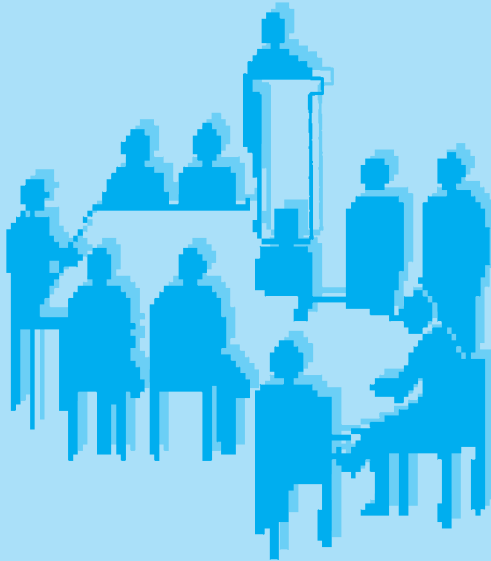


7. VDI/VDE Fachtagung

Schraubmontage 2016

Herausforderungen und
Lösungsansätze für die moderne
Schraubmontage



VDI-Berichte 2270

VDI-BERICHTE

Herausgeber: VDI Wissensforum GmbH



VDE

Mess- und
Automatisierungstechnik

7. VDI/VDE Fachtagung

Schraubmontage 2016

Herausforderungen und
Lösungsansätze für die moderne
Schraubmontage

München, 07. und 08. Juni 2016



VDI-Berichte 2270

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliographische Daten sind im Internet unter <http://dnb.ddb.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 <http://dnb.ddb.de>.

© VDI Verlag GmbH · Düsseldorf 2016

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 978-3-18-092270-6

Inhalt

| | Seite |
|--|--|
| Vorwort | 1 |
| Plenarvortrag | |
| <i>C. Bye</i> | Grundlagen zum Herstellen funktionaler Schrauben- verbindungen – Einführungsvortrag 3 |
| Rechtliche Aspekte | |
| <i>T. Wilrich</i> | Die rechtliche Bedeutung technischer Normen 13 |
| <i>H. Junkers</i> | VDI/VDE 2862 Blatt 2: Theorie und Praxisumsetzung – Höhere Qualitätsanforderungen in der Schraubtechnik 21 |
| Auslegung der Verschraubung | |
| <i>P. Egger</i> | Vorspannkraftverhalten gewindefurchender Schrauben – Können metrische Schrauben in hochbelasteten Schraub- verbindungen durch gewindefurchende Schrauben ersetzt werden? 31 |
| <i>B. Reck</i> | Reibwertanalyse – zur Qualitätssicherung und zur Prozess- absicherung 37 |
| Industrie 4.0 | |
| <i>M. Doelfs</i> | Industrie 4.0 – Smart Data Applikationen und Technologien in der Fabrikautomation 41 |
| <i>H. Lukosz</i> | Einsatz von Industrie 4.0 im Schraubtechnikumfeld 45 |

Auslegung der Verschraubung

| | | |
|--|--|----|
| <i>A. Müller, B. Reck</i> | Anforderung und Auslegung von Elektrokontaktverschraubungen | 55 |
| <i>S. Schlegel</i> | Vom Molekül zum fertigen Bauteil – Kunststoffe erfolgreich verbinden am Beispiel der Direktverschraubung | 61 |
| <i>C. Dümpelmann, D. Guggolz, C. Friedrich</i> | Montagesensitivität und Übertragungsverhalten von Mehrschraubenverbindungen mit VDI-Richtlinie 2230 Blatt 1 und Blatt 2 rechnerisch vorhersagen und experimentell verifizieren | 69 |

Werkzeugauswahl

| | | |
|--------------------------------|--|-----|
| <i>P. Thomsen,</i> | Kontrolle der Vorspannkraft montierter Schraubverbindungen | 85 |
| <i>U. Oehms, L. Winter</i> | Ermittlung der Anzugparameter und des Anziehfaktors α_A für die Drehwinkelmontage im elastischen Bereich von großen Schrauben bei kleinen Losgrößen | 93 |
| <i>N. Rabbe</i> | Aktivitäten des GMA Fachbereichs 3.63 – Aktivitäten der Arbeitsgruppen und kommende Richtlinien | 103 |

Vorwort

Schraubverbindungen sind in allen Bereichen der Industrie ein wesentliches Element für die Montage unterschiedlichster, teils hochkomplexer Komponenten. Höchste Tauglichkeit in Bezug auf die gewünschte Haltbarkeit und der notwendigen funktionalen Sicherheit stehen hier im Blickpunkt und erfordern daher die besondere Beachtung.

Bereits heute und mit vorgezeichneter Gewissheit auch in Zukunft, werden die hohen Ansprüche an die Schraubtechnik hinsichtlich der Prozessfähigkeit und der rechtlichen Absicherung noch steigen.

Dem Entwickler wird bereits in der Planungsphase die Verantwortung für die richtige Auswahl der für seine Anforderungen geeigneten Verbindungstechnik übertragen. Diese Auswahl hat unmittelbare Auswirkungen auf die zu verwendende Technik, die Prozessabsicherung, die Qualitätsüberwachung sowie auf die finale Produkthaftung und dies alles unter dem Druck der Wirtschaftlichkeit.

Das VDI/VDE-GMA-Fachgremium erarbeitet neue und aktualisiert bereits bestehende VDI Richtlinien und trägt damit wesentlich dazu bei, dass die Industrie bei Produktionsprozessen und bei der Montage auf die notwendigen Erkenntnisse zugreifen kann. So wurde z.B. die Richtlinie VDI/VDE 2862 zum Einsatz von Schraubwerkzeugen überarbeitet und neben der Anwendung für die Automobilindustrie für weitere industrielle Anwendungen erweitert.

Ferner wurden die Verfahren und Anforderungen an eine prozesssichere Fähigkeitsuntersuchung eingeführt, z.B. die Richtlinie VDI/VDE 2645. Dies sind die Antworten auf die deutlich zunehmenden Herausforderungen in Qualitätsaudits im Rahmen der DIN EN ISO 900X (Qualitätsmanagementsysteme).

Die 7. Fachtagung „Schraubmontage 2016 – Herausforderungen und Lösungsansätze für die moderne Schraubmontage“ berichtet in ausgewählten Fachvorträgen von Experten über den derzeitigen Stand sowie über Anwendungen und Perspektiven für die weiteren Entwicklungen. Unter dem Oberbegriff Industrie 4.0 werden Einblicke zu den immensen Möglichkeiten in diesen deutlich erkennbaren Trend gegeben.

Der Tagungsleiter

Dipl.-Ing. Niels Rabbe, Atlas Copco Tools Central Europe GmbH, Essen

Programmausschuss

Dipl.-Ing. J. Berthold,

Verein Deutscher Ingenieure e.V., VDI/VDE-GMA, Düsseldorf

Dipl.-Ing. Engelbert Bließen,

SCHATZ AG, Remscheid

Prof. Dr.-Ing. Carsten Bye,

Private Fachhochschule für Wirtschaft und Technik, Diepholz

Dipl.-Ing. Frank Hohmann,

ITH Schraubtechnik GmbH & Co.KG, Meschede

Dipl.-Ing. (FH) Michael Loosen,

Desoutter GmbH, Maintal

Dipl.-Ing. (FH) Harald Lukosz,

Bosch Rexroth AG, Murrhardt

Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Oehms,

Technischer Vertrieb, HYTORC-Seis GmbH, Dörth

Dipl.-Ing. Niels Rabbe,

Atlas Copco Tools Central Europe GmbH, Essen (Tagungsleiter)

Dipl.-Ing. Bernhard Reck,

REC® solutions in fastening technology, Breidenbach

Dipl.-Ing. Martin Wilke,

Volkswagen AG, Wolfsburg

Sponsoren

Für die freundliche Unterstützung der Fachtagung bedanken wir uns.



www.atlascopco.de



www.desoutter.de

Grundlagen zum Herstellen funktionaler Schraubenverbindungen – Einführungsvortrag

Prof. Dr.-Ing. **Carsten Bye**,
Private Hochschule für Wirtschaft und Technik (PHWT),
Zentrum für Werkstoffe und Technik (ZWT), Studienstandort 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 Fügetechnik? 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 Kaltmassivumformung 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.

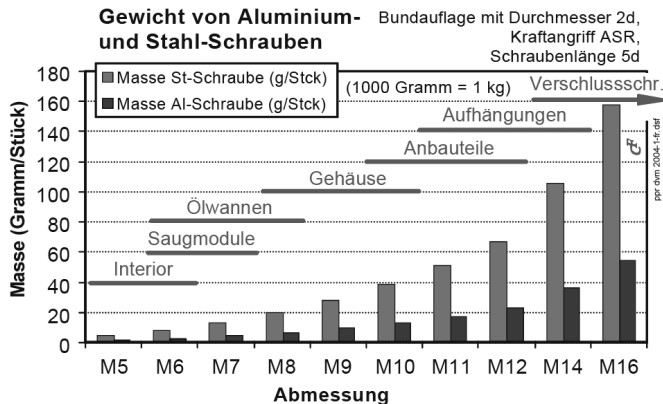


Bild 1: Gewichtsreduzierung durch die Verwendung von Aluminiumschrauben [1]

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“.

