoring erkennt Maschinenfehler bereits in ihrer frühesten Entstehung und kann Maßnahmen zur vorbeugenden Instandhaltung umsetzen. Unnötige Ausfallzeiten werden vermieden, der finanzielle Aufwand für Wartung sinkt und die Produktivität erhöht sich.
- **Predictive Maintenance: Vorausschauende Instandhaltung**
Predictive Maintenance wartet Maschinen und Anlagen proaktiv, um Ausfallzeiten niedrig zu halten bzw. Störungszeiten zu minimieren. Im Optimalfall lassen sich Störungen vorhersagen, bevor es zu Auswirkungen oder Ausfällen kommt.
- **Predictive Analysis: Vorhersage von Qualitätsproblemen und Einflussgrößen**
Mit Predictive Analysis ist es möglich, aus Daten aus der Vergangenheit auf zukünftige Trends und Entwicklungen zu schließen. Predictive Analytics wird zum Impulsgeber für Innovationen.
- **Process Data and Quality Monitoring: Überwachung von qualitätsrelevanten Merkmalen**
Eine gezielte Prozesskontrolle stellt eine reproduzierbare Stabilität der Abläufe sicher. Durch Messung und Überwachung der Produkte wird sichergestellt, dass nur konforme Produkte zum Kunden gelangen.

5. Automatisierung

Die Anforderungen an produzierende Unternehmen steigen und verlangen nach flexiblen Produktionsprozessen.

Oft werden situationsbedingte Ansätze gewählt, da es kaum fertige Lösungen gibt. Gerade bei Process Monitoring-Lösungen ist es unabdingbar, dass jeder kritische Prozess automatisiert überwacht wird. Idealtypisch ist der Einsatz derselben Verfahren und Algorithmen unabhängig vom Fertigungsprozess. Warum soll ein Schraubprozess anders bewertet werden als Einpressen, Nieten, Schweißen oder Befüllen. Das Fügeverfahren hat keinen Einfluss auf die Qualitäts- und Prozessüberwachung.

6. Korrekte Anlagenbewertung – NIOs aufdecken und Qualität steigern

In der Regel erkennen Anlagen Schraubprozesse laufend als IO (= in Ordnung) an. Doch werden diese IOs auch immer richtig bewertet? Ist ein IO auch wirklich immer ein IO? Nicht immer! Es gibt viele Einflussgrößen, ob eine Verschraubung auch wirklich IO ist:

- Unterschiedliche Lieferanten bei Schüttgut
- Werkereinflüsse
- Kaufteile
- Hausteile
- Verschleiß

Diverse Parameter und Einflussgrößen führen dazu, dass Anlagen die Schraubvorgänge zwar als IO bewerten (d.h. die Messwerte innerhalb der Toleranzen liegen), jedoch am Ende genau diese Messwerte ein Qualitätsproblem verursachen. Ein modernes Prozessdatensystem sollte sich genau mit diesem Problem beschäftigen und vermeintliche IO-Verschraubungen einer Produktionsanlage als NIO (= Nicht in Ordnung) entlarven. Condition Monitoring ist ein Frühwarnsystem, das aufzeigt, welches Problem vorliegt. Durch Echtzeit-Erfassung aller Prozessdaten, verschiedene Ansichten und farbliche Hervorhebungen (zur schnellen Erkennung, wenn definierte Schwellwerte über- oder unterschritten werden) können NIOs sofort erkannt werden, um frühzeitig eingreifen zu können.

Um den Status von Verschraubungen ehrlich bewerten und Prozessinstabilitäten erkennen zu können, zieht ein prädiktives Prozessdatensystem verschiedene statistische Werte heran:

- Perzentil
- Standardabweichung
- Steigung

Ab einer gewissen Anzahl an Regelverletzungen alarmiert ein Emergency Call. Somit wird verhindert, dass eine vermeintliche IO-Verschraubung die Produktion verlässt, obwohl diese im Nachgang zu einem Qualitätsproblem führen könnte.

7. Predictive Analysis in Echtzeit – Funktionalitäten eines modernen Prozessdatensystems

Warngrenzen werden automatisch und dynamisch anhand von aktuellen Schraubergebnissen berechnet (selbstregulierend). Steigungen, Perzentile und Standardabweichungen werden ebenfalls automatisch in Relation zur jungen und alten Vergangenheit eines Schraubprozesses berechnet. Jeder Messwert wird automatisch aufgrund von derzeit acht mathematischen Algorithmen kategorisiert. Die Verantwortlichen werden täglich bei Verletzung einer definierten Anzahl von Regelverletzungen alarmiert.

8. Vorteile eines prädiktiven Prozessdatenanalyse-Systems

Folgende Verbesserungen zeigen sich durch ein prädiktives Analyse-System:

„False-Positive-IOs“ bei Verschraubungen werden frühzeitig erkannt. Eine weitere Annäherung an die gewünschte „Null-Fehler-Strategie“ wird greifbar. Prozessprobleme können in Echtzeit früher erkannt werden. Teure Rückruf- oder Garantieaktionen sowie Produktionsstillstände können vermieden werden. Durch Qualitätssteigerung reduziert sich die Nacharbeitungsquote.

9. Use Case – Erfahrungen aus dem Bereich Automotive/Presswerk

Ausgangssituation:

Das verwendete Werkzeug in der mechanischen Fertigung war minimal, aber bereits so weit abgenutzt, dass in der Montage beim Fügevorgang der jeweiligen Bauteile keine Oberfläche mehr erzeugt werden konnte. Mit jedem weiteren Prozessschritt verschlechterte sich das Hausteil, sodass der Abstand auf einer Seite des Gehäuses immer größer wurde. Somit stieg im weiteren Produktionsverlauf auch der Winkel-Endwert der späteren Verschraubungen langsam an. Dennoch befand sich der Messwert noch immer innerhalb der Toleranz.

Nach Einführung eines prädiktiven Analyse-Systems:

Durch frühzeitiges Erkennen dieser stetigen Winkel-Erhöhung werden keine NIO-Bauteile produziert, noch wird das Eingreifen durch betreuendes Personal notwendig. Werden Grenzen eines Verschraubungsprozesses im laufenden Betrieb immer wieder angepasst, damit die Fertigung weiterhin läuft, so entstehen dadurch enorme Unsicherheiten bezogen auf die geforderte Produktqualität. Im Extremfall handelt es sich um eine A-Verschraubung.

Mit einer prädiktiven Software schützt sich ihr Unternehmen vor:

- Gefahr für Leib und Leben von Kunden
- Schadenersatzforderungen
- Rückrufaktionen
- Hohen Kosten bei internen und externen Nacharbeiten
- Imageschäden

Beispielauswertung - Überwachung stabiler Prozesse

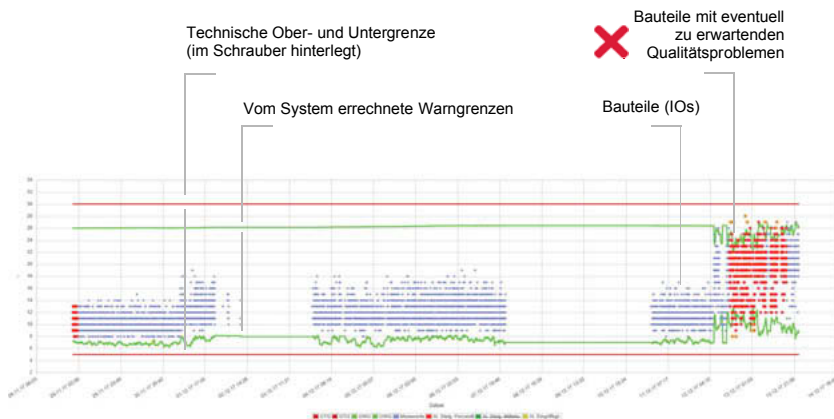


Bild 2: Beispielauswertung – Überwachung stabiler Prozesse

Technische Regeln – Wem gehören die Daten?

Hartmut Hardt, Rechtsanwaltskanzlei Hardt, Essen

Kurzgutachten zu der Fragestellung:

Stehen der Aufforderung des Auftraggebers an den Auftragnehmer, dass dieser die Fachkunde seiner Beschäftigten im Rahmen der Beauftragung nachweist, datenschutzrechtliche Bedenken entgegen?

I. Ausgangssituation

1. Pflichten des Auftraggebers

Im Rahmen der Beauftragung von Fremdfirmen treffen den Auftraggeber jeweils unterschiedliche Pflichten. Unter anderem hat er dafür Sorge zu tragen, dass hinsichtlich der Beauftragung nur die Firmen Arbeitsleistungen ausführen dürfen, die für diese Tätigkeit ausreichende Qualifikationen der Beschäftigten belegen können und dieses auch dem Auftraggeber rechtsverbindlich zusichern. Der § 13 Abs. 1 der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) verlangt zweifelsfrei:

- (1) *Beabsichtigt der Arbeitgeber, in seinem Betrieb Arbeiten durch eine betriebsfremde Person (Auftragnehmer) durchführen zu lassen, so darf er dafür nur solche Auftragnehmer heranziehen, die über die für die geplanten Arbeiten erforderliche Fachkunde verfügen. Der Arbeitgeber als Auftraggeber hat die Auftragnehmer, die ihrerseits Arbeitgeber sind, über die von seinen Arbeitsmitteln ausgehenden Gefährdungen und über spezifische Verhaltensregeln zu informieren. Der Auftragnehmer hat den Auftraggeber und andere Arbeitgeber über Gefährdungen durch seine Arbeiten für Beschäftigte des Auftraggebers und anderer Arbeitgeber zu informieren.*

Als fachkundig im Sinne der BetrSichV gilt gemäß § 2 Abs. 5 BetrSichV:

- (5) *Fachkundig ist, wer zur Ausübung einer in dieser Verordnung bestimmten Aufgabe über die erforderlichen Fachkenntnisse verfügt. Die Anforderungen an die Fachkunde sind abhängig von der jeweiligen Art der Aufgabe. Zu den Anforderungen zählen eine entsprechende Berufsausbildung, Berufserfahrung oder eine zeitnah ausgeübte entsprechende berufliche Tätigkeit. Die Fachkenntnisse sind durch Teilnahme an Schulungen auf aktuellem Stand zu halten.*

Bezüglich der Beauftragung zur Erbringung von Instandhaltungsleistungen fordert § 10 Abs. 2 BetrSichV unmissverständlich:

- (2) *Der Arbeitgeber hat Instandhaltungsmaßnahmen auf der Grundlage einer Gefährdungsbeurteilung sicher durchführen zu lassen und dabei die Betriebsanleitung des Herstellers zu berücksichtigen. Instandhaltungsmaßnahmen dürfen nur von fachkundigen, beauftragten und unterwiesenen Beschäftigten oder von sonstigen für die Durchführung der Instandhaltungsarbeiten geeigneten Auftragnehmern mit vergleichbarer Qualifikation durchgeführt werden.*

Damit steht fest, dass der Auftraggeber im Rahmen der ihm gesetzlich auferlegten Pflichten gerichtstauglich und zweifelsfrei den Nachweis dafür zu erbringen hat, dass die von ihm beauftragten Fremdfirmen und deren Personal fachkundig sind und diese Fachkenntnisse auch dem aktuellen Stand der Technik entsprechen.

2. Pflichten des Auftragnehmers (aus datenschutzrechtlicher Sicht)

Der Auftragnehmer ist Arbeitgeber seiner Beschäftigten. Die Beschäftigten sind natürliche Personen und somit auch **betroffene Personen** im Sinne des Art. 4 Nr. 1 Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO). Die Angaben in der Gestalt der Fachkunde-/Qualifikationsnachweise sind **personenbezogene Daten** im Sinne des Art. 4 Nr. 1 DSGVO, da es sich hier um Informationen handelt, die sich auf eine identifizierte oder identifizierbare natürliche Person beziehen. Die **Verarbeitung** (Art. 6 Abs. 1 DSGVO) dieser Daten erfolgt durch das Erheben und das Speichern dieser Informationen auf Seiten des Auftraggebers, der damit die Erfüllung der ihm obliegenden Einholung der Qualifikationsnachweise belegt. Damit steht fest, dass die Abfrage der Qualifikationen/der Fachkunde durch den Auftraggeber Regelungsgegenstand der datenschutzrechtlichen Verpflichtungen des Auftragnehmers als **Verantwortlichen** im Sinne des Art. 5 Abs. 2 DSGVO betreffen.