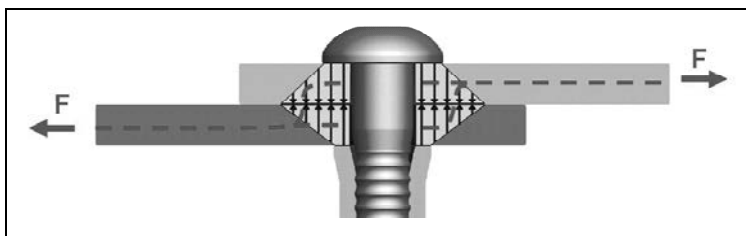


Bild 2: Kraftschlüssige Verbindung nach VDI 2230 – Querkraftbeanspruchung

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.

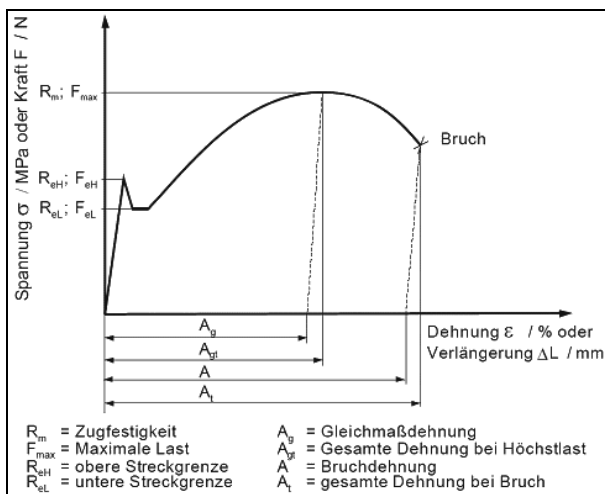


Bild 3: Die Ergebnisse des Zugversuches eines metallischen Werkstoffes (Bsp. Baustahl)

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 zusammendrückt. 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.

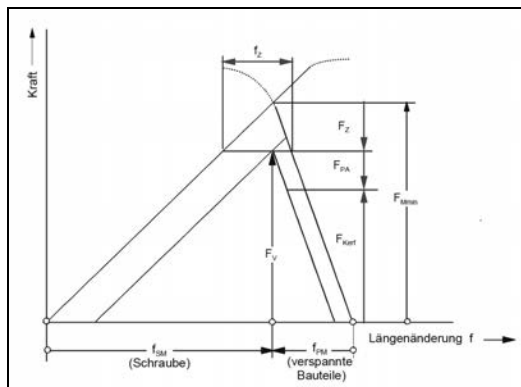


Bild 4: Verspannungsdiagramm einer Schraubenverbindung

Wichtig beim Lesen und Arbeiten mit dem Verspannungsdiagramm ist der Hinweis, dass im Verspannungsdiagramm keine Spannungen und Dehnungen - wie beim Zugversuch - aufge-

tragen 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.

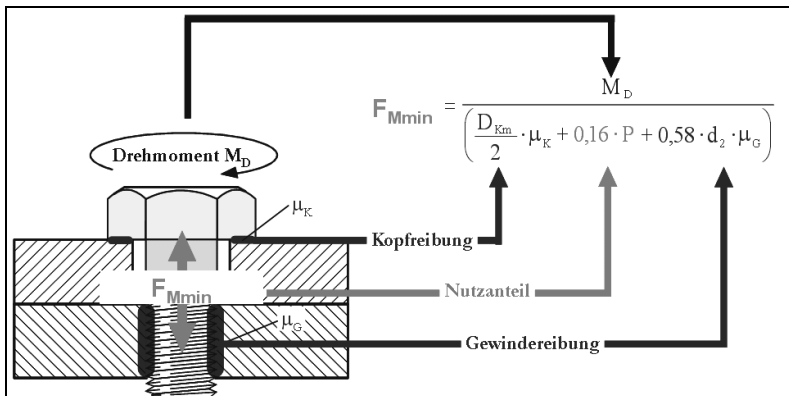


Bild 5: Zusammenhang zwischen Drehmoment und Vorspannkraft beim Verschrauben

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 |
|--|---|----------------------|----------------------------------|----------------------|----------------------|
| Schraubverfahren | Streckgrenz-gesteuert | Drehwinkel-gesteuert | Drehmoment-gesteuert W-überwacht | 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.

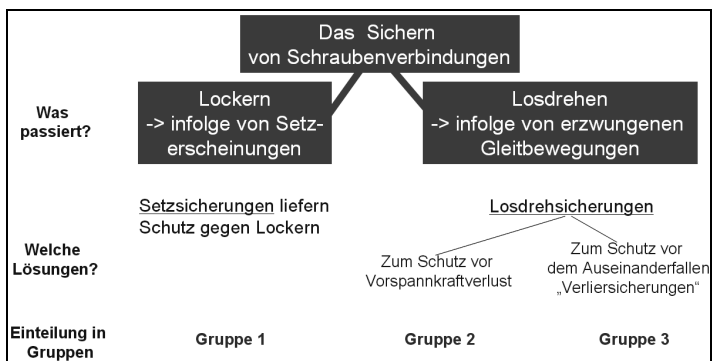


Bild 7: Das Sichern von Schraubenverbindungen infolge von Setzerscheinungen/erzwungenen Gleitbewegungen

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 Blatt 1, Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen, Berlin, 2015
- [3] **Wiegang, 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

Die rechtliche Bedeutung technischer Normen

Rechtsanwalt Prof. Dr. **Thomas Wilrich**,
Fakultät Wirtschaftsingenieurwesen, Hochschule München

Einleitung und Gliederung

- „Irgendwo habe ich gelesen, dass es 20.000 DIN-Normen gibt, wenn du ein Einfamilienhaus baust. Das ist die vollständige Verrechtlichung unserer Gesellschaft“ *Albert Speer*, Interview in FAZ 2013
- einerseits: Normen sind „Mindeststandard an Sicherheit“ OLG Hamm 2010
- „hohe Bedeutung der Normung, so auch der DIN-Normen, in Bezug auf Rationalisierung, Qualitätssicherung, Verständigung der am Wirtschaftsleben beteiligten Kreise, aber auch für die Sicherheit der Produkte der industriellen Massenfabrikation“ BGH, Urteil vom 10.3.1987
- andererseits: Normen haben „nur Charakter eines Kommentars“ OLG Hamm 1989

Überblick: Die Wirkungen von technischen Regeln im Recht

Variante 1: Haftung bei Zurückbleiben hinter Normen

Variante 2: Haftung bei Erfüllung von Normen

Variante 3: Haftung bei Erfüllung einer früheren Norm

Variante 4: Haftung bei Schweigen einer Norm

Zusammenfassung

Wo und Wie wirken technische Normen im Recht?

1. Bedeutung im öffentlich-rechtlichen Arbeitsschutz- und Produktsicherheitsrecht und im zivilrechtlichen Haftungsrecht als **Sicherheitsmaßstab**

→ Heranziehung zur Bestimmung des *zu erreichenden Sicherheitsniveaus*

§ 5 Abs. 1 ProdSG: „Bei der Beurteilung, ob ein Produkt den (gesetzlichen) Anforderungen .. entspricht, können Normen und andere technische Spezifikationen zugrunde gelegt werden“.

2. Bedeutung im zivilrechtlichen Haftungsrecht und Strafrecht als **Verschuldensmaßstab**

→ Heranziehung zur Bestimmung des Maßes der *erforderlichen Sorgfalt*:

§ 276 BGB: „Der Schuldner hat Vorsatz und Fahrlässigkeit zu vertreten.

... Fahrlässig handelt, wer die im Verkehr erforderliche Sorgfalt außer Acht läßt“

3. Bedeutung im Schuldrecht als **Vertragsbestandteil**

→ Heranziehung zur Bestimmung der *geschuldeten Leistung*

Die Grundregeln für die Wirkung technischer Normen Variante 1: Zurückbleiben hinter Normen

Grundregel: Bei Unterschreitung des in Norm geforderten Sicherheitsniveaus wird ein Sorgfaltsverstoß / Verstoß gegen Verkehrssicherungspflicht vermutet

- „umgekehrte“ / „negative“ Vermutungswirkung – nur die „positive“ Vermutungswirkung bei Normeinhaltung ist gesetzlich geregelt siehe Variante 2
- Normverstoß = „starke Indizwirkung“ für Sorgfaltsverstoß Prof. Dr. Peter Reiff, Uni Trier
- „Normen sind Mindeststandard“ OLG Hamm Dezember 2010

Aber:

Ausnahme: Abweichung muss möglich sein, ist aber „begründungsbedürftig“

- „Der mit der DIN-Norm u.a. verfolgte Zweck eines möglichst umfassenden Sicherheitszustandes muß bei der Frage einer Haftungs begründung durch eine **sachgerecht vorzunehmende Risikoverteilung** relativiert werden“ OLG Hamm Mai 1995

Variante 1: Zurückbleiben hinter Normen

BGH, Urteil aus März 1988 – „Spielplatzunfall an der Rutsche“

**Vermutung:
Haftung**Sachverhalt

1964: Errichtung der Rutsche – ohne seitliche Absturzsicherung für kleinere Kinder an den seitlichen Holmen und mit Asphaltbeton als Bodenbelag im Bereich der Standfläche

1976: neue DIN 7926, die die Rutsche nicht erfüllt

1985: Unfall eines 1 ½ Jahre alten Jungen

Urteil: Verurteilung der Betreiberin zu DM 8.000,- Schmerzensgeld, denn

- DIN-Normen „spiegeln den Stand der für die betroffenen Kreise geltenden anerkannten Regeln der Technik wieder und sind somit zur Bestimmung des nach der Verkehrsauffassung zur Sicherheit Gebotenen in besonderer Weise geeignet“
- Bestandschutz wird nicht einmal erwähnt – nur:
- „Ob bei Einführung neuer DIN-Normen für eine Übergangszeit die bestehenden Einrichtungen ohne Veränderung weiterbetrieben werden dürfen, kann hier dahingestellt bleiben. Eine solche Anpassungszeit – ließe man sie zu – wäre jedenfalls längst verstrichen gewesen, als es mehr als acht Jahre nach Erlass der einschlägigen DIN-Norm zu dem Unfall kam“

Variante 1: Zurückbleiben hinter Normen

OLG Hamm, Urteil aus Mai 1995 – „Sturz auf Pflastersteinen“

**Ausnahme:
keine Haftung**Sachverhalt:

- Klägerin fällt auf Straße mit Natursteinpflaster, weil sie „mit der Fußspitze an einem um etwa 3,5 cm überstehenden Pflasterstein hängengeblieben“ ist
- Nr. 3.2.3 der DIN-Norm 18318 ("Toleranzen"): Pflasterdecken sind an den Fugen höhengleich herzustellen und die dortigen Abweichungen bei Baustoffen mit "grobrauher" Oberfläche dürfen 5 mm nicht überschreiten

Urteil: Keine Haftung trotz Normverstoß

- „**sachgerechte Risikoverteilung** relativiert werden“
- „**Eigenverantwortlichkeit** der Straßenbenutzer für ihre Sicherheit Rechnung“
- „Grenze der hinnehmbaren Erschwernisse wird durch die „**begründeten Sicherheitserwartungen**“ des Verkehrs bestimmt“
- „daß die bei „**normaler**“ **Vorsicht beherrschbaren Risikolagen** grundsätzlich auch dann keine zivilrechtliche Haftung begründen, wenn sie unter nicht vollständiger Beachtung technischer Richtlinien oder eines sonstigen technischen Regelwerks zustande gekommen sind“
- „jedenfalls dann, wenn technischen Regeln nicht in erheblichem Maße mißachtet“
- Klägerin hätte „Sturz bei der nach den örtlichen Bedingungen zu erwartenden vorsichtigeren Gehweise vermeiden können“

Die Grundregeln für die Wirkung technischer Normen

Variante 2: Einhaltung von Normen

Grundregel: Bei Einhaltung technischer Normen „wird vermutet, dass Produkt den Anforderungen nach § 3 Abs. 1 genügt“

§ 4 Abs. 2 ProdSG für harmonisierte und § 5 Abs. 2 für andere Normen – also:

- Bei Einhaltung von Normen bestehen „*gute Anhaltspunkte*“ für sorgfältiges (verkehrssicheres) Verhalten („*in der Regel*“) – **ABER:**
- Normen sind „Verhaltensrichtlinien für den Normalfall“ Schmidt-Salzer, Strafrechtliche Produkthaftung
- es ist immer zu prüfen, ob wegen „Besonderheit“ mehr erforderlich ist – also:

Ausnahme:

- Norm ist nicht ausreichend und deshalb ist mehr erforderlich
- Norm ist zwar ausreichend, aber in konkreter Situation ist mehr erforderlich

es „wird die auf der allgemeinen Verkehrssicherungspflicht beruhende zivilrechtliche Verantwortlichkeit des Herstellers eines Erzeugnisses durch **sicherheitstechnische Regeln** nicht auf deren Einhaltung beschränkt. Solche Vorschriften konkretisieren lediglich Sorgfaltspflichten des Herstellers, sie stellen jedoch **keine abschließende Festlegung seiner Verantwortlichkeit** dar“ BGH, Urteil aus Mai 1988 – Papierreißwolf

„Wer Normen einhält, strebt ein fehlerfreies Produkt an“ BT-Drs. 11/2447, S. 19 zum ProdHaftG

Beispiel Variante 2: Einhaltung von Normen

OLG Celle, Urteil aus Mai 2003 – „Hamsterlaufrad“

Normalfall: keine Haftung

Sachverhalt:

- Innenlauftrommel ohne Bremse und technische Begrenzung der Höchstgeschwindigkeit
- DIN 7926 „Kinderspielparkgeräte“ (seit 1998 DIN/EN 1176) ist eingehalten
- 12-jähriges Mädchen verletzt sich und verklagt Betreiber auf € 12.500,- Schmerzensgeld

Urteil § 823 BGB: Hat Freizeitparkbetreiber alles Mögliche + Zumutbare getan?

• **Ausgangspunkt = Vermutungswirkung:** „Überbetriebliche technische Normen, wie unter anderem DIN-Normen, haben die Vermutung für sich, dass diese Regelwerke die anerkannten Regeln der Technik wiedergeben. Die Wahrung der Sicherheitsstandards derartiger Regelwerke indiziert die Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik“

• **Folge = Angriff nur mit guten Argumenten:** „Angesichts dieser rechtlichen Beurteilungsgrundlage ist die Behauptung der Klägerin, die Trommel habe sich konstruktiv bedingt zu schnell gedreht als globale Behauptung unsubstanziell“

• **Vorsicht = strengere Anforderungen als Normerfüllung** möglich „wenn sich – insbesondere aus vorangegangenen Schadensfällen, die sie in ihrem Unternehmen beobachtet hat – ein Verdacht eines konstruktiv bedingten Fehlers oder ein Anhalt für unvorhergesehene Risiken ergeben hätte“

Beispiel Variante 2: Einhaltung von Normen

BGH, Urteil aus Juni 2008 – „Trampolinanlage“

Ausnahme: Haftung

Sachverhalt: Der Kläger ist nach einem missglückten Salto sprung auf einer Trampolinanlage querschnittsgelähmt und nimmt den Betreiber auf Schadensersatz in Anspruch.

Lösung § 823 Abs. 1 BGB → *Tue alles Zumutbare, um andere nicht zu schädigen!*

Fahrlässigkeit oder Beachtung der im Verkehr erforderlichen Sorgfalt?

– Alle Normen eingehalten, ...

aber bei ihnen handelt es sich „nicht um mit Drittwirkung versehene Normen im Sinne hoheitlicher Rechtssetzung, sondern um auf freiwillige Anwendung ausgerichtete Empfehlungen des ‚DIN Deutschen Instituts für Normung e.V.‘, die regelmäßig **keine abschließenden Verhaltensanforderungen** gegenüber Schutzgütern Dritter aufstellen. Welche Maßnahmen zur Wahrung der Verkehrssicherungspflicht erforderlich sind, hängt vielmehr stets von den **tatsächlichen Umständen des Einzelfalls** ab“ → „es kommt darauf an!“

→ im Streitfall fehlten dem Gericht deutliche Warnhinweise auf die Gefährlichkeit gerade von Salto sprüngen

→ insbesondere bei Instruktionen sind Normen nach der Rspr. lückenhaft!

Produktfehler trotz Einhaltung technischer Regeln

Beispiel OLG Hamm, Urteil aus Dezember 2010 – Grill-Brennpaste

Sachverhalt:

- 1 ½-jähriges Kind verletzt sich an Grill-Brennpaste, die der Vater verwendete
- Fehler am Sicherheitsventil
- muss nach DIN 66358 fest mit Tube verbunden sein
- DIN berücksichtigt aber nur Zugkräfte, nicht Hebelkräfte
- „Dosierventil löse sich bereits dann, wenn die Verschlusskappe nur leicht schräg abgezogen werde. Mit einer solchen Handhabung müsse gerechnet werden“

Urteil: „**Technische Normen** – insbesondere DIN-Normen – bilden zwar einen **Mindeststandard an Sicherheit**. Ihre Einhaltung genügt aber nicht, wenn die technische Entwicklung oder die wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Normen hinausgegangen sind oder wenn sich bei der Benutzung des Produkts Gefahren gezeigt haben (Produktbeobachtungspflicht), die in den Normen noch nicht berücksichtigt sind“.

Fazit: Normen können sein

- unvollständig = lückenhaft
- unzutreffend = von Anfang an falsch
- veraltet = durch Zeitablauf falsch geworden

Beispiel Variante 3: Einhaltung einer früheren Norm

Grundregel: alle Regelwerke sind ab dem ersten Gültigkeitstag einzuhalten
– außer sie regeln eine Übergangsfrist

Gibt es auch ohne ausdrückliche Nennung eine Anpassungsfrist?