II. Juristische Würdigung

Stünden die Pflichten des Arbeitgebers als datenschutzrechtlich Verantwortlichem nunmehr in einem unlöslichen Widerspruch zu den, dem Auftraggeber obliegenden Informationsbeschaffungspflichten, so wäre eine derartige Ausgangslage rechtliche nicht haltbar, da entweder der Arbeitgeber (als Auftragnehmer) einen Rechtsverstoß in der Weitergabe personenbezogener Daten begehen müsste oder aber der Auftraggeber gezwungen wäre, die ihm obliegenden Pflichten zum Nachweis der Fachkunde der beauftragten Firmen widerrechtlich unerfüllt zu lassen. Um die Frage nach der Rechtmäßigkeit, also der Vereinbarkeit des Datenschutzes auf der einen Seite und der Informationspflichten auf der anderen Seite zu beantworten, bedarf es zunächst einer kurzen Übersicht über das Datenschutzrecht.

1. BDSG (Bundesdatenschutzgesetz) / DSGVO

Die europäischen und der deutsche Gesetzgeber haben das Datenschutzrecht auf neue rechtliche Grundlagen gestellt. Ab dem 25. Mai 2018 gilt die EU-Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO); gleichzeitig tritt das neue Bundesdatenschutzgesetz (BDSG n.F.) in Kraft.

Die neuen Rechtsgrundlagen stellen keinen Paradigmenwechsel dar. Viele Grundsätze der DSGVO gab es schon in der EU-Datenschutzrichtlinie von 1995, die durch das bisher geltende BDSG a.F. umgesetzt wurde. Dazu gehören u.a. die Datenvermeidung und Datensparsamkeit, die Zweckbindung der Datenverarbeitung und das grundsätzliche Verbot der Datenverarbeitung mit Erlaubnisvorbehalt. Die Unterschiede zwischen dem neuen und dem bisherigen Recht liegen vor allem in einer erheblich gesteigerten Dokumentations- und Nachweispflicht ("Accountability") sowie in der Verschärfung des Haftungsregimes und der Erhöhung des Bußgeldrahmens. Außerdem weitete die DSGVO den Datenschutz in gewissen Konstellationen auf Datenverarbeitungen auch außerhalb der EU aus.¹

2. Artikel 5 Datenschutzgrundverordnung

Im Absatz 1 des Art. 5 der DSGVO werden die grundsätzlichen Vorgaben für die Legitimität, also die Rechtmäßigkeit der Verarbeitung der personenbezogenen Daten geregelt.

Als Übersicht² werden diese nachstehend dargestellt:

Grundsatz	Erläuterung
Rechtmäßigkeit	eine Rechtsgrundlage für die Verarbeitung existiert
Treu und Glauben	redlich, anständig („fair use“)
Transparenz	durch ausreichende Information ist die Verarbeitung für die betroffene Person nachvollziehbar
Zweckbindung	festgelegte, eindeutige und legitime Zwecke, bei der Erhebung festgelegt
Datenminimierung	Verarbeitung auf das zweckgebundene Maß beschränkt
Richtigkeit	Daten müssen sachlich richtig sein
Speicherbegrenzung	frühestmögliche Löschung nach Wegfall der zweckgebundenen Erforderlichkeit der Speicherung
Integrität und Vertraulichkeit	Schutz vor unbefugter oder unrechtmäßiger Verarbeitung, Verlust, Schädigung

In Absatz 2 des Art. 5 DSGVO wird gefordert, dass der Verantwortliche für die Einhaltung der Anforderungen des Absatzes 1 verantwortlich ist und die Einhaltung der Grundsätze der Legitimität als ihm obliegende Rechenschaftspflicht nachzuweisen hat.

¹ Institut der Wirtschaftsprüfer, Fragen und Antworten zu der EU Datenschutz-Grundverordnung und dem neuen Bundesdatenschutzgesetz vom 8.3.2018, zu Vorbemerkung,

² Schulz, Karsten; Lehrbeauftragter FH Dortmund, EU-DSGVO – Schulung 2019

3. Artikel 6 Abs. 1 DSGVO

Zu Art. 6 Abs. 1 DSGVO werden die Bedingungen genannt, die einzuhalten sind, damit eine Verarbeitung rechtmäßig ist. Es genügt, wenn eine der dort genannten Bedingungen erfüllt ist. Konkret ist eine Bedingung bezogen auf die dem Gutachten zugrundeliegende Fragestellung bereits dann erfüllt, wenn die Beschäftigten gegenüber dem Arbeitgeber freiwillig und auf einen konkreten Fall bezogen im Rahmen einer mündlichen oder elektronischen oder schriftlichen Erklärung ihr Einverständnis zur Weitergabe und damit zur Verarbeitung ihrer personenbezogenen Daten gegeben haben:

„die betroffene Person hat ihre Einwilligung zu der Verarbeitung der sie betreffenden personenbezogenen Daten für einen oder mehrere bestimmte Zwecke gegeben“ (Art. 6 Abs. 1 Buchstabe a DSGVO).

Eine weitere Bedingung die die Rechtmäßigkeit der Verarbeitung gem. Art. 6 Abs. 1 DSGVO erfüllt ist in dem Umstand zu erkennen, dass „die Verarbeitung ist zur Erfüllung einer rechtlichen Verpflichtung erforderlich, der der Verantwortliche unterliegt“ (Art. 6 Abs. 1 Buchstabe c DSGVO).

Hieraus folgt, dass auf der Seite des Auftragnehmers zwischen diesem und den Beschäftigten eine innerbetriebliche grundsätzliche Regelung zur Weitergabe der personenbezogenen Daten hinsichtlich der Weitergabe der Informationen zur Qualifikation getroffen werden muss, die dann auf den jeweiligen Einzelfall zwischen dem Auftragnehmer und dessen Beschäftigten konkret durch den Letztgenannten zu bestätigen ist. Der betriebliche Datenschutzbeauftragte ist mit dem Entwurf einer entsprechenden Regelung zu beauftragen, damit die innerbetrieblichen Abläufe den datenschutzrechtlichen Erfordernissen entsprechen.

Als zweite Konsequenz ergibt sich aus den obigen Darstellungen zur Rechtmäßigkeit der Verarbeitung personenbezogener Daten der Beschäftigten, dass zwischen dem Auftraggeber und dem Auftragnehmer die Wahrung der Grundsätze gemäß Art. 5 Abs. 1 DSGVO verbindlich verabredet wird, um auch insoweit den datenschutzrechtlichen Erfordernissen zu entsprechen.

III. Ergebnis

- Die im Zusammenhang mit der Überprüfung der Fachkunde und Qualifikation der Beschäftigten des beauftragten Auftragnehmers gegebenen Anforderungen der Arbeitsschutzvorschriften stehen nicht in einem unlösbaren Widerspruch zu den datenschutzrechtlichen Anforderungen, die der Auftragnehmer als Verantwortlicher nach DSGVO gegenüber seinen eigenen Beschäftigten zu erfüllen hat.
- Der Auftragnehmer ist als Arbeitgeber seiner eigenen Beschäftigten verpflichtet die Beschäftigten über die Weitergabe der jeweiligen personenbezogenen Daten an den Auftraggeber zu informieren und im Idealfall mit diesem darüber ein Einvernehmen zu erzielen. Gelingt dieses nicht, so hat der Auftragnehmer über dessen Datenschutzbeauftragten und im Rahmen einer entsprechenden Datenschutz-Folgenabschätzung (Art. 35 DSGVO) eine Risikobeurteilung bzgl. der Weitergabe von

personenbezogenen Daten, die im Zusammenhang mit der beruflichen Qualifikation der Beschäftigten stehen, vorzunehmen und hierüber den Auftraggeber im Versagensfall der Weitergabe von Informationen in Kenntnis zu setzen, damit dieser wiederum seinerseits eigenständig darüber entscheiden kann ob er den Auftragnehmer gleichwohl beauftragt.

- Der Auftragnehmer ist bei der Weitergabe der personenbezogenen Daten der Beschäftigten an die Rechtmäßigkeitsvorgaben der Art. 5 und 6 DSGVO gebunden.
- Die Verarbeitung der weitergegebenen personenbezogenen Daten erfordert eine verbindliche Regelung zwischen den Vertragsparteien, die ebenfalls die Rechtmäßigkeitsvorgaben der Art. 5 und 6 DSGVO einhalten.

IV. Muster einer Verpflichtungserklärung zwischen dem Auftraggeber und dem Auftragnehmer

Verpflichtungserklärung zur Wahrung der Vertraulichkeit bei der Verarbeitung personenbezogener Daten im Zusammenhang mit einem Auftragsverhältnis (Fremdfirmenbeauftragung)

Die auftraggebende

Firma XYZ.....

hat im Rahmen der ihr obliegenden arbeitsschutzrechtlichen Pflichten den Nachweis dafür zu erbringen, dass die Beschäftigten der auftragnehmenden

Firma ABC.....

Über die für die Tätigkeit erforderliche Fachkunde/Qualifikation verfügt. Im Gegenzug obliegt es der Auftragnehmerin die personenbezogenen Daten ihrer Beschäftigten weitestgehend und rechtskonform zu schützen.

Aufgrund dieser wechselseitigen Aufgabenstellung verpflichtet sich die Auftraggeberin zur Wahrung der Vertraulichkeit bei den personenbezogenen Daten nach Art. 5 Abs. 1 und Art. 32 Abs. 4 Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO), soweit ihr seitens der Auftragnehmerin im Rahmen der Beauftragung Zugang zu den Daten verschafft und sie hiervon Kenntnis erlangt hat. Es ist der Auftraggeberin ausdrücklich untersagt unbefugt personenbezogene Daten zu verarbeiten. Diese Verpflichtung besteht auch nach Beendigung der Beauftragung/ Ausführung der Tätigkeiten fort.

IoT in der Praxis, live im Montagewerk und Prototypenbau – ein Praxisbericht aus dem Industrie 4.0 Alltag

Dipl.-Ing. **Frank Thurner**,
Contech Software & Engineering GmbH, Fürstenfeldbruck

3 Stichpunkte/Unterpunkte zum Vortrag:

- ✓ Anhand von Praxisbeispielen wird das selbstlernende System in Vollintegration mit einer Industrie 4.0 Fabrik / IoT Plattform in der Praxis live gezeigt.
- ✓ Es werden sowohl Erfahrungsberichte aus mehreren Einführungen gegeben als auch Anwendungsbereich, Nutzen, Prinzip und Wirkungsweise dargestellt
- ✓ Der Analyser® erkennt selbstlernend und in Echtzeit Fehlerbilder aus Produktvalidierungs- und Prozess-Kurven, liefert Ursachen, bietet Lösungen und Maßnahmen an und bildet so eine selbstlernende Wissensdatenbank für präventive und reaktive Fehlerbehebung.

Kurzbeschreibung:

Der Vortrag liefert Lösungen zu den aktuellen Aufgabenstellungen und Herausforderungen bei der digitalen Schraubtechnik und gibt Antworten auf die Frage „Wie können wir kostengünstig und nachhaltig den Anforderungen in Bezug auf Qualität, Haltbarkeit, Kompetenz, Auswahl, Prüfung, Kontrolle und rechtliche Absicherung gerecht werden?“

Der Analyser® für Robust Design basierend auf 12 Jahren Projekterfahrung für fehlerfreie, robuste Produkte und Prozesse wird anhand eines Kurzvortrages mit Praxisbericht und anschließender Live Vorführung vorgestellt. Anhand von Praxisbeispielen wird das selbstlernende System in Vollintegration mit einer Industrie 4.0 Fabrik / IoT Plattform in der Praxis live gezeigt. Es werden Anwendungsbereich, Nutzen, Prinzip und Wirkungsweise dargestellt:

Modul Kurven – hier: Schraubtechnik:

Erkennt selbstlernend und in Echtzeit Fehlerbilder aus Produktvalidierungs- und Prozess-Kurven, liefert Ursachen, bietet Lösungen und Maßnahmen an und bildet so eine selbstlernende Wissensdatenbank für präventive und reaktive Fehlerbehebung.