Sachverhalt: BGH Urteil aus März 2010

- 1996: Glastür in Bank = „Richtlinien für kraftbetätigte Fenster, Türen und Tore“ ZH 1/494 HVBG
- 2005 Dezember: neue DIN 18650 Automatische Türsysteme = Sicherheitseinrichtungen zum Schutz gegen das Einklemmen bzw. Quetschen an den Hauptschließkanten der Türflügel
- 2006 Oktober: Klägerin verletzt sich an der nicht der neuen DIN entsprechenden Tür

Urteil: → *Tue alles Zumutbare um andere nicht zu schädigen* (§ 823 BGB):

„Welche Sicherheit und welcher Gefahrenschutz im Rahmen der Verkehrssicherungspflicht zu gewährleisten sind, richtet sich nicht ausschließlich nach den modernsten Erkenntnissen und nach dem neuesten Stand der Technik. Es kommt vielmehr maßgeblich auch auf die Art der Gefahrenquelle an. Je größer die Gefahr und je schwerwiegender die im Falle ihrer Verwirklichung drohenden Folgen sind, um so eher wird eine Anpassung an neueste Sicherheitsstandards geboten sein“.

Nachrüstpflichten bei Normverschärfung?

BGH, Urteil aus März 2010

- „Soweit es sich um Gefahren handelt, die nicht so schwerwiegend und für den Verkehr im Allgemeinen erkennbar und mit zumutbarer Sorgfalt und Vorsicht beherrschbar sind, kann dem Verkehrssicherungspflichtigen im Einzelfall jedenfalls eine angemessene Übergangsfrist zuzubilligen sein“
- „jedenfalls innerhalb des unter einem Jahr liegenden Zeitraums bis zum Unfall“
- Fazit: Möglichkeit eines zeitlich begrenzten „Bestandsschutzes“ durch Anpassungsfrist bei *technischen Regeln / Normen* (nicht bei Gesetzen)
- Vorsicht vor Verallgemeinerungen:

„Frage einer Nachrüstpflicht für bestehende technische Anlagen im Falle einer Verschärfung von Sicherheitsbestimmungen *lässt sich nicht generell beantworten*, sondern richtet sich ebenfalls, ob sich vorausschauend für ein sachkundiges Urteil die nahe liegende Gefahr ergibt, dass durch die bestehende technische Anlage – ohne Nachrüstung – Rechtsgüter anderer verletzt werden können“

Fazit: „Wer betreibt, muß sich auch vergewissern, daß sie den *jeweiligen*, nicht nur den *früheren* DIN-Vorschriften entsprechen, weil diese Normen auch den *jeweiligen* Stand des technischen Wissens darüber wiedergeben, was zur Gefahrenabwehr erforderlich ist“ OLG Düsseldorf April 1984 – Ladengeschäft mit Schaufenstern und DIN 18056

Variante 4: Schweigen einer Norm

Grundregel: wenn es keine Norm gibt,
muss trotzdem ausreichende Sicherheit erreicht werden
wenn in einer Norm eine (Sicherheits-)Anforderung nicht enthalten ist,
heißt das nicht, das sie rechtlich nicht geboten ist

Normen haben keine Vollständigkeitsvermutung, d.h.
soweit in Normen etwas nicht steht, wird nicht vermutet, dass es nicht nötig ist

- Ausgangspunkt ist § 823 BGB – Verkehrssicherungspflicht:

„Wer vorsätzlich oder fahrlässig das Leben, den Körper, die Gesundheit, die Freiheit, das Eigentum oder ein sonstiges Recht eines anderen widerrechtlich verletzt, ist dem anderen zum Ersatz des daraus entstehenden Schadens verpflichtet“

- „Außerachtlassung der im Verkehr erforderlichen Sorgfalt“ § 276 BGB
- „Tue alles in konkreter Situation Mögliche + Zumutbare zur Schadensvermeidung“
- letztlich sind die Urteile „Trampolin“ und „Grill-Brennpaste“ eher Beispiele für Variante 4: einmal *fehlten* Warnhinweise und einmal *fehlten* Hebelkräfte
- Beispiel: VDE 5,69 sieht an Hochspannungsmasten weder Kletterabwehr-einrichtungen noch Warnzeichen vor – trotzdem können sie erforderlich sein

Verkehrspflichtverletzung trotz Einhaltung von Normen? – „Hochspannungsmast-Fälle“

OLG Zweibrücken September 1976: Ein 9 Jahre alter „durchschnittlich begabter“ Junge klettert auf einen Hochspannungsmast und verletzt sich schwer – Haftung:

- Normen enthalten „Anordnung für Maßnahmen, die im Interesse der Allgemeinheit erforderlich sind + **in der Regel** auch für genügend gehalten werden. Damit ist aber schon festgestellt, daß **besondere Sachlagen** im Einzelfall zu berücksichtigen sind + die Verantwortlichen derartigen Lagen in zumutbarer Weise Rechnung tragen müssen“
- Haftung, denn: Nähe von Tierpark und der Hundedressurplatz = „Örtlichkeiten, die im allgemeinen das Interesse von Kindern erwecken. Auch daß das Gelände von Kindern zum Spielen benutzt wurde, durfte der Beklagten nicht entgehen“

OLG Karlsruhe März 1978: 5 ½-jähriger verletzt sich – keine Haftung:

- „Hochspannungsmast stellt keine naheliegende Gefahrenquelle dar“
- „Hochspannungsmast ist für Kinder kaum ein Anreiz zum Erklettern“
- größeren Kindern sind „Gefahr bekannt“ und „sie meiden deshalb solche Masten“
- kleineren Kindern „mag diese Gefahr trotz Belehrung nicht so bewußt sein. Solche Kinder sind aber nur ausnahmsweise fähig, einen etwas über 9 m hohen Hochspannungsmast zu erklimmen“

Fazit: Entscheidend sind nicht technische Regeln, sondern konkrete Verhältnisse !

Beispiel Variante: Zurückbleiben hinter Stand der Technik

LG und OLG Frankfurt, Mai und Dezember 2012

Sachverhalt: Klägerin stürzt 2010 aus einem 1989 errichteten Fahrstuhl, der ca. 40 cm oberhalb des Bodenniveaus des Erdgeschosses hält und begehrt Schmerzensgeld.

LG Frankfurt – Klageabweisung wegen haftungsbefreiender Delegation der Verkehrssicherungspflicht auf Wartungsfirma und:

„Verkehrssicherungspflichtige muss lediglich diejenigen Vorkehrungen treffen, die erforderlich und für ihn wirtschaftlich zumutbar sind“.

„Betreiber einer Aufzugsanlage ist *nicht von vornherein gehalten*, die Fahrstuhltechnik auszutauschen und *dem neuesten technischen Stand anzupassen*,

solange der Fahrstuhl noch den technischen Anforderungen der Aufzugsverordnung (mittlerweile BetrSichV) entspricht. Dabei ist insbesondere auf den Zeitpunkt des Einbaus der Anlage abzustellen“.

„Wollte man verlangen, dass stets der neuste Sicherheitsstandard geboten werden muss, müsste der Betreiber seine Anlagen ständig erneuern, ohne seine kostspieligen Investitionen amortisieren zu können“.

„Bei einer älteren Fahrstuhlanlage muss deshalb auch nur diejenige Verkehrssicherheit geboten werden, die bei Ausnutzung der vorhandenen technischen Einrichtungen in einwandfrei funktionierenden Zustand geboten werden kann“

Urteil „gegen“ Nachrüstungspflicht

LG und OLG Frankfurt, Mai und Dezember 2012

OLG Frankfurt – Bestätigung der Klageabweisung:

- Aufzug „kommt nicht generell zu Halteungenauigkeiten“
- „Solche technischen Störungen sind unvermeidbar und stellen für sich genommen keine Verkehrssicherungspflichtverletzung des Verantwortlichen dar, wenn er die Störung in angemessener Zeit beseitigen lässt“
- Betreiber „war im Rahmen ihrer Verkehrssicherungspflicht auch nicht gehalten, den Aufzug mit modernen Warnvorrichtungen auszustatten und dem neueren technischen Standard anzupassen, solange der Fahrstuhl noch den technischen Anforderungen des Errichtungszeitraums entsprach und – nach neueren Vorschriften – nicht nachgerüstet oder stillgelegt werden musste“
- „Verkehrssicherheit fordert nur, dass die nach den technischen Möglichkeiten erreichbare Sicherheit geboten wird, wobei auf den Zeitpunkt des Einbaus der Anlage abzustellen ist“

VDI/VDE 2862 Blatt 2: Theorie und Praxisumsetzung

Höhere Qualitätsanforderungen in der Schraubtechnik

Dipl.-Ing. (FH) **Holger Junkers**,
JUKO Technik GmbH – smarttorc, Geretsried-Gelting

Neue Richtlinienanforderungen erhöhen die Qualität bei Schraubverbindungen

Die Anforderungen an Anwender sowie an Verschraubungssysteme und Schraubwerkzeuge sind mit der im Februar 2015 veröffentlichten VDI/VDE 2862 Blatt 2 deutlich angestiegen. Die Richtlinie betrifft Anwendungen im Anlagen-, Maschinen und Apparatebau sowie Flanschverbindungen an drucktragenden Bauteile.

Die Richtlinie ist eine Grundlage für die Klassifizierung von Schraubverbindungen sowie ein Leitfaden für die Auswahl entsprechend geeigneter Schraubsysteme.

Die übergeordnete Zielsetzung ist es, die Qualität bei der erstellten Schraubverbindung zu gewährleisten, damit die Verbindung sicher und zuverlässig ihre Aufgabe erfüllt. Die steigenden Anforderungen an Schraubverbindungen sind getrieben durch Materialkosten, Transportkosten wie auch Umweltthemen (CO₂-Emission) und dem hiermit erforderlichen Leichtbau von Komponenten, Geräten und Maschinen. Auch möchten die Hersteller ihre Haftungsrisiken gering halten und sind damit aufgefordert, den Stand der Technik zu erfüllen.



Bild 1: Kategorie-A Verschraubung eines Castor Primärdeckels

1. Aufgaben für den Anwender

Die Einflussgrößen beim Verschrauben mit der gewünschten Zielgröße „Vorspannkraft“ sind zahlreich und dürfen deshalb auch bei einem hohen Maß an Qualitätskontrolle nicht unterschätzt werden. Um sicherzustellen, dass der Schraubprozess kontrolliert und prozessfähig abläuft, ist deshalb eine hohe Sorgfaltspflicht der Anwender gefordert. Die VDI/VDE 2862 Blatt 2 erläutert die wesentlichen Anwenderaufgaben.

Diese sind:

- Klassifizierung der Schraubfälle (A, B, C)
- Einsatz von fähigen:
 - Schraubwerkzeugen (z.B. VDI/VDE 2645 Blatt 2 MFU)
 - Messmitteln
 - Prüfmitteln
- Prozessfähigkeitsuntersuchung bei Serienfertigung (z.B. VDI/VDE 2645 Blatt 3 PFU)
- Dokumentation
- Kenntnis des erforderlichen Stands der Technik

Der Anwender ist somit aufgefordert, seine Schraubverbindung und seine eingesetzten Schraubsysteme zu kennen und fachgerecht einzusetzen. Die korrekte Beurteilung des Schraubsystems bezüglich Eignung für den Schraubfall ist zusammen mit einer Prozessfähigkeitsuntersuchung bei Serienverschraubungen die Voraussetzung für eine konforme Umsetzung der Richtlinie.

Komplexität eines Schraubfalls im Ishikawa-Diagramm:

Der Anwender ist aufgefordert, den Gesamtprozesses prozessfähig zu gestalten und dies statistisch nachzuweisen. Die Qualität sowie die Wirtschaftlichkeit stehen dabei im Vordergrund der Firmen / Anwenderanforderungen.



Bild 2: Ishikawa-Diagramm zur Zielgröße Vorspannkraft

2. Anforderungen an das Schraubsystem

Neben den Anforderungen an den Anwender steigen auch die Anforderungen an die verwendeten Schraubwerkzeuge deutlich an.

Am Beispiel eines Kategorie A-Schraubfalls mit handgeführtem Schraubwerkzeug bedeutet dies für einen definierten Werkzeug-Typ (ohne Reduzierung):

- Maschinenfähigkeitsnachweis gemäß VDI/VDE 2645 Blatt 2 nötig
- Zu erfassende Messgrößen für den Schraubprozess:
 - Direkt gemessene Steuergröße
 - Direkt gemessene Kontrollgröße
 - Steuer- und Kontrollgröße müssen unterschiedlich sein
 - Bereitstellung der Schraubergebnisse
 - Selbsttestfähigkeit
 - Erkennung von Fehlverhalten im Signalaustausch
 - Redundanter Aufbau zur Erfassung der Steuer- oder Kontrollgröße

Unter einer Kategorie A-Verschraubung wird im Sinne der Richtlinie eine Schraubstelle oder Schraubverbindung verstanden, welche beim Versagen zu einer Gefährdung für Leib und Leben oder Umwelt führt.

Viele bisher verwendete Schraubsysteme und Werkzeuge sind jetzt für eine Kategorie A- oder Kategorie B-Verschraubung nicht mehr richtlinienkonform. Nicht selten werden deshalb an ganzen Fertigungslinien die Werkzeuge ausgetauscht, da die geforderten Fähigkeitsuntersuchungen und Werkzeuganalysen offensichtliche Mängel nach Stand der Technik aufzeigt haben.

Tabelle 1: Direkte vs. Indirekte Messung eines hydraulischen Schraubwerkzeuges

| Pos: | Sensortyp: | Messgröße: | Direkt: | Indirekt: |
|------|--|---------------|---------|-----------|
| 1 | Druck | Drehmoment | | x |
| 2 | Drehmomentsensor an Achse | Drehmoment | x | |
| 3 | Drehmomentsensor an Reaktionsarm/-hülse | Drehmoment | x | |
| 4 | Strommessung | Drehmoment | | x |
| 5 | Ölflowmessung | Drehwinkel | | x |
| 6 | Winkelsensor am Vierkant / Antrieb (Spindel) | Drehwinkel | x | |
| 7 | Zeitmessung | Drehwinkel | | x |
| 8 | DMS-Längenmessung an der Schraube | Vorspannkraft | x | |
| 9 | Messunterlegscheibe axial | Vorspannkraft | x | |
| 10 | Messunterlegscheibe radial | Vorspannkraft | x | |
| 11 | Ultraschall-Längenmessung | Vorspannkraft | x | |

Hinweis:

Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit. Bitte aktuelle Richtlinien und Normen prüfen.

3. Die Prozessfähigkeitsanalyse als Qualitätsfähigkeitsnachweis

Die hohen Qualitätsanforderungen bei Schrauben spiegeln sich z.B. bei der Stichprobenuntersuchung von Serienverschraubungen mittels geeigneter Prüfmethoden durch geschulte Mitarbeiter wider. Eine mögliche genannte Methode ist z.B. die Ermittlung des Weiterdrehmomentes gemäß VDI/VDE 2645 Blatt 3, welche in Q2/2016 als Gründruck erscheint. In dieser Richtlinie werden diverse Methoden der Messwertverarbeitung sowie deren statistische Auswertung beschrieben. Darüber hinaus sind die anerkannten Methoden der Längen- und Vorspannkraftmessung weiter anwendbar und sehr gute Methoden, um insbesondere bei

großen Schrauben den geforderten Fähigkeitsnachweis zu erbringen, auch wenn diese in der VDI/VDE 2862 Blatt 2 nicht explizit als Beispiel aufgeführt werden.

Um die Anwenderpflichten korrekt und vollständig zu erfüllen, ist es nicht ausreichend, die erfassten Messdaten als Metadaten zu sammeln und zu speichern. Es sind die statistische Auswertung der Schraubvorgänge und die Analyse der erfassten Messdaten erforderlich, um den Qualitätsfähigkeitsnachweis zu erbringen.

Je zeitnah diese Analyse zur Verschraubung erfolgen, desto besser kann auf „nicht fähige“ Prozesse reagiert werden. Am besten erfolgt die Auswertung unmittelbar mit der Erstellung der Schraubverbindung, um sich kostenintensive Rückholaktionen in der Serienfertigung zu ersparen. Für den Hochdrehmomentbereich bedeutet dies, dass z.B. unmittelbar nach der Fertigstellung der Gesamtverbindung eine statistische Analyse der Steuergröße(n), der Kontrollgröße(n) und der Stichprobenmessungen für die Prozessfähigkeitsuntersuchung erfolgen sollte. Oft werden im Zuge der Folgeschritte diese Schraubverbindungen so verbaut, dass die Zugänglichkeit zu diesen Schraubverbindungen zu einem späteren Zeitpunkt nicht mehr gewährleistet ist. Die Erkennung eines Prozessproblems sollte deshalb möglichst zeitnah erfolgen. Dies ist allerdings nur möglich, wenn die entsprechenden Tools und fähige Werkzeuge verfügbar sind sowie geschultes Personal mit dem Umgang vertraut ist.

Automatisierte Prozesse verringern dabei die Anforderungen an den Anwender auf ein Minimum und führen dazu, dass die Umsetzung in der Praxis auch möglich wird. Die Praxistauglichkeit muss dabei im Vordergrund stehen.

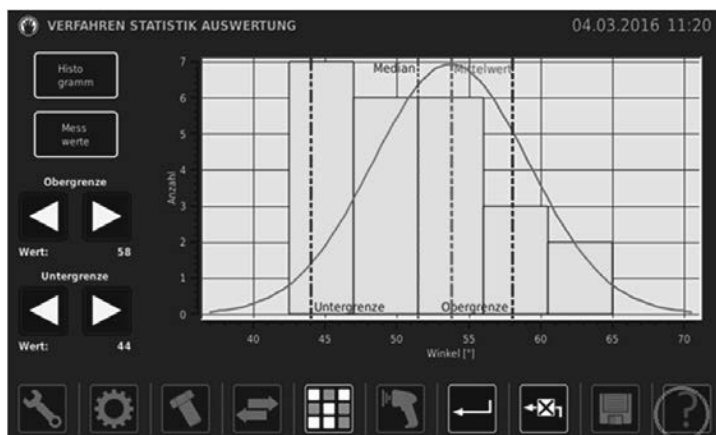


Bild 3: smartorc: Statistisches Tool zur Prozessvisualisierung im Schraubsystem

Ermittlung von Schraubparametern mittels Prüfplatz

Bei der Ermittlung der Schraubparameter gibt es verschiedene Möglichkeiten und Methoden, um einen neuen Schraubfall kennenzulernen und zu verstehen. Eine Möglichkeit wäre eine Untersuchung des Schraubfalls an einem „fähigen“, dazu geeigneten Analyseprüfstand.