Praxisbericht:

Der Bericht zeigt mit live durchgeführten Praxisbeispielen wie die digitale Schraubtechnik die Anforderungen in Bezug auf Qualität, Haltbarkeit, Kompetenz, Auswahl, Prüfung, Kontrolle und rechtliche Absicherung mit Hilfe eines Industrie 4.0 / IoT Systems praktisch und standardisiert umgesetzt wurde. Dabei wird ein Erfahrungsbericht über die Einführung des selbstlernenden KI-Systems Analyser® gegeben. Es werden die typischen Themenstellungen aus Montage & Produktion für Serien und Prototypen beantwortet:

- » Wie sieht ein Einführungsprojekt in der digitalen Schraubtechnik in Verbindung mit einem selbstlernenden Industrie 4.0 System aus, das die Anforderungen der Digitalisierung und das IoT in die Praxis umsetzen kann?
- » Was muss ich als Unternehmen tun, um die Anforderungen in Bezug auf Qualität, Haltbarkeit, Kompetenz, Auswahl, Prüfung, Kontrolle und rechtliche Absicherung kostengünstig umsetzen zu können
- » Wie sieht eine in der Praxis bewährte Industrie 4.0 Vorgehensweise / das dazugehörige System und Absicherungsverfahren aus?
- » Wie können damit über 50% der Fehler- / Nacharbeitskosten und Gewährleistungsrisiken begleitend während des Anlaufs bzw. für die laufende Serie innerhalb von 6-9 Monaten reduziert werden?
- » Wann verkürzen sich damit die Projektlaufzeiten von den üblichen 2-3 Monaten auf nur 8-10 Stunden? Was muss ich dafür tun, damit es Wirklichkeit wird.
- » Wie kann das Expertenwissen „Schraubtechnik und Schraubmontage“ transparent gespeichert und für jedermann zugänglich und einsetzbar gemacht werden?
- » Wie setze ich das in meinem Unternehmen um?

KI in der Industrie bringt neue Herausforderungen im Fertigungsumfeld

Einsatz von KI was bringt das?

KI Beispiele und Ansätze

Selbstlernende Systeme in der Schraubtechnik

Zusammenfassung und Ausblick

Dipl.-Ing.(FH) **Harald Lukosz**, Bosch Rexroth AG, Murrhardt

Kurzfassung

Zwei der bekanntesten Größen sind wohl die beiden Exponential-Gesetze von Moor und von Nielsen.

Gordon Moor sagte bereits im Jahr 1965 vorher, dass sich die Rechenleistung alle 1,5 Jahre verdoppeln wird und Nielsen prognostizierte im Jahr 1983, dass sich die Bandbreite und damit die Möglichkeit mehr Daten gleichzeitig zu übertragen alle 1,8 Jahre ebenfalls verdoppeln wird. Im PCAST Report 2015– das ist ein Report an den US Präsidenten und den Kongress über IT Entwicklungen - wurde schon berichtet, dass die Algorithmen-Effizienz sich alle 11 Monate verdoppeln wird und damit die Anwendung von Künstlicher Intelligenz zwangsläufig damit bestätigt wurde.

Ein großer Treiber ist natürlich der rasante Anstieg der Datenmengen. Die Vorhersagegenauigkeit von Rechenmodelle mit zunehmender Datenmenge und Komplexität ist mit den klassischen Methoden limitiert. Die künstlichen neuronalen Netze, die durch starke Rechenleistung gestützt werden, ermöglichen eine deutlich bessere Vorhersagegenauigkeit KI wird damit ein zentrales Element im Rahmen der digitalen Revolution spielen.

Die Konsequenz aus dieser kontinuierlichen, technologischen Entwicklung ist, dass Produkte smart werden. IoT und damit auch Künstliche Intelligenz ist bereits heute schon ein fester Bestandteil unseres alltäglichen Lebens.

Auch wenn es uns nicht immer direkt bewusst ist, nutzen wir Anwendungen mit künstlicher Intelligenz heute schon häufig in unserem Alltag, wie beispielsweise die dynamische Routenplanung durch Google Maps oder die Spracherkennung mit SIRI, Alexa, Google.

Als letzte Konsequenz kann man davon ausgehen, dass alles was vernetzt werden kann, auch vernetzt werden wird.

Abstract

Two of the best known variables are probably the two exponential laws of Moor and von Nielsen.

Gordon Moor predicted in 1965 that computing power would double every 1.5 years, and Nielsen predicted in 1983 that bandwidth and the ability to transfer more data simultaneously would double every 1.8 years.

In PCAST Report 2015- which is a report to the US President and Congress on IT developments - it has already been reported that algorithm efficiency will double every 11 months, inevitably confirming the use of Artificial Intelligence.

A major driver is, of course, the rapid increase in data volumes. The prediction accuracy of computational models with increasing data volume and complexity is limited by classical methods. The artificial neural networks, which are supported by strong computing power, enable a significantly better prediction accuracy.

AI will thus play a central role in the digital revolution.

The consequence of this continuous technological development is that products will become smart.

IoT and artificial intelligence are already an integral part of our everyday lives.

Even if we are not always directly aware of it, we often use applications with artificial intelligence in our everyday lives today, such as dynamic route planning with Google Maps or speech recognition with SIRI, Alexa, Google.

As a final consequence, we can assume that everything that can be networked will also be networked.

1. Einsatz von KI was bringt das?

Definition von künstlicher Intelligenz:

Künstliche Intelligenz (KI, auch Artificielle Intelligenz (AI bzw. A. I.), englisch *artificial intelligence*, AI) ist ein Teilgebiet der Informatik, welches sich mit der Automatisierung intelligenten Verhaltens und dem Maschinellen Lernen befasst. Der Begriff ist insofern nicht eindeutig abgrenzbar, als es bereits an einer genauen Definition von „Intelligenz“ mangelt. Dennoch wird er in Forschung und Entwicklung verwendet. Quelle: Wikipedia

Hier ein Anwendungsbeispiel:

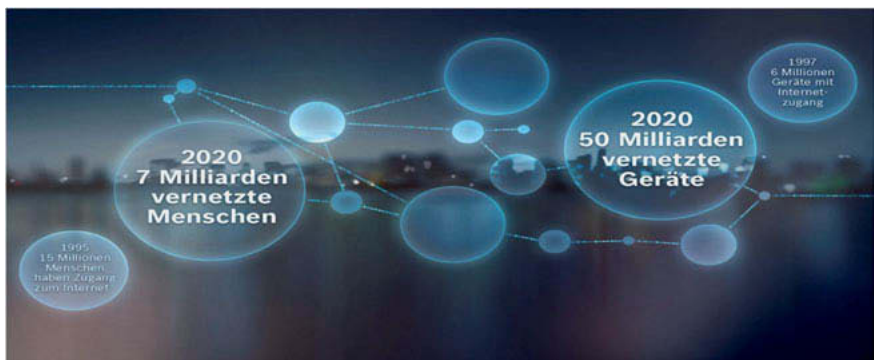


In diesem Beispiel sind mehrere Möglichkeiten gegeben KI anzuwenden. Wie das selbstlernende Schraubwerkzeug, die Optimierung der Montage durch Auswertung der Daten die entstehen. Die automatische Anpassung der Werker Unterstützung durch die Beobachtung, Auswertung der erzeugten Daten und Handlungen des Werkers.

Durch den Einsatz von KI Algorithmen kann so in Echtzeit die Produktivität gesteigert werden.

2. Zusammenfassung und Ausblick

Die Vernetzung der Maschinen, Produkte und Menschen wird in den nächsten Jahren rasant ansteigen. (siehe Bild)



Fabrik der Zukunft:

Vision der Factory of the Future

Energie- und
Kommunikations-
infrastrukturraum



Kommunizierende und
vernetzbare
Komponenten mit
integrierter Intelligenz



Alles vernetzt und mit KI
gesteuert und optimiert



In der Fabrik der Zukunft können auch die Vorhandenen Elemente integriert werden. Selbst teure Produktionswerkzeuge können innerhalb von Sekunden mit der Cloud verbunden werden (Sensor Cloud), so dass Sie deren Zustand, Leistung und Aufenthaltsort einfach überwachen können. An einer Maschine angebracht, können Sensorlösungen in robusten Gehäusen präzise Messungen liefern, z. Vibrationen und spart somit viel Zeit für die Zustandsüberwachung.

Menschen als Schlüsselfiguren: Mensch-Roboter-Kollaboration und UX

Während des Produktionsprozesses stellen wir sicher, dass Ihre Mitarbeiter bei ihren täglichen Aufgaben so effektiv wie möglich unterstützt werden. Dies könnte eine Workstation mit intelligenten Arbeitsanweisungen oder integrierter Werkzeuge sein. Oder es könnte ein kleiner mobiler Roboter sein, der direkt und dennoch kontaktlos mit Ihren Mitarbeitern zusammenarbeiten kann. Im Mittelpunkt all dieser Anwendungen steht die User Experience: Lassen Sie sich zeigen, wie Sie mit Augmented Reality, Visualisierung und intelligenter Beleuchtung auch auf kleinem Raum den Arbeitsalltag erleichtern können zeitsteigernde Effizienz.

Rückverfolgbarkeit in der gesamten Lieferkette.

Während der Produktion, aber auch auf dem Weg zu Ihren Kunden, können Sie Materialien und Produkte dank Industrie 4.0 einfach und transparent verfolgen - damit Sie immer wissen, wo in der Lieferkette Ihre Produkte gerade verarbeitet werden. Mit intelligenten Sensoranwendungen können Sie nicht nur die Position, sondern auch den Zustand von sensiblen Gütern während des Transports (TDL, Track & Trace) überwachen, indem Sie in Echtzeit über qualitätsrelevante Ereignisse mit individuellen Benachrichtigungen informiert werden.

Alle oben genannten Punkte können durch den Einsatz von KI noch mehr optimiert werden und die Transparenz der Prozesse in Echtzeit dargestellt werden.

Der Einsatz von KI wird dem Thema Industrie 4.0 einen weiteren Schub geben und die Digitalisierung in der Industrie und Gesellschaft weiter vorantreiben.

- [1] Hier Literaturhinweise: Präsentation Bosch Rexroth AG Factory of the Future, Präsentation Bosch KI, Präsentation Bosch Industrie 4.0

Künstliche Intelligenz in Schraubprozessen

Prof. Dr. **Stephan Matzka**, Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Kurzfassung

In dieser Arbeit werden grundlegende Formen der künstlichen Intelligenz in Schraubprozessen betrachtet und auf die Besonderheiten der Vorhersage und Beurteilung von Qualitätsparametern sowie der prädiktiven Wartung von Schraubtechnik eingegangen. Die praktische Relevanz wird anhand eines Praxisbeispiel eines Automotive OEMs beispielhaft aufgezeigt.

Abstract

This paper lays out basic concepts of artificial intelligence in screw-fastening processes. The specifics of predicting and classifying quality parameters as well as predictive maintenance of screw driving equipment are discussed. The concepts' relevance is shown using a practical example at an automotive OEM.

1. Einführung

Schraubprozesse gehören zu den am besten dokumentierten Fertigungstechniken in modernen Fertigungstechnik. Daher liegen für Schraubprozesse in aller Regel eine große Menge an Eingangsdaten und Ausgangsdaten vor, die für das Training einer künstlichen Intelligenz verwendet werden können.

Diese Arbeit zeigt in Abschnitt 2 grundlegende Formen der künstlichen Intelligenz auf und zeigt spezifische Anwendungsgebiete in der Schraubtechnik. In den Abschnitten 3 und 4 werden Rahmenbedingungen für die prädiktive Wartung von Schraubtechnik und die Vorhersage und Beurteilung von Qualitätsparametern diskutiert. In Abschnitt 5 wird anhand eines Praxisbeispiel eines Automotive OEMs die technischen Möglichkeiten und der wirtschaftliche Nutzen von künstlicher Intelligenz in der Schraubtechnik aufgezeigt.

2. Formen der künstlichen Intelligenz in Schraubprozessen

Künstliche Intelligenz, oder maschinelles Lernen, beschreibt die künstliche Erzeugung von Wissen aus Daten. Dies ist anders als bei Datenbanken, die Millionen von Schraubkurven und –parametern speichern können, aber auch nur bereits abgespeicherte Datensätze aus diese Datenbank abgerufen werden können.

Es wäre daher möglich, aber nicht sehr wahrscheinlich, dass eine neu aufgenommene Schraubkurve exakt einer bereits in der Datenbank abgespeicherten entspricht. In diesem Fall

könnten Aussagen wie zum Beispiel die Bewertung in Ordnung (i.O.) oder nicht in Ordnung (n.i.O.) aus einer Datenbank entnommen werden.

Die Haupteigenschaft eines künstlich intelligenten Systems ist, dass dieses aus den Daten in einem Datensatz lernen kann und dieses nach Abschluss der Lernphase verallgemeinern kann. Durch diese Verallgemeinerung, oder Generalisierung, ist es auch möglich über neue, unbekannte Schraubverläufe mit einer hohen Sicherheit Aussagen zu treffen.

Grundsätzlich kann bei maschinellem Lernen zwischen zwei Grundkonzepten unterschieden werden, die sich jeweils wieder in zwei Ausprägungen aufteilen lassen (vgl. Bild 1).

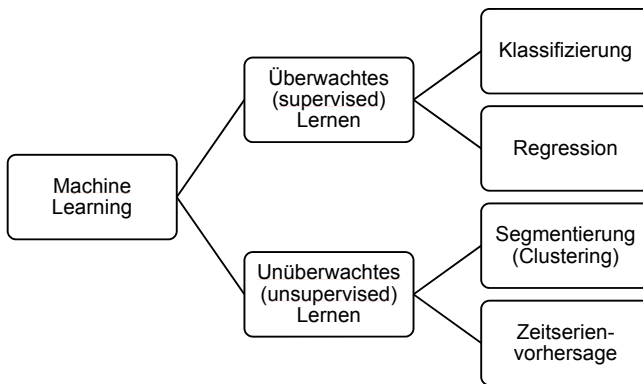


Bild 1: Grundkonzepte des Maschinellen Lernens.

Überwachtes Lernen

Überwachtes Lernen, oder supervised learning, lernt anhand von Eingabedaten, zum Beispiel Drehmoment-Drehwinkel-Verläufen, und Ausgabedaten (engl. „Labels“), zum Beispiel der Bewertung i.O. oder n.i.O. oder der resultierenden Vorspannkraft. Dies erfordert, dass sowohl Eingabedaten als auch Ausgabedaten im Datensatz verfügbar sind.

Untergruppen des überwachten Lernens sind die Klassifikation, also diskrete Ausgangsdaten wie i.O. oder n.i.O. der Verschraubung bzw. Normalbetrieb oder Störmeldung des Schraubkanals. Die zweite Untergruppe ist die Regression, die kontinuierliche, numerische Werte als Ausgangsdaten vorhersagt, also zum Beispiel die Vorspannkraft der Verschraubung in Newton oder die verbleibende Zeit bis zur nächsten Wartung in Stunden.

Unüberwachtes Lernen

Unüberwachtes Lernen, oder unsupervised learning, lernt dagegen ausschließlich auf Basis der Eingangsdaten. Ausgangsdaten sind entweder nicht bekannt oder werden bewusst nicht für das Training herangezogen.

Untergruppen des unüberwachten Lernens sind erstens Segmentierung, auch Clustering, genannt. Die Segmentierung fasst einander ähnliche Eingangsdaten in Gruppen zusammen, die sich bestmöglich von anderen Gruppen unterscheiden sollen. Dadurch lassen sich zum Beispiel innerhalb von i.O. Schraubverläufen einzelne Gruppen von Verläufen identifizieren. Besonders sind hierbei die Gruppen mit wenigen Datenpunkten, also Anomalien, die trotzdem zu einem i.O. Ergebnis geführt haben. Analog hierzu sind unübliche Kombinationen von Betriebsparametern in Schraubkanälen, die aktuell keine Störung aufweisen. Zweitens ist die Zeitreihenvorhersage eine Untergruppe des unüberwachten Lernens. Hier werden basierend auf aufgezeichneten Werteverläufen über die Zeit Schätzungen über den weiteren Verlauf der Werte getroffen. Dies könnte zum Beispiel die Schätzung des weiteren Verlaufs der Drehmoment-Drehwinkelkurve während des Schraubvorgangs sein.

Alle in Abschnitt 1 beschriebenen Arten des maschinellen Lernens können somit in der Schraubtechnik eingesetzt werden. Eine beispielhafte Aufzählung der möglichen Implementierungen ist in Tabelle 1 gegeben.

Tabelle 1: Beispielanwendungen von künstlicher Intelligenz in der Schraubtechnik

Überwachtes Lernen	Klassifikation	Regression
Ein- und Ausgangsdaten (Labels) sind bekannt	Ausgangsdaten sind diskret	Ausgangsdaten sind kontinuierlich numerisch
Beispiele Prozess	<ul style="list-style-type: none"> Erkennung von i.O. und n.i.O. Verschraubungen Bestimmung von Fehlerarten z.B. Stick-Slip 	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmung der Vorspannkraft oder des Nachziehmoments
Beispiele Produkt	<ul style="list-style-type: none"> Erkennung von Störungen im Schraubkanal 	<ul style="list-style-type: none"> Verbleibende Zeit bis zur nächsten Wartung Aktueller Verschleißgrad
Unüberwachtes Lernen	Segmentierung	Zeitreihenvorhersage
Eingangsdaten sind bekannt	Ähnliche Datenpunkte werden gruppiert	Werteverläufe über die Zeit werden extrapoliert
Beispiele Prozess	<ul style="list-style-type: none"> Anomaliedetektion von Schraubprozessen 	<ul style="list-style-type: none"> Vorhersage des weiteren Schraubkurvenverlaufs
Beispiele Produkt	<ul style="list-style-type: none"> Anomaliedetektion von Schraubkanalparametern 	<ul style="list-style-type: none"> Vorhersage des Werkzeugverschleißes

3. Prädiktive Wartung von Schraubtechnik

Welche Arten des maschinellen Lernens zum Einsatz kommen können, ist abhängig von den vorhandenen Daten, wichtiger ist jedoch der erwartete wirtschaftliche Nutzen.

Ein Beispiel hierfür ist die Prädiktion des Ausfalls von Schraubkanälen. Damit eine Verallgemeinerung des Datensatzes im Sinne einer künstlichen Intelligenz stattfinden kann ist eine signifikante Anzahl von Ausfällen im Datensatz erforderlich. Dies ist in Betrieben mit einer kompetenten Instandhaltung in der Regel nicht der Fall. Gleichzeitig ist der zu erwartende wirtschaftliche Nutzen einer Ausfallsvorhersage gering, wenn die Schraubkanäle sehr selten ausfallen. Häufig ist also die Prädiktion seltener (Aus-)Fälle technisch und wirtschaftlich nicht ergiebig.

4. Vorhersage und Beurteilung von Qualitätsparametern

Im Gegensatz zu einer Prädiktion von Produktausfällen steht die Prädiktion von Qualitätsparametern, wie i.O. und n.i.O. Prozessergebnis oder Bestimmung des Nachziehmoments bzw. der Vorspannkraft. Das Prozessergebnis fällt als Parameter in jedem Verschraubungsprozess an, und selbst im eingeschwungenen Fertigungsprozess sind n.i.O. Raten von 3% nicht ungewöhnlich. Die Messung von Nachziehmoment und Vorspannkraft dagegen wird stichprobenartig vorgenommen, was jedoch nach einiger Zeit auch eine ausreichende Datenbasis für einen „Soft Sensor“, also die Bestimmung einer nicht direkt gemessenen Größe auf Basis von regelmäßig gemessenen Prozessparametern.

5. Praxisbeispiel eines Automotive OEMs

Die Prädiktion von Prozessergebnissen soll anhand eines Montagestandorts eines führenden Automobilherstellers, mit einer Tagesproduktion über 2000 Fahrzeugen dargestellt werden (vgl. [1]). Jährlich werden in diesem Montagestandort circa 500 Millionen Schraubverbindungen elektronisch überwacht getätigt. Dabei ist selbst im optimierten Zustand eine Fehlverschraubungsquote von 3% kaum zu unterschreiten. Fehlverschraubungen werden vom EC-Schrauber am Ende der Verschraubung erkannt, vom Mitarbeiter unmittelbar gelöst und durch eine Wiederholverschraubung korrekt durchgeführt. Dies garantiert die Abgabe von 100% Qualität in die folgenden Bearbeitungsschritte, führt jedoch zu Produktionsstillständen und erhöhtem Materialverbrauch.

Datenbasis und Methodik

Im Rahmen einer Datenanalyse wurden über einen Zeitraum von 3 Monaten je circa 30.000 Drehmoment-Drehwinkel-Kurven mit einer Größe von 1-2 MB von elektronisch überwachten

Schraubern zunächst von einer, im zweiten Schritt von 11 weiteren Schraubstationen, untersucht.

Unsere Erfahrungen zeigen, dass die Aufwände für die Vorbereitung und Bereinigung der Daten für die nachfolgende Analyse stets einen signifikanten, in der Regel sogar den größten Anteil einer Untersuchung darstellen. Durch die zentrale Ablage und hochgradig strukturierte Formatierung der Drehmoment-Drehwinkel-Daten konnte im vorliegenden Projekt innerhalb weniger Arbeitstage eine performante Import-Funktion für Matlab programmiert werden.

Die Datenanalyse wurde aufgrund der verhältnismäßig kleinen Datenmenge in Matlab unter Nutzung der „Machine Learning Toolbox“ sowie der „Neural Network Toolbox“ auf einem Standard-Desktop PC durchgeführt.

Als Klassifikatoren werden die in der „Matlab Machine Learning Toolbox“ zur Verfügung gestellten Verfahren genutzt. Diese unterscheiden sich signifikant sowohl in der Methodik also auch in der Performanz bezogen auf Prädiktionsgeschwindigkeit sowie Speicherbedarf zur Laufzeit. Da die Prädiktion frühzeitig erfolgen muss, soll diese nach erhalten der Daten in minimaler Zeit abgeschlossen sein, um den Schraubvorgang gegebenenfalls abzubrechen. Gleichzeitig ist der Speicherbedarf ein wesentlicher Parameter, falls der Algorithmus auf einer Embedded Plattform beziehungsweise einem Edge Computing Gerät lauffähig sein soll.

Technische Ergebnisse

Im Rahmen der Analyse wird gezeigt, dass eine 90% Genauigkeit der Vorhersage einer späteren Fehlverschraubung bereits nach 20 ms im Drehmoment-Verlauf möglich sind. Diese Ergebnisse werden durch den hieraus entwickelten Ansatz mittels künstlicher Intelligenz bestätigt und übertroffen. Als Klassifikatoren werden die in Tabelle 2 aufgeführten Algorithmen zur Evaluation herangezogen.

Für das Training der Klassifikatoren werden beispielweise die ersten 5-20 Drehmomentwerte mit einer zeitlichen Auflösung von 1 ms über 3780 Verschraubungsvorgänge eines handgehaltenen Schraubsystems herangezogen. Dabei wird zur Absicherung gegenüber der Überanpassung der Parameter eine 5-fache Kreuzvalidierung genutzt.

Die Wahl der Anzahl der zu betrachtenden Drehmomentwerte wurde aufgrund der Evaluationsergebnisse getroffen mit der gezeigt werden konnte, dass bei handgehaltenen Schraubanlagen bereits die ersten 5-20 Drehmomentwerte eine ausreichende Aussagekraft besitzen. Für stärker automatisierte Schraubvorgänge sind bis zu 100 Drehmomentwerte erforderlich, die mittels Hauptkomponentenanalyse (PCA, vgl. [2]) beziehungsweise Diskriminanzanalyse (LDA, vgl. [3]) auf jeweils 5 Komponenten reduziert wurden.