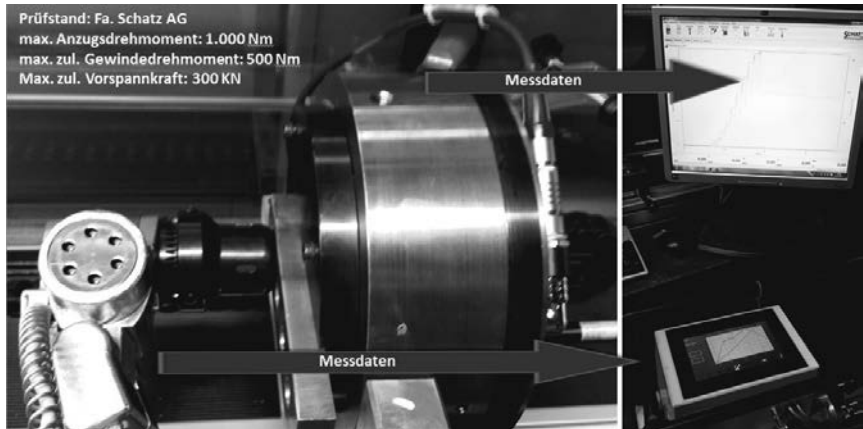


Bild 4: Reaktionsarmfreier streckgrenzengesteuerter Prozess am Analyseprüfstand

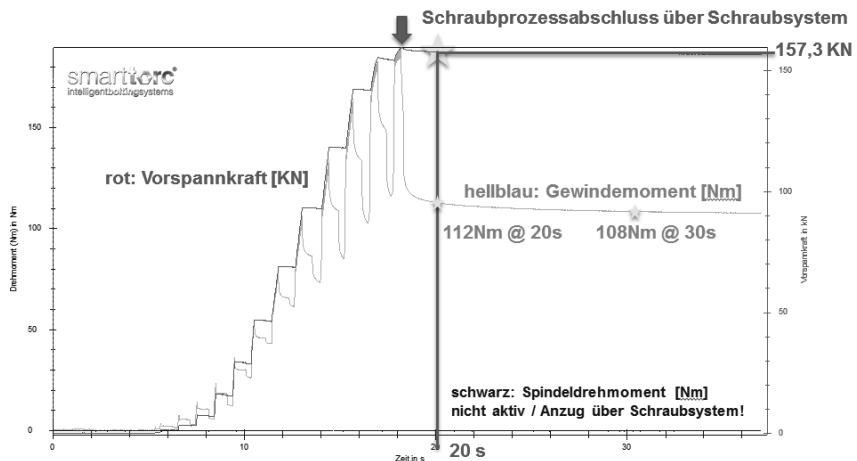


Bild 5: Anzugsverlauf - streckgrenzengesteuertes Anziehen am Analyseprüfstand

4. Mitarbeiterqualifikation in der Schraubtechnik

Die steigenden Anforderungen an die Qualität der Schraubverbindung bringen auch immer höher werdende Anforderungen an die Mitarbeiter mit sich. Diese müssen entsprechende Schulungen erhalten, damit die notwendige Fachkenntnis zum jeweiligen Themenschwerpunkt sichergestellt wird. Die Qualifizierung von Montagepersonal nach DIN EN 1591-4 deckt hierbei nur einen sehr kleinen Bereich einer speziellen Branche ab. Die Anwender/Firmen müssen gewährleisten, dass die Qualifikation der Mitarbeiter branchenübergreifend durch entsprechende Schulungen sicherzustellen ist, insbesondere um die steigenden Qualitätsanforderungen auch in naheliegender Zukunft weiter erfüllen zu können. Die Kenntnis der geltenden Normen und Richtlinien wird als selbstverständlich vorausgesetzt, um die Arbeit fachgerecht ausführen zu können.

Die Herausforderungen im Feldeinsatz (Service / Reparatur / Wartung)

Viele Anwender im Maschinen- und Anlagenbau müssen ihre Großgeräte im Feld unter stark wechselnden Umgebungsbedingungen verschrauben. Oft erfolgt diese Verschraubung mit Parametersätzen, welche in der Serienfertigung angewendet werden. Diese Parametersätze führen im Feld teilweise zu stark abweichenden Prozessergebnissen, da sich die Schraubverbindungen bei anderen klimatischen Verhältnissen und Umweltbedingungen anders verhalten. Damit der Anwender auch hier ein qualitativ hochwertiges Schraubergebnis erreicht, muss er ein geeignetes Schraubverfahren anwenden und sein Schraubergebnis über entsprechende Messungen verifizieren. Mit dem Einsatz intelligenter Schraubsysteme, welche alle gängigen Schraubverfahren beherrschen, wird diese Aufgabe deutlich einfacher. Hochwertige Systeme liefern dabei sogar noch eine Rückmeldung zur Prozessstabilität und dokumentieren die gewünschten Messgrößen.

Möchte der Anwender seine Schraubverbindung vom Potential her komplett ausnutzen und strebt man an, den Schraubprozess bezüglich der Anzugsmethodik möglichst „wartungsarm“ zu gestalten, müssen hochwertige Anzugsverfahren angewendet werden. Ein Verfahren hierzu ist das streckgrenzengesteuerte Anziehen von Schraubverbindungen, welches auch mit unterschiedlichen Reibbeiwerten sehr gut umgehen kann. Im Feldeinsatz zeigt sich, insbesondere unter Einsatz der intelligenten Schraubsysteme, dass solche Verfahren insbesondere unter kritischen Umweltbedingungen die bestmöglichen Vorspannkraftergebnisse liefern. Praxisergebnisse und Hochschuluntersuchungen belegen, dass dieses Verfahren auch mit unterschiedlichen Reibbeiwerten sowie den daraus resultierenden Drehmoment-

schwankungen von Faktor 2 und größer zielsicher die gewünschte Vorspannkraft erreichen können. Dies ist insbesondere für den Feldeinsatz von hoher Bedeutung für den Anwender, schließlich muss die Schraubverbindung zuverlässig halten und ihre Aufgabe erfüllen.



Bild 6: Servicefall Kategorie-A: Streckgrenzengesteuertes Anziehen bei Firma Liebherr

Ansatz „Industrie 4.0“ in der Schraubtechnik im Sinne der Richtlinie

Auch wenn die Begrifflichkeit „Industrie 4.0“ noch nicht final definiert ist und somit jeder Hersteller seine eigene Auslegung daraus ableitet, so bietet dieser Ansatz für die Schraubtechnik sehr interessante Möglichkeiten für intuitive Systeme, welche in der Lage sind, die steigenden Anforderungen einer immer komplexer werdenden Arbeitswelt zu meistern.

Schraubsysteme und Werkzeuge, welche den Ansatz „Industrie 4.0“ erfüllen, werden in der Zukunft für den Anwender die einfachste Lösung für richtlinienkonformes Arbeiten bieten, auch bezüglich der Anforderungen zur VDI/VDE 2862 Blatt 2. Sie erlauben beispielsweise die Vernetzung verschiedener unabhängiger Messsensoren mit dem Schraubmontagesystem, welche völlig eigenständig Messwerte erfassen und auswerten. Damit die normativen Anforderungen erfüllt werden, müssen auch diese Mess- und Prüfgeräte völlig unabhängig vom Schraubsystem in der Lage sein, ihre physikalische Messgröße zu erfassen. Sensoren und Messgeräte in der Schraubtechnik sind z.B. Ultraschall-Längenmesssysteme, DMS-

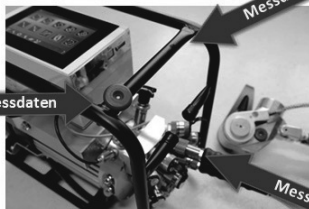
Messschrauben (DMS=Dehnmessstreifen), DMS-Messunterlegscheiben, aber auch manuell messende Systeme wie z.B. eine Schieblehre oder eine Bügelmessschraube, deren Messergebnis manuell in das Schraubmontagesystem zur Auswertung übertragen werden kann. Die automatisierte statistische Auswertung der Steuer- oder Kontrollgröße durch das Schraubmontagesystem sowie die Auswertung weiterer externer eingebundener Sensoren zur Prozessfähigkeitsuntersuchung ist somit schnell und einfach gewährleistet.