Tabelle 2: Klassifikationsqualität der trainierten Verfahren

Klassifikationsverfahren	Genauigkeit	Richtig-positiv-Rate	Richtig-negativ-Rate
Entscheidungsbaum	97,0 %	30,4 %	99,5 %
Diskriminanzanalyse	96,7 %	11,6 %	99,9 %
Logistische Regression	96,5 %	12,3 %	99,7 %
Support Vector Machine	96,7 %	8,7 %	100,0 %
Hybride Verfahren	98,8 %	76,1 %	99,7 %
Künstl. Neuronale Netze	96,6 %	14,5 %	99,7 %

Während die Genauigkeit der in Tabelle 2 aufgeführten Verfahren allgemein sehr gut ist, ergibt sich bei der Betrachtung des besten Verfahrens durch das Einsetzen der Absolutwerte bei 97% i.O. Verschraubungen in Tabelle 3 eine differenzierte Bewertung.

Tabelle 3: Wahrheitsmatrix für Hybride Verfahren

Hybride Verfahren	Ist n.i.O.	Ist i.O.	Summe
Prädiziert n.i.O.	23 (76,1 %)	3 (0,3 %)	26 (2,6 %)
Prädiziert i.O.	7 (23,9 %)	967 (99,7 %)	974 (97,4 %)
Summe	30 (3,0 %)	970 (97 %)	1000 (100,0 %)

Die Falsch-Positiv-Rate von $(100 \% - 99,7\%) = 0,3 \%$ führt bei einer n.i.O. Rate von 3 % der Verschraubungsprozesse bei 1000 Verschraubungen zu einer absoluten Anzahl von 3 Falsch-Positiv-Meldungen, oder Fehlalarmen. Dies ist gegenüber einer Anzahl von 23 korrekt vorhergesagten Richtig-Positiv-Klassifikationen eine Fehlalarmrate von 3 aus 26, also 11,5%. Dies ist der Anteil der Fälle, in denen ein Schraubprozess fälschlicherweise vorzeitig abgebrochen wird. Die wirtschaftlichen Auswirkungen dieses Klassifikationsfehlers ist jedoch gering, da nur 20 ms Prozesszeit „verloren“ sind, und die in der Folge beschriebenen weiteren Prozesskosten nicht auftreten.

Das ausgewählte Verfahren ist auf einem Industrie PC umgesetzt und befindet sich in der Praxiserprobung. Dabei ist neben der Prädiktion der Fehlverschraubung insbesondere die konkrete Ableitung der Handlung von Interesse, zum Beispiel ab welcher Konfidenz und mit welcher maximalen Häufigkeit die Verschraubung tatsächlich abgebrochen wird, um den wirtschaftlichen Nutzen zu sichern, aber gleichzeitig den Fertigungsmitarbeiter nicht zu behindern.

Wirtschaftliche Ergebnisse

Die wirtschaftlichen Vorteile einer frühzeitigen Prädiktion von Fehlverschraubungen ergeben sich aus einer Fülle von Faktoren, im Folgenden sind die vier größten Kostenblöcke erläutert.

Fertigungskosten einer Wiederholverschraubung

Bei einer Fehlverschraubung ist es erforderlich, die Schraube herauszudrehen, in manchen Fällen zu wechseln und danach erneut zu Verschrauben. Dabei fallen alleine durch Herausdrehen und Neuverschraubung im Durchschnitt 4,5 s Fertigungszeit an, was Fertigungskosten von circa 0,04 € entspricht. Dabei ist selbst im optimierten Zustand eine Fehlverschraubungsquote von 3% kaum zu unterschreiten, bei der diese zusätzlichen, nicht wertschöpfenden Fertigungskosten anfallen.

Austausch der Schraube bei Drehwinkelanzug

Wird eine Schraube durch das Anzugsverfahren überelastisch beansprucht, ist es erforderlich, dass der Werker die ursprüngliche Schraube entfernt und für die Wiederholverschraubung eine neue Schraube verwendet. Dies ist in aller Regel bei Drehwinkelanzug erforderlich, bei dem nach dem Erreichen des Fügемoments durch den vorgegebenen Drehwinkel eine definierte Längung der Schraube und damit eine definierte Vorspannkraft erreicht wird.

Drehwinkelanzüge machen ungefähr 10% der Verschraubungen im Automobilbereich aus, somit ergibt sich eine Gesamtwechselquote bei 0,3% der Verschraubungen. Gleichzeitig können je Schraube Materialkosten von durchschnittlich 0,03 € angenommen werden, wobei einzelne Schraubtypen, gerade im Hochmomentbereich, höhere Materialkosten verursachen.

Austausch von Bauteilen nach Fehlverschraubung

Einzelne sicherheitsrelevante Bauteile müssen nach einer Fehlverschraubung ausgetauscht werden, da deren Funktionalität mit einem beschädigten Gewinde nicht mehr gewährleistet werden kann. Während bei einer korrekten Verschraubung eine Beschädigung des Gewindes ausgeschlossen werden kann, ist dies bei Fehlverschraubungen nicht der Fall. Diese Fälle treten äußerst selten auf und werden demnach mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,003% aller Verschraubungen angenommen. Gleichzeitig sind die entstehenden Materialkosten mit durchschnittlich 5 € erheblich.

Fertigstellung an einem Standardarbeitsplatz

Fehlverschraubungen werden vom EC-Schrauber am Ende der Verschraubung erkannt, vom Mitarbeiter unmittelbar gelöst und durch eine Wiederholverschraubung korrekt durchgeführt. Dies garantiert die Abgabe von 100% Qualität, führt jedoch zu Produktionsstillständen. Es gibt jedoch Einzelfälle, statistisch in 0,0003% der Verschraubungen, bei denen die Kosten des Produktionsstillstands im Linienbetrieb unverhältnismäßig hoch würden. In diesem Fall wird das Fahrzeug in den Qualitätssystemen gesperrt, aus der Montagelinie ausgeschleust

und an einem Standardarbeitsplatz nachgearbeitet. Die Kosten für die Fertigstellung eines Umfangs an einem Standardarbeitsplatz können mit 200 € veranschlagt werden.

Wirtschaftliche Gesamtbetrachtung

Werden die zuvor beschriebenen Auftrittswahrscheinlichkeiten und Kosten von Fehlverschraubungen mit der Anzahl von 500 Millionen Verschraubungen multipliziert, so lässt sich ein wirtschaftliches Gesamtpotential ableiten.

Tabelle 4: Wirtschaftliches Potential der frühzeitigen Erkennung von Fehlverschraubungen

Einsparungspotential	Wert pro Vorkommnis	Wahrscheinlichkeit	Potential für 500 Mio Verschraub. jährlich
Fertigungskosten einer Wiederholungsverschraubung	0,04 €	3,0000 %	600.000 €
Austausch der Schraube bei Drehwinkelanzug	0,03 €	0,3000 %	45.000 €
Austausch von Bauteilen	5,00 €	0,0030 %	75.000 €
Fertigstellung an einem Standardarbeitsplatz	200,00 €	0,0003 %	300.000 €
Wirtschaftliches Gesamtpotential			1.020.000 €

Dem gegenüber stehen erheblich geringe Kosten für Entwicklung und Umsetzung. Die erforschte Methode ist patentiert [4,5] und ermöglicht dadurch sowohl die Realisierung eines Wettbewerbsvorteils, sowie zusätzliche Einnahmen durch Lizenzierung.

6. Literaturangaben

- [1] Matzka, S.: „Frühzeitige Prädiktion von Fehlverschraubungen mittels künstlicher Intelligenz“. In: Industrie 4.0. Safety und Security, S. 152-161, Beuth Verlag, 2017.
- [2] Pearson, K.: "On lines and planes of closest fit to a system of points in space". In: The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science. Series 6, 2, S. 559–572, 1901.
- [3] Fisher, R...:"The use of multiple measurements in taxonomic problems", Annals Eugen., Vol. 7, pp. 179-188, 1936.
- [4] Patent DE 10 2015 009 395.9
- [5] Patent US2017/0014961A1

Die Taxonomie von effizientem Werkzeuggebrauch

Vom Menschen lernen und so Arbeitsprozesse und Systeme neu gestalten und absichern

Frank Honisch, nexonar – soft2tec GmbH, Rüsselsheim;
Dr. Christian Marquardt, Science&Motion GmbH, Flörsheim am Main

Kurzfassung

Die Qualität einer Bewegungsausführung lässt sich anhand einer kinematischen Bewegungsanalyse qualitativ und quantitativ messen und dokumentieren. Solche Bewegungsanalysesysteme werden in vielen Bereichen wie der Bewegungswissenschaft oder der Sportwissenschaft seit langem erfolgreich eingesetzt. Weiterhin können systematisch kritische Faktoren abgeleitet werden, die die Effizienz einer Bewegung fördern oder behindern. Dies gilt auch für den Werkzeuggebrauch im Allgemeinen. Die Ergonomie eines Werkzeugs hat dabei einen hohen Stellenwert, genauso wie die Gestaltung eines Arbeitsplatzes. Aber auch der Bewegungsablauf selber kann optimiert werden, indem Arbeitsabläufe funktional gestaltet werden und eine entsprechende Lernumgebung zur Verfügung gestellt wird. Weiterhin können entsprechende Instant-Feedback Systeme zur direkten Prozesssteuerung verwendet werden.

1. Einleitung

Technische Systeme zur Messung einer Bewegungsausführung stehen seit langem zur Verfügung und werden in vielen Bereichen der Bewegungsforschung, der Sportwissenschaften, aber auch der Arbeitswissenschaften erfolgreich eingesetzt. Eher aufwändige Verfahren sind optische Verfahren, wie 3D Videoanalyse, elektro-magnetische Verfahren, oder auch Ultraschall. Neuerdings gibt es auch smarte Systeme wie 3D Kameras, Infrarot Kameras oder Inertialsensoren. Allerdings stellt sich auch die Frage, nach welcher Systematik die erfassten Daten ausgewertet und beurteilt werden. Ein Stichwort in diesem Zusammenhang ist die Ergonomie des Arbeitsplatzes, ein anderer Ansatz wäre die Auswertung in Bezug auf die Effizienz der Bewegungen. Hierbei spielt zwar auch die Ergonomie eine Rolle, allerdings gibt es viele weitere Faktoren die eine „gute“ von einer „schlechten“ Bewegungsausführung unterscheiden.

2. Kinematische Bewegungsanalyse

Bei einer kinematischen Bewegungsanalyse werden vor allem die dynamischen Aspekte einer Bewegungsausführung, also die Zeitabläufe, die Geschwindigkeits- und die Beschleunigungsverläufe analysiert. Ergebnisse der motorischen Forschung zeigen, dass „gute“ Bewegungen mit typischen effizienten Bewegungsmustern ausgeführt werden: gekonnte menschliche Bewegungen ähneln stark den Bewegungen eines Pendels, der ballistischen Bewegung mit einem freien Schwingung der Massen. Nach dem Loslassen des Pendels findet ein kontinuierlicher Geschwindigkeitsanstieg bis zum Maximalwert genau nach der Hälfte der Zeit und nach Hälfte des Pendelausschlags statt. Danach erfolgt eine kontinuierliche Geschwindigkeitsabnahme bis zum Stillstand des Pendels am gegenüberliegenden Punkt. Die anfängliche Beschleunigungsphase des Pendels ist dabei symmetrisch zu der nach dem Geschwindigkeitsmaximum stattfindenden Bremsphase.

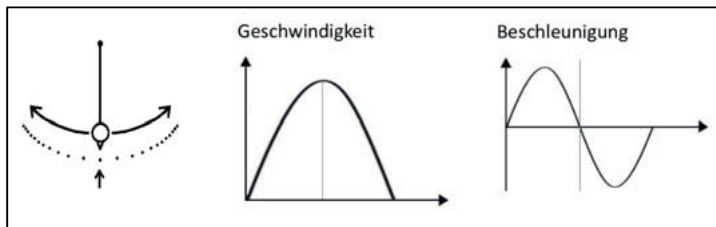


Bild 1: Charakteristik einer Pendelbewegung

Die Charakteristik einer ballistischen Bewegung lässt sich funktional auch dadurch beschreiben, dass unter möglichst geringem Aufwand ein möglichst großer Nutzen in einer bestimmten Zeit erreicht werden soll. Überträgt man dieses Prinzip auf die Motorik, würde eine "gute" Bewegung z.B. eine flüssige Ausführung unter Minimierung des Krafteinsatzes oder der benötigten Zeit bedeuten. Die hochüberlernte Motorik z.B. beim Greifen folgt tatsächlich diesen Prinzipien: Bei solchen Bewegungen lässt sich immer ein glattes Geschwindigkeitsprofil mit genau einem Maximum in der Mitte eines Bewegungsabschnitts ("glockenförmiger Geschwindigkeitsverlauf") finden.