Ansatz: Industrie 4.0

Quelle: Möller Metaldichtungen GmbH



Beispiel: Direkte Messung der Montagevorspannkraft mittels einer Messunterlegscheibe



Übernahme der extern erfassten Mess-daten und zentrale Dokumentation aller Schraubprozessdaten mit der Eco2Touch.



Quelle: AMG Intellifast GmbH

Beispiel: Ultraschall-Längenmesssystem

Beispiel: DMS-Messschraube - Smarttorc



Quelle: Juko Technik GmbH

smarttorc
intelligentboltingsystems

5. Kundennutzen und Fazit

Bereits im ersten Jahr seit Inkrafttreten der Richtlinie zeigen sich äußerst positive Effekte für die Anwender. Anwender, welche bisher rein drehmomentgesteuert verschraubt haben und jetzt auf Verfahren mit Winkelkontrolle gewechselt haben, konnten schnell und einfach Prozessprobleme erkennen und wirksam gegensteuern.

Aus der anfänglichen vorsichtiger Zurückhaltung gegenüber hochwertigerer Schraubtechnologie wurde bei vielen Anwendern Begeisterung, da vielen der Nutzen erst durch den Einsatz der Schraubsysteme bewusst wurde.

Intelligente Schraubssysteme ermöglichen mit einem Tastendruck die Auswertung der Prozessdaten auf einfachste Weise. Durch diese Tatsache wird der Nutzen für den Kunden offensichtlich, da Folgeschäden schnell und effektiv verhindert werden konnten.

Durch den Einsatz der neuen Möglichkeiten ist es jetzt auch für viele Anwender möglich, deutlich leichter zu bauen und trotzdem ein hohes Maß an Sicherheit zu gewährleisten. Diese Themen sind ein wesentlicher Erfolgsfaktor, der in Zukunft für den Anlagen- und Maschinenbau noch mehr an Bedeutung gewinnen wird, insbesondere, da hier die Schraubanlagen-Parametrierung oft umgebungsspezifisch angepasst werden muss. Das mehr oder wenige „blinde“ drehmomentgesteuerte Anziehen wird aufgrund der gestiegenen Anforderungen an Kategorie A- und Kategorie B-Schraubfälle nur noch für Kategorie C-Verschraubungen eine adäquate Lösung nach dem Stand der Technik bieten.

Somit steht auch der wirtschaftliche Sinn der Anwendung dieser weltweit einzigartigen Richtlinie zum Einsatz von Schraubsystemen (VDI/VDE 2862 Blatt 2) außer Frage.

Vorspannkraftverhalten gewindefurchender Schrauben

Können metrische Schrauben in hochbelasteten Schraubverbindungen durch gewindefurchende Schrauben ersetzt werden?

Torque-Tension Relationship of Thread Forming Screws

Can a thread forming fastener replace a metric fastener in heavy duty joints?

Dipl.-Ing. (FH) **Peter Egger**,
CONTI Fasteners AG, Baar, Schweiz

Kurzfassung

Der vorliegende Beitrag soll aufzeigen, dass metrische Schrauben durch gewindefurchende Schrauben unter Berücksichtigung kaltumformspezifischer Vorgänge gleichwertig ersetzt werden können. Er weist nach, dass bei korrekter Auslegung der Verbindung die VDI 2230 auch für gewindefurchende Schrauben angewendet werden kann.

Abstract

The following article shall explain why metric fasteners can be replaced by thread forming fasteners considering specific cold-forming processes. It will prove that the VDI 2230 can be applied for thread forming fasteners as well considering the rules of proper joint-design.

1. Einleitung

Die Meinung, dass gewindefurchende Schrauben mit höheren Montagedrehmomenten angezogen werden müssen, um gleiche Vorspannkkräfte wie metrische Schrauben zu erzeugen, ist immer noch weitverbreitet. Dies wird häufig in Zusammenhang mit Einschraubverbindungen (Sacklöcher) erwähnt.

In der Anwendung der gängigen Normen und Richtlinien zur Auslegung von Schraubverbindungen (VDI 2230 [1], DIN EN ISO 16047 [2]), sind Verbindungen mit gewindefurchenden Schrauben explizit ausgeschlossen. Es ist festzustellen, dass eine Vielzahl gängiger Gewindefurch-Systeme in der Serienmontage nicht in der Lage sind, die geforderten Vorspannkkräfte prozesssicher zu erreichen. Dies trifft hingegen nicht auf TRILOBULAR® Schraubensysteme wie z.B. die TAPTITE 2000® Gewindefurch-Technologie zu. Erfahrungen und Anwen-

dungen aus der Praxis beweisen, dass bei korrekter Auslegung der Verbindung metrische Schrauben problemlos durch TAPTITE 2000® Schrauben (TT2K®-Schrauben) ersetzt werden können. Unzählige Beispiele wie Verschraubungen im Fahrwerkbereich und deren Anbindung an die Karosserie, Befestigungen von Sicherheitsgurten, Verschraubungen im Motorenbereich wie auch im Innenausbau belegen, dass die Normen und Richtlinien metrischer Schrauben auch auf Gewindefurch-Systeme wie z.B. die TAPTITE 2000® Technologie angewendet werden können.

Trotz höherer Stückkosten im Vergleich zu metrischen Schrauben sind erhebliche Einsparungen bei den Verbindungskosten möglich. Das Einsparpotential beträgt 80% und mehr. Die Investitionskosten beim Bau ganzer Montagelinien reduzieren sich durch den Wegfall von Bearbeitungszentren und Reinigungsstationen für die Herstellung von Muttergewinden im Bauteil, welche durch den Einsatz von Gewindefurchschrauben nicht mehr benötigt werden. Die Einbindung eines Schraubenspezialisten in der Frühphase der Produktentwicklung führt also dazu, dass neben einer optimal ausgelegten Verbindung gleichzeitig Prozess- und Investitionskosten eingespart werden können.

2. Ausgangslage

Im Gegensatz zu metrischen Verschraubungen, ist bei TT2K®-Schrauben zur Herstellung der eigentlichen Verbindung in der Montage ein Kaltumformprozess für die Erzeugung des Muttergewindes notwendig. Der Kaltumformprozess basiert auf elastisch / plastischen Verformungen, die zu einer Erhöhung der Festigkeit des Muttergewindes (Kaltverfestigung) führen. Dieser Beitrag soll den Einfluss des Gewindefurchprozesses auf den Vorspannprozess aufzeigen und unter welchen Bedingungen die Normen und Richtlinien zur Auslegung von Schraubverbindungen (VDI 2230 [1], DIN EN ISO 16047 [2]) angewendet werden können.

3. Grundlagen

Da das Gewindefurchen und das Vorspannen der Verbindung dynamische Prozesse sind, können diese am einfachsten in einem dokumentierten Versuch dargestellt werden. Sind die metrischen und die TT2K® Versuchsschrauben bezüglich der Kopfauflage und der Oberfläche gleich ausgeführt, kann der Ansatz nach DIN EN ISO 16047 [2] angewendet werden.

$$T = T_{th} + T_b = K \times F \times d \quad \rightarrow \quad K = \frac{T}{F \times d} \quad [2]$$

T = Anziehdrehmoment

K = K-Faktor

T_{th} = Gewindereibmoment

F = Vorspannkraft

T_b = Auflagereibmoment

d = Gewindenennendurchmesser

Der K-Faktor beinhaltet alle reibungsrelevanten Faktoren und zeigt die Veränderungen über den ganzen Vorspannprozess einer Schraubverbindung. Im Vergleichsversuch zwischen TT2K® und metrischen Schrauben der gleichen Schraubverbindung zeigt der K-Wert, wie sich die Reib- bzw. Umformmomente über den Montageprozess verändern. Bei einem typischen Einschraubversuch werden Drehmoment und Vorspannkraft über die Zeit bzw. Drehwinkel aufgezeichnet. Damit kann auch der K-Faktor im Diagramm als Quotient von T und F abgebildet werden.