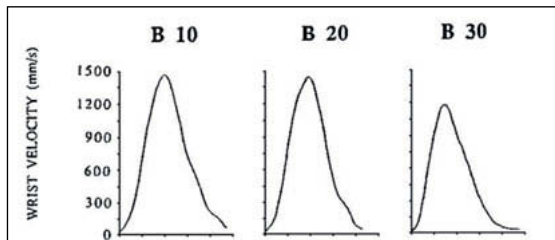


Bild 2: Geschwindigkeitsverlauf einer Greifbewegung auf verschieden positionierte Ziele

3. Die Charakteristika einer „guten“ Bewegung

Betrachtet man die Geschwindigkeits- und die Beschleunigungsprofile wiederholt ausgeführter Bewegungen, so fällt die extrem hohe Wiederholgenauigkeit auf. In Abbildung 3 sind die Geschwindigkeits- und Beschleunigungsverläufe von 5 Putt-Schlägen eines der besten Golfspieler der Welt, Tiger Woods, dargestellt. Die Profile sind auf Beginn der Vorwärtsbewegung auf den Ball hin zentriert und übereinander gezeichnet. Es ist deutlich zu erkennen, dass die charakteristische Ausführung der Schwungbewegung über die Durchläufe hinweg exakt erhalten bleibt. Dies gilt sowohl für die Form der Profile, für die Höhe der Peaks als auch für die zeitliche Struktur.

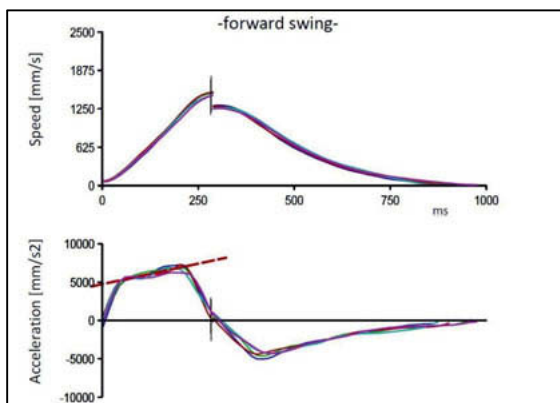


Bild 3: Geschwindigkeit und Beschleunigung bei 5 Putts vom Golfspieler Tiger Woods

Mit dem Ansatz der kinematischen Bewegungsanalyse lassen sich also systematisch die typischen Charakteristika von gekonnt ausgeführten, automatisierten Bewegungen erfassen. Diese sind:

- Flüssige Bewegungsausführung ohne Pausen
- Glockenförmiger eingipfliger Geschwindigkeitsverlauf
- Symmetrische Beschleunigungs- und Bremsphase
- Konstante Zeitbeziehungen
- Hohe Wiederholgenauigkeit
- Minimierung des benötigten Bewegungspfads und der Gesamtzeit
- Minimierung des Kraftaufwands

Diese Charakteristika können auch allgemein für den Werkzeuggebrauch, beispielsweise für die Benutzung einer Zahnbürste, oder hier im speziellen für den Handschrauber, herangezogen werden, um die Effizienz und die Qualität der Bewegungen zu beschreiben. Dies ermöglicht eine Identifikation der Bewegungskompetenz des Arbeiters, von günstigen und ungünstigen Faktoren für die Bewegungsausführung, und einen davon abgeleiteten Optimierungsprozess des Werkzeugs selber und der Arbeitsumgebung.

4. Klassifikation des Optimierungsfortschritts bei Bewegungsabläufen

Wie kann nun im Konkreten die Qualität einer Bewegung beurteilt werden und wie kann das Bewegungsergebnis durch Training und Prozessanpassung verbessert werden? Nicht jeder ist ein „Tiger Woods“ und hat ein angeborenes Talent. Zudem sind viele Systeme nicht optimal ausgelegt und erlauben auch dem „Tiger Woods“-Werker keine optimale Bewegungsausführung. In diesem Zusammenhang können eine Reihe von Fragen von Interesse sein, wie:

- Welches Bewegungspotential besitzt ein Mitarbeiter?
- Wie effizient und reproduzierbar sind seine Bewegungsabläufe?
- Wie schnell verbessert sich der Mitarbeiter beim Lernen?
- Welche Aufgaben sind optimal durch wen durchzuführen?
- Wie effektiv ist eine Änderung des Arbeitsprozesses?
- Welche Veränderungen ergeben sich durch neue Werkzeuge?

Dies soll in keiner Weise eine Einteilung in „gute“ und „schlechte“ Mitarbeiter bedeuten, sondern diese Fragestellungen dienen vielmehr der Einschätzung von möglichen Potentialen, die dann konsequent genutzt werden könnten. Die richtige Person am richtigen Ort reduziert kör-

perlichen Stress. Ein optimaler Arbeitsplatz bietet höheres Leistungspotential für alle. Die benötigten motorischen Grundfertigkeiten sollten vorhanden sein. Komplexe Bewegungsabläufe können darauf aufbauend systematisch gelernt werden. Auch die Arbeitssysteme können Schritt für Schritt angepasst und optimiert werden.

Das Ziel ist es all dieser Aspekte objektiv messen und beurteilen zu können.

Das im Folgenden beschriebene Verfahren kann unter verschiedenen festen und variablen Gegebenheiten durchgeführt werden, um die motorische Kompetenz und die Lernfähigkeit einer Person oder einer Gruppe von Personen zu beurteilen. Es kann auch genutzt werden, um die Eignung verschiedener Werkzeugtypen für eine bestimmte Aufgabe zu beurteilen (z.B. Winkel- oder Pistolen-Schrauber). Dem „Erlernen“ einer optimalen Bewegungsausführung kommt sicherlich eine besondere Rolle zu. Es fällt auf, dass sich verschiedene Personen unterschiedlich schnell zu „verbessern“ scheinen. Neben der Anzahl an Wiederholungen gibt es weitere entscheidende Faktoren für den individuellen Lernerfolg:

- Die persönlichen Grundfähigkeiten eines Mitarbeiters
- Die Anleitung wie man es am besten tun soll
- Das richtige Feedback – (externe Information, Vorarbeiter)
- Die Ergonomie des Werkzeugs/ Arbeitsplatzes/ eines Arbeitsablaufs

5. Das motorische Kompetenzprofil

Mit dem Analysesystem SAM PuttLab der Firma Science&Motion können Puttschläge mit einem Ultraschallsensor aufgezeichnet und im Detail ausgewertet werden. Zur Erstellung eines individuellen „Kompetenzprofils“ werden die individuellen Leistungsdaten dann mit den statistischen Daten einer Stichprobe von 150 professionellen PGA Tour Spielern verglichen und die Ergebnisse in übersichtlichen Reports mit Leistungsbalken dargestellt. Dabei wird zum einen beurteilt, wie die technische Ausführung der Bewegung von dem typischen Tour Spieler abweicht, aber auch wie gut die Wiederholgenauigkeit der Ausführung ist. In dem angezeigten Profil erkennt ein Trainer dann auf einen Blick, welche technischen Abweichungen am größten sind (Effizienz), aber auch welche Aspekte nicht wiederholgenau sind und noch besser gelernt werden müssen (Automation).



Bild 4: Kompetenzprofil eines sehr guten Handicap 0 Golfspielers beim Putten

Man sieht, dass auf der linken Seite (Technik) einigen Faktoren außerhalb des Referenzbereichs liegen (gelbe oder rote Balken). Die Bewegung ist jedoch in den meisten Aspekten hoch reproduzierbar (rechte Balken). Ein Trainer muss nun beurteilen, welche Faktoren bei einem Spieler trainiert werden sollten, um eine möglichst hohe Effizienz und eine möglichst hohe Wiederholbarkeit zu erreichen. Dazu kann ein spezielles Trainingsprogramm für diesen Spieler entworfen werden, es kann aber auch das verwendete Werkzeug, der Putter, individuell an den Spieler angepasst werden (Fitting). Ein Vorher / Nachher Vergleich dient dann zur Beurteilung des Erfolgs der Intervention und ermöglicht natürlich auch weitere Anpassungen.

Diese Methode der Putt-Analyse kann auch auf die Bewegungsanalyse in der Montage übertragen werden. Durch die Ermittlung von geeigneten Bewegungsparametern, der objektiven Beurteilung der verschiedenen Bewegungsaspekte, und einem entsprechenden Feedback können Trainingsansätze entworfen werden und die Systeme und Prozesse angepasst und optimiert werden.

6. Versuch zur Bestimmung des Potentials zum Erlernen von Schraubabläufen

In einer beispielhaften Studie wurde das Potential von Anfängern in der Schraubmontage ermittelt. Dabei wurde eine Gruppe von 13 Personen untersucht. Die Aufgabe war dabei 10 Schrauben (M10) mit einem Winkel-Schrauber so schnell wie möglich 5 x nacheinander korrekt einzuschrauben. Es handelt sich um eine gemischte Gruppe mit Männern und Frauen. Die Probanden unterscheiden sich auch in ihrem Körperbau, einige Probanden betreiben

Sport und andere nicht. Alle Probanden arbeiten unter den gleichen Bedingungen, d.h. mit dem gleichen Schrauber und der gleichen Nuss. Die Positionen der Schrauben auf dem Motorblock befinden sich immer in der gleichen Arbeitsposition auf einem Tisch.

Folgende Punkte wurden untersucht:

- Die Form der Bewegung – die Suche nach Bewegungsmustern/Strategien
- Die Zeit (Gesamtzeit, Zeit zwischen Schrauben, effektive Verschraubungszeit)
- Der Bewegungsablauf der Hand in Korrelation mit dem Kopf/ Augen

Zur Messung wurde das IR basierte Nexonar Positionserfassungssystem eingesetzt. Mit drei Nexonar Kameras und dem Nexonar Motion Visualizer wurden die Bewegungen mit 100 Hz aufgezeichnet und mit dem Programm 3DAWin ausgewertet. Ein Winkel-Schrauber (Batterie-werkzeug) wurde mit zwei Nexonar IR Trackern ausgerüstet um in allen Positionen die Bewegungskurve des Schraubers erfassen zu können. Die Handbewegungen wurden mit einem Nexonar IR Tracker im rechten Handschuh gemessen. Im Zeigefinger des Handschuhs war ein Drucksensor, welcher den Tracker nur aktivierte, wenn der Schalter des Schraubers gedrückt wurde. Hierdurch ist eine Abgrenzung der Transportphasen von den Schraubphasen möglich. Auf dem linken Handschuh war ein weiterer Tracker, um zu ermitteln, ob sich die Position der linken Hand auf dem Schrauber während der Schraubvorgänge verändert. Zusätzlich wurde an einem Helm ein Kopf Tracker befestigt. Die neutrale horizontale Sehrichtung wurde durch virtuelle Punkte eingemessen. Aus den Daten kann man Kopfdrehung relativ zum Schraubobjekt im Koordinatensystem des Motors ermitteln.

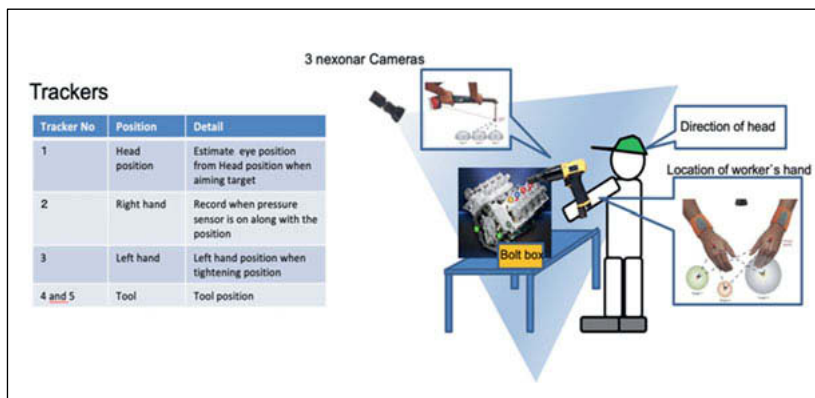


Bild 5: Versuchsaufbau mit dem Nexonar Bewegungsanalysesystem

Mit dem Programm 3DAWin kann man nun aus den registrierten Positionsdaten beliebige Variablen und Kurven im 3D Raum berechnen, grafisch anzeigen und statistische Kennwerte berechnen. Speziell angepasste Filtermethoden sorgen dafür, dass der vor allem in den Ableitungen enthaltene Fehleranteil auf ein unkritisches Niveau reduziert wird. In Abbildung 6 sieht man die Form der Bewegungen eines Anfängers und eines Fortgeschrittenen bei der Verschraubung von 10 Schrauben, inklusive dem Greifen und Ablegen des Schraubers, jeweils in einer oben und frontal Ansicht. Bei der ungelernten Person (links) zeigt die Grafik eine ungleichmäßige und ineffiziente Bewegungsspur. Eine Person mit mehr Erfahrung (rechts) zeigt erheblich mehr Gleichmäßigkeit und deutlich mehr Effizienz im Bewegungsablauf.

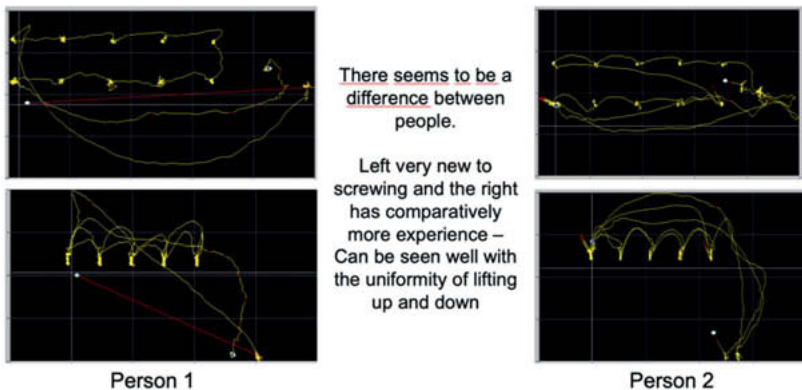


Bild 6: Untrainierte Bewegungsfolge (links) gegenüber effizienter Bewegungsfolge (rechts)

Abbildung 7 zeigt die Bewegung der rechten Hand, deren Positionen nur gemessen wurden, wenn der Schalter des Schraubers gedrückt wurde. Hiermit lassen sich, ohne zeitlichen Versatz, im Bewegungsanalyseprogramm die Daten zwischen der Bewegung zum Schrauber und aktiviertem Schrauber darstellen. Die roten Datenpunkte zeigen die Bewegungs-Spur wenn der Schrauber nicht aktiviert wurde. Die gelben Kurventeile zeigen, wie der Schrauber nach unten bewegt wird in der z/t Ansicht.

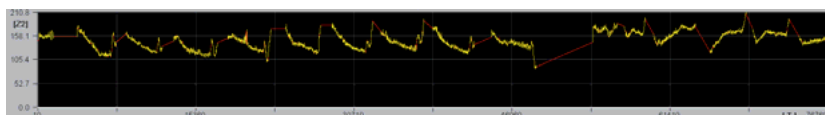


Bild 7: Rechte Hand mit Drucksensor – Ansicht z/t.

Die Kopf-/Augenbewegung, die durch den Kopf-Tracker parallel mit dem Schrauber und Handbewegungen gemessen wird, ist in Abbildung 8 dargestellt. Es ist zu sehen, dass der Kopf der Schrauber-Bewegung folgt. Hand- und Auge (Kopfveränderung) arbeiten synchron. Dies wurde bei allen Probanden in der gleichen Form bestätigt.



Bild 8: Links oben: Schrauberspitze z/t, rechts oben – Kopf x/t, links unten (linke Hand x/t; rechts unten: Schrauberspitze x/t

Nach 5 x 10 Schraubfolgen pro Person wurden die Verbesserungen in der Gesamtschraubzeit bestimmt. Alle Probanden verbesserten sich über die Durchläufe, manche Probanden verbesserten sich aber überdurchschnittlich. Die größte Verbesserung war 36,5 %, die kleinste Verbesserung nur 7,4%. Um das Potential der Probanden besser einschätzen zu können wurde ein Personal Performance Index entwickelt (siehe Bild 9). Dieser Index beschreibt den Lernfortschritt aber unter Berücksichtigung der Grundperformance. Anhand dieses Index lassen sich die Probanden in die verschiedenen Kategorien „Experts“, „Higher Potential“ und „Though to master“ einteilen.

Person	Mean of the person for a single cycle (T_Bar)	Personal Performance Index (PI) = T_Sigma - T_Delta
SESSION 1		
Christoph	48.4	0.05
Thomas	50.6	0.46
Carsten	51.4	1.10
Andre	52.4	1.06
Jan	52.6	0.59
Hans	58.8	1.12
Stefan	58.8	1.72
Nanditha	59	0.05
Christian	65.2	3.59
Daniel	68.2	3.22
Raj	69.2	0.76
Nenad	86.6	3.23
Kim	93.8	2.00
	62.69	1.46

The combination of the mean time for an individual along with Personal Performance Index, factor calculated, allows us to classify the people into different groups like – experts, evolvers and tough to master.

Experts	Higher Potential to be trained for better performance	Tough to master
---------	---	-----------------

Bild 9: Mittlere Schraubzeit und Personal Performance Index

Die kinematische Analyse erlaubt auch Aussagen über Details der Bewegungsausführung.

So wurde als wesentlicher Unterschied zwischen langsamen und schnellen Probanden die Art des Aufsetzens des Steckschlüssels auf die Schraube identifiziert. Die schnellsten Mitarbeiter aktivieren hierbei den Schrauber vorab, bevor sie auf die Schraube aufsetzen. Dieser „Zielvorgang“ fällt zeitlich stark ins Gewicht.

In Abbildung 10 ist das Ergebnis des langsamsten, gegenüber dem schnellsten Probanden dargestellt. Beim Zielen/Ansetzen des Schraubers auf den Schraubenkopf benötigt „Kim“ insgesamt die dreifache Zeit gegenüber „Christoph“. Die Bewegung beginnt bei Kim schon langsamer. Dann stoppt Kim ab und „zielt“, was den Gesamtvorgang erheblich verlangsamt. Hingegen setzt Christoph den Schrauber mit laufendem Motor auf die Schraube und reduziert dadurch seine Gesamtschraubzeit signifikant.

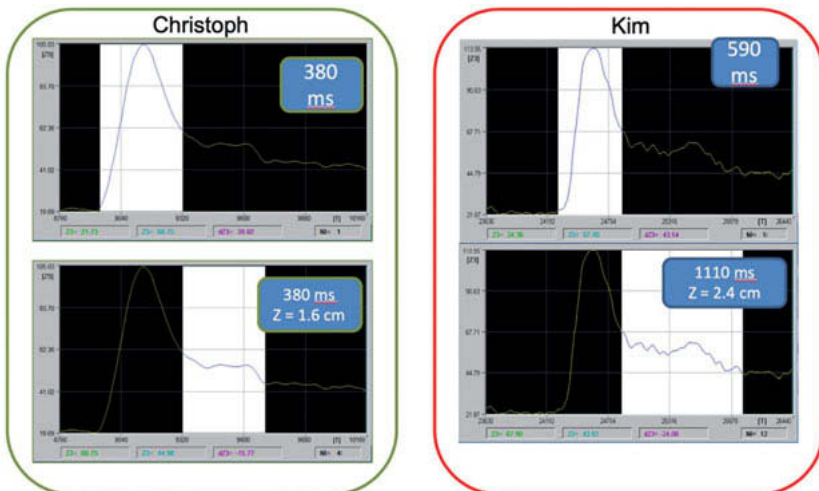


Bild 10: Vergleich der Bewegungen des schnellsten (links) mit dem langsamsten (rechts) Probanden.

7. Zusammenfassung

Es stehen moderne Messmethoden zur Verfügung, um komplexe Bewegungen im Raum mit hoher Auflösung zu registrieren. Dies gilt insbesondere auch für den Werkzeuggebrauch. Mit der kinematischen Analyse können Details einer Bewegungsausführung systematisch analysiert und beurteilt werden. Dabei wird auf fundamentale Erkenntnisse der motorischen Forschung zurückgegriffen. Dieser Ansatz geht weit über einen allgemeinen ergonomischen Ansatz hinaus. Die aus den Ergebnissen gewonnenen Informationen können verwendet werden den Arbeitsablauf und damit das Bewegungsergebnis konsequent zu optimieren.

Auslegung von Sitzverschraubungen bei Hochgeschwindigkeitszügen mittels innovativer Vorspannkraft und Reibungsanalyse

Dipl.-Ing. **Bernhard Reck**,
REC[®] solutions in fastening technology, Breidenbach

Inhalt:

- Wofür steht REC[®]
- Anwendung und Aufgabenbeschreibung
- Vorspannkraft – Reibung - Trennfugenreibung
- Validierung
- Prozessfähigkeit durch Bestimmung der Losbrech- und Weiterdrehmomente
- Anmerkungen und Zusammenfassung



R steht für Research

REC Fastening GmbH

Breidenbach – Mauererstrasse 1

Labordienstleistung

- Entwicklung- Optimierung von Verschraubungen
- Messung Drehmomente / Drehwinkel / Kräfte (M1 bis M30)
- Drehmomente ab 1 N-mm bis 2.000 N-m
- Kräfte ab 10 N bis 1.000 kN
- Alle gängigen DIN/ISO – VDA/VDI – US/JI Prüfungen
- Bauteil- Montage Festigkeitsüberprüfungen
- Montagesicherheit /- Strategie
- Temperatur- Medieneinfluss
- Lebensdauer-Test
- 24 Stunden Service



E steht für Engineering

REC Engineering GmbH

Breidenbach – Mauererstrasse 2

Prüfstände und Geräte für die Analyse und Prüfung von Verschraubungen

- Universal-Schraubenprüfstände
- Reibzahl-Analyse Systeme
- Mobile und portable Mess-Systeme
- Hochauflösende Drehmoment – Drehwinkel Mess-Schlüssel
- Mess- und Analyse Software

... individuell auf die Kundenanforderungen abgestimmt.





C steht für Consulting

Beratung:

- Berechnungen nach VDI 2230
- Kostenanalysen
- Montage- Systemoptimierung
- Assembly Line Auditierungen
- Neutrale – objektive Systemlösungen

Schulung, Workshops & Weiterbildung

- Schraubenverbindungen effizient auslegen
- Elektrische Hochvoltverschraubungen
- Kunststoff- Leichtbauverbindungen
- Reibung bei Schraubenverbindungen
- Montagestrategien
- Prozessoptimierung und -Überwachung
- u.v.m.

REC Academy
...where fastening knowledge comes together
Bad Laasphe – Feldstrasse 13



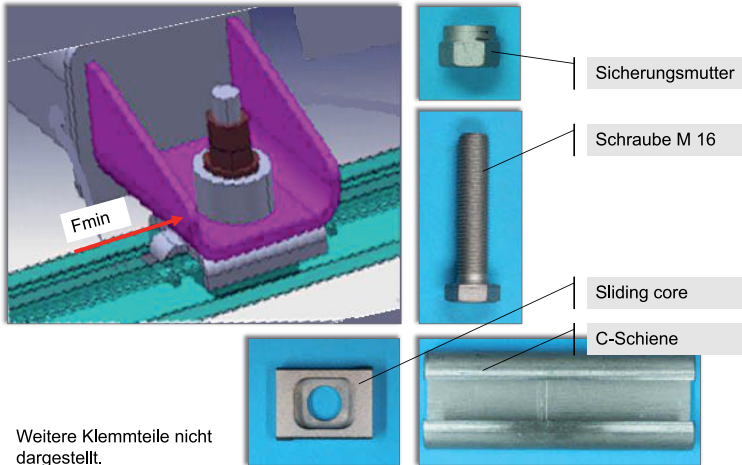
Allgemeine Problematik

Aufgabenbeschreibung:

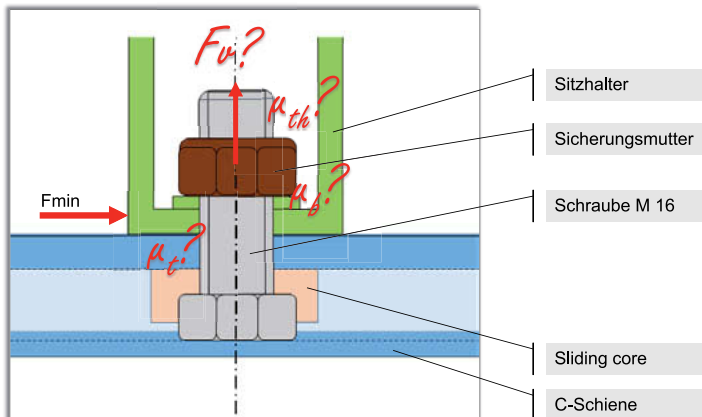
- An eine im Boden befestigte Sitzschiene aus einem Alu-C-Profil sollen an beliebigen Positionen Passagiersitze befestigt werden können
- Die Montage der Befestigungsschrauben M16 kann lt. Kunde nur mit einem definierten Drehmoment erfolgen (Handmontage)
- Die verwendete Schraube / Mutter wird geschmiert
- Die minimal erforderliche Verschiebekraft soll $> 15 \text{ kN}$ betragen



Anwendung „Sitzschiene“



Ersatzmodell



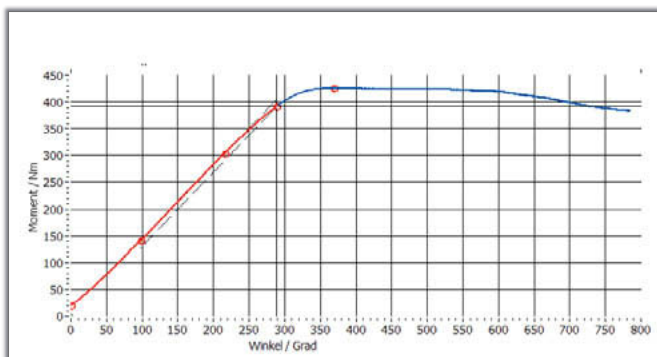


Vorgehensweise:

1. Bestimmung der Drehmoment – Drehwinkel Verläufe bis zum Plastifizieren bzw. Versagen der Verbindung.
 → Streck- bzw. Plastifizierungsgrenze, zulässige Dehnung
2. Bestimmung der Montagevorspannkraft in Abhängigkeit vom Drehmoment
 → Reibungszahlanalyse in der Anwendung (μ_{lot} , μ_{th} , μ_{b})
3. Optimierte Montagevorschrift (Drehmoment Handmontage)
 → Einstellung des erforderlichen Montagedrehmomentes
4. Bestimmung der Verschiebekraft im ZB in Abhängigkeit der Vorspannkraft
 → Trennfugen Reibung in der Anwendung (μ_{t})



1. Bestimmung Drehmoment – Drehwinkel Verlauf bis zum Pastifizieren bzw. Versagen der Verbindung



→ Streckgrenze, Mmax, Dehnung



Bestimmung der Reibung Schraube / Mutter nach der DIN EN ISO 16047

10.2 Bestimmung der Gesamtreibungszahl μ_{tot}

Auf der Grundlage der Gleichung für das Anziehdrehmoment T von Kellermann und Klein [1]

$$T = F \times \left[\frac{1}{2} \times \frac{P + 1,154 \times \pi \times \mu_{th} \times \frac{d_2}{2} + \mu_b \times \frac{D_o + d_h}{4}}{\pi - 1,154 \times \mu_{th} \times \frac{P}{d_2}} \right]$$

wird die Gesamtreibungszahl μ_{tot} aus dem Verhältnis Anziehdrehmoment/Klemmkraft über die folgende Näherungsgleichung bestimmt:

10.3 Bestimmung der Gewindereibungszahl μ_{th}

10.4 Bestimmung der Reibungszahl in der Kopf- oder Mutterauflage μ_b

g

Die Reibungszahl in der Kopf- oder Mutterauflage wird aus dem Drehmoment/Vorspannkraft-Verhältnis nach folgender Gleichung bestimmt:

$$\mu_b = \frac{T_b}{0,5 D_o \times F}$$



Prüfstand zur Bestimmung von Reibungszuständen

Wesentliche
Komponenten

Steuer- Regelbarer Antrieb

Drehmoment/ Drehwinkel
Sensor

Mehrkomponenten Messkopf
Teil-Moment + Vorspannkraft

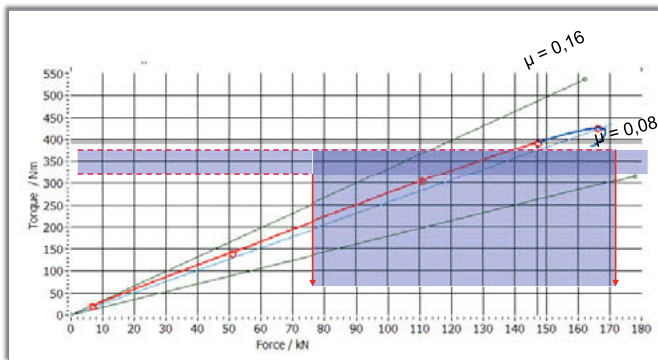
Mehrkanal A/D Mess- und
Steuerungssystem > 10kHz

Microsoft kompatible Mess-
und Auswertesoftware





3. Montagevorschrift gem. Vorauslegung: Drehmoment Handmontage



→ MA = 275 Nm +/- 10%

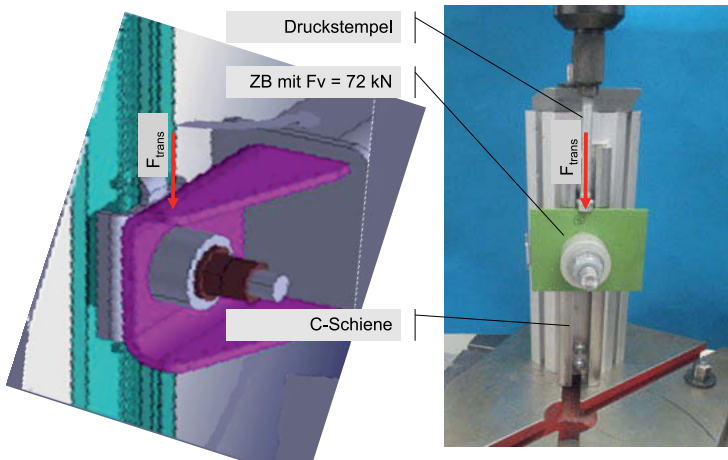
→ Reale Vorspannkraft

$F_{v_{min}} = 72 \text{ kN}$

$F_{v_{max}} = 168 \text{ kN}$

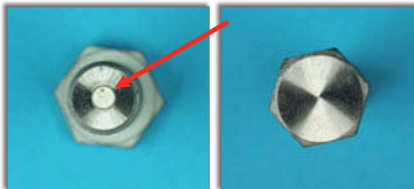


4. Bestimmung der Verschiebekraft im ZB in Abhängigkeit der Vorspannkraft

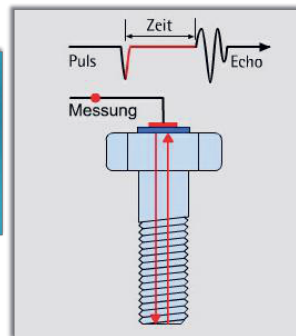




Vorspannkraft messen mit Ultraschall-Messtechnik



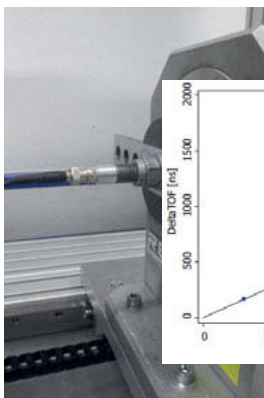
Probenvorbereitung – planschleifen
und Piezo-Sensor applizieren
– hier speziell am Gewindeanfang –



Quelle: Intellifast



Vorspannkraft messen mit Ultraschall-Messtechnik



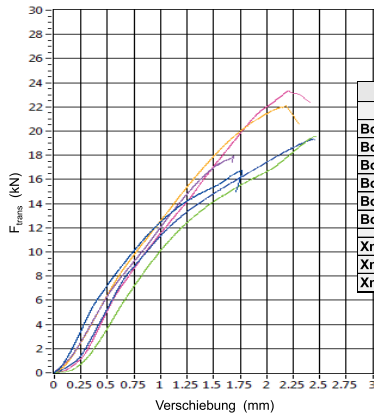
Kalibrieren der Proben mit Referenz
Mess-System



Stepweise montieren und Vorspannkraft
messen



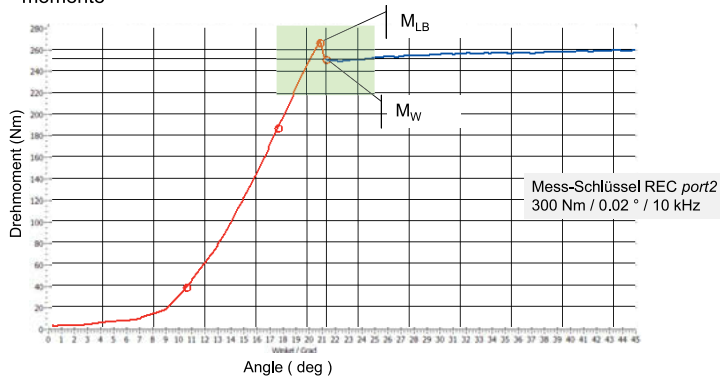
Transversale Verschiebung F_{trans} bei aufgebrachter Vorspannkraft F_v und Bestimmung der Trennfugenreibung μ_t



	F_v [kN]	F_{trans} [kN]	CoF μ_t (-)
Bolt 1	72.9	16.50	0.226
Bolt 2	72.8	19.42	0.267
Bolt 3	72.5	17.50	0.241
Bolt 4	74.0	21.88	0.296
Bolt 5	73.5	19.22	0.261
Bolt 6	72.5	23.13	0.319
Xmin	72.5	16.5	0.226
Xmax	72.5	23.1	0.319
Xmittel	73.0	19.6	0.268



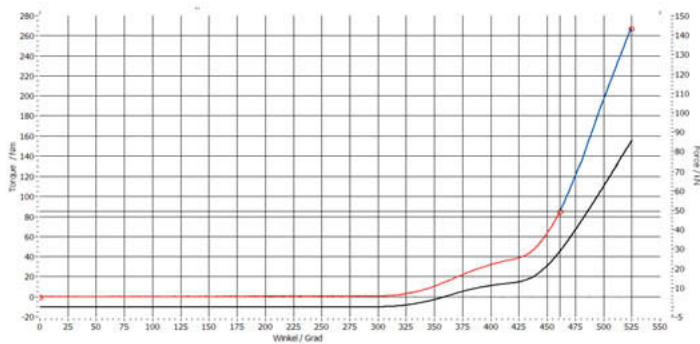
5. Prozessabsicherung durch Überwachung der Losbrech- und Weiterdrehmomente



→ Überprüfung der Setzbeträge, Relaxationseffekte, ermöglicht Rückschluss auf die Restvorspannkraft $M_W / M_A = F(te) / F(t_0)$



6. Optimierung der Montagevorschrift – Einführung der Drehwinkelstrategie



→ MS = 85 Nm + 60 Grad



Anmerkungen und Zusammenfassung

1. Das vorgeschlagene Drehmoment- Anziehverfahren ergibt eine extrem große Streuung der Vorspannkraft – die optimierte Drehwinkelstrategie reduziert die Streuung deutlich
2. Die Bestimmung der Trennfugen Reibung ist i.d.Regel aufwändig aber sehr sinnvoll.
3. Die Validierung ist nicht vollständig dargestellt es handelt sich hier nur um einen weitgehend neutralisierten Auszug !
4. Die Verwendung von Ultraschall Messverfahren ist aufwändig und erfordert erhöhten Sachverstand, aber eine sehr gute Möglichkeit Vorspannkkräfte in einer realen Verbindung messend einzustellen.
5. Denken Sie daran, daß Sie sich bei der Zugfahrt anschnallen !



Quelle: <https://www.youtube.com/watch?v=bofRMBHTok>