4. Drehmoment / Vorspannkraft-Versuch

Die folgenden Diagramme basieren auf internen Versuchsdaten [3]

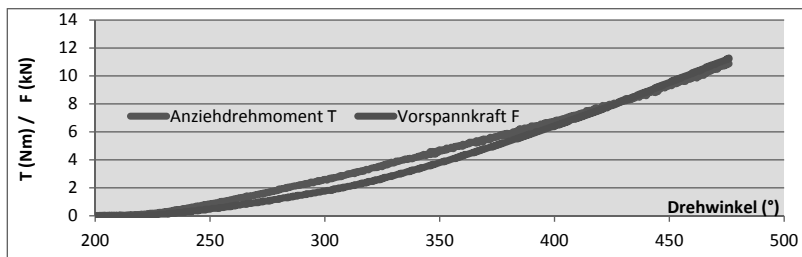


Bild 1: Anziehdiagramm metrische Schraube bis T=11 Nm

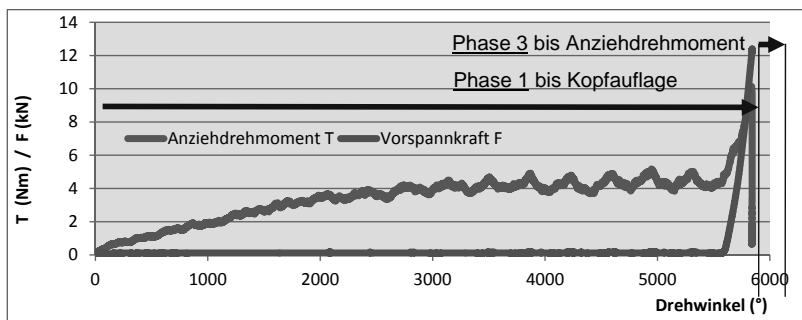


Bild 2: Anziehdiagramm TAPTITE 2000® Schraube bis zum Versagen

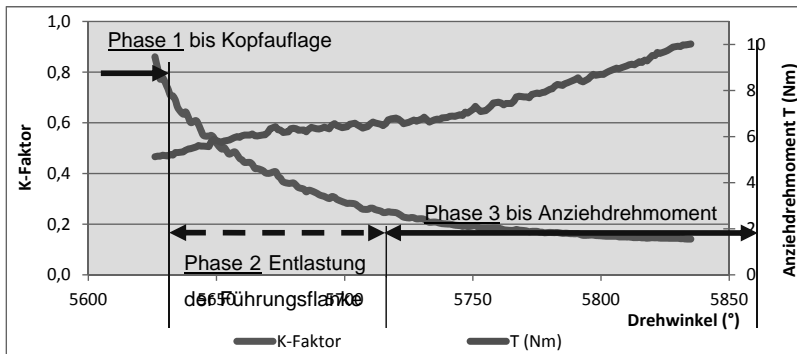


Bild 3: K-Faktor Anziehdrehmoment TAPTITE 2000® Schraube ab Kopfauflage bis $T=10$ Nm

Der K-Faktor der TT2K® Schraube (Bild 3) verringert sich von einem hohen K-Wert ($\sim 0,85$) auf $\sim 0,15$. Die metrische Schraube (Bild 4), die keine Umformarbeit leisten muss, beginnt mit niedrigem K-Wert ($\sim 0,25$) und erreicht auch das Niveau von $\sim 0,15$. Das heisst, wenn der K-Wert der TT2K® Schraube im Bereiche der metrischen Schraube liegt, kann demzufolge die gleiche Vorspannkraft bei gleichem Anziehdrehmoment erwartet werden.

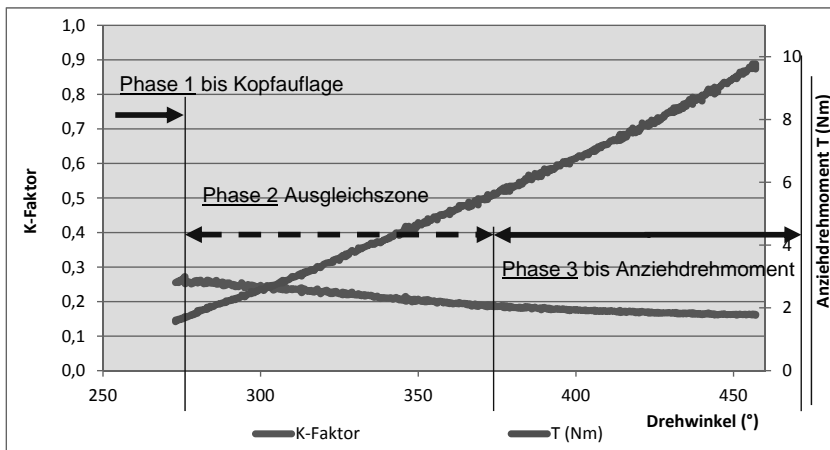
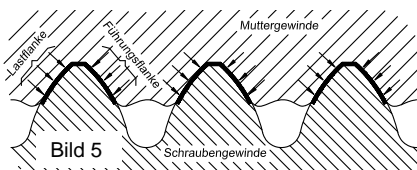


Bild 4: K-Faktor Anziehdrehmoment ISO-Schraube $T=1,6$ bis 10 Nm

5. Erklärung für das Verhalten des K-Faktors mit TAPTITE 2000®-Schrauben

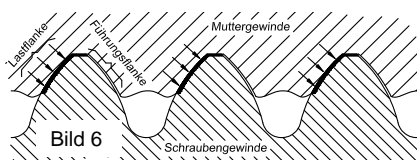
Der K-Faktor beschreibt die Kombination des Vorgangs der Vorspannkrafterzeugung mit dem Kaltumformprozess bei der Herstellung des Muttergewindes und läuft in 3 Phasen ab. Die Schraube wird von links nach rechts in das Mutterteil eingedreht.

Phase 1 (Bild 5): Bis zur Schraubenkopfauflage wirken vorwiegend radiale Umformkräfte, die



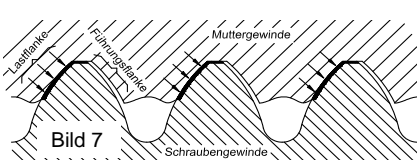
vor allem von den ca. 3 Gewindegängen der Furchzone eingeleitet werden. Der letzte vollausgeformte Gewindegang der Furchzone kalibriert das kaltumgeformte Muttergewinde.

Phase 2 (Bild 6): Zunehmend beeinflusst der Vorspannprozess den Umformprozess, die



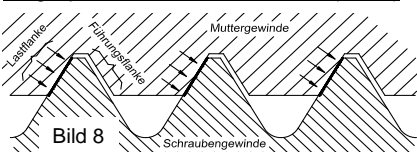
Kräfte wechseln in axiale Richtung und beginnen die belastete Flanke des Muttergewindes elastisch zu verformen. Die immer mehr entlastete Führungsflanke gibt die elastisch gespeicherte Federkraft an die Schraube ab bis sie abhebt und nur noch die Lastflanke trägt.

Phase 3 (Bild 7): Der Kaltumformprozess ist nun nahezu abgeschlossen und das Anziehdrehmoment steht fast ausschliesslich dem



Vorspannprozess zur Verfügung. Ist das benötigte Anziehdrehmoment erreicht, ist die gefurchte Schraubverbindung gleichwertig wie eine metrische Schraubverbindung vorgespannt. Der im Muttermaterial verbliebene elastische Anteil federt in radialer Richtung in die „Täler“ der TRILOBULAR® Flankenform zurück und ergibt so eine formschlüssige Sicherung der Verbindung.

Vorgespannte metrische Schraube (Bild 8): Auch die metrische Schraube hat eine Phase 2



bei der Geometrie-, Oberflächenfehler, Verschmutzungen ausgeglichen werden und sich im K-Faktor wiederfinden.

6. Auslegung der Vorlöcher damit die VDI 2230 angewendet werden kann

Voraussetzung für einen optimalen und prozesssicheren Gewindefurchvorgang ist die korrekte Auslegung der Vorlöcher. Diese ist von der Einschraubtiefe, von der Festigkeit (Härte) und Duktilität des Muttermaterials, der Korrosionsschutz- und Gleitmittelbeschichtung der Schraube und den Montagemethoden abhängig.

Das Vorloch muss so gestaltet werden, dass nach Erreichen der benötigten Vorspannkraft nur noch die Lastflanke der Schraube in Kontakt mit dem gefurchten Muttergewinde steht.

Dieses Ziel kann durch Reduktion der Furchmomente (geeignete Gewindefurchschrauben, Gleitbeschichtungen) und die entsprechende Dimensionierung der Vorlöcher in Bezug auf den verwendeten Mutterwerkstoff und die Festigkeitsanforderungen (Scherfestigkeit und Flankenüberdeckung) der Verbindung erreicht werden.

7. Literatur

- [1] VDI 2230 Januar 2013
- [2] DIN EN ISO 16047-Jan 2013
- [3] Untersuchungsbericht TS-916-1999, REMINC/CONTI, D. Boyer, J. Reynolds

Reibwertanalyse – zur Qualitätssicherung und zur Prozessabsicherung

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

Kurzfassung

Bei Verschraubungen, die einen technischen Anspruch in Bezug auf ihre Vorspannkraft haben wird in der Regel die Reibungszahl verwendet um den Zusammenhang zwischen dem Drehmoment und der Vorspannkraft herzustellen. In Europa werden dazu meist die sogenannten Teilreibungszahlen ebenfalls ermittelt und überwacht, um die Reibungszustände im Gewinde und in der Reibauflage zu kennen und in Folge die Torsionsbelastungen des Bolzens sowie die Belastungszustände in den verklemmten Teilen besser beurteilen zu können. Da die Bestimmung der Reibungszahlen bei Schrauben und Muttern die Messung von Drehmomenten – Gesamtdrehmoment, Gewindereibmoment und Auflagenreibmoment sowie die Vorspannkraft voraussetzt hat die verwendende Messtechnik einen großen Einfluss auf das Ergebnis. Die Bestimmung der Reibungszahlen erfolgt in der Regel nach Normen und Regelwerken (z.B. DIN EN ISO 16047^[1], VDA 235-203), die eine jeweilige definierte „Referenz“ als Reibungspartner (Gewinde, Auflage) vorsieht. Die damit gewonnenen Ergebnisse (Reibungszahlen) sind jedoch nur zur Beschreibung einer definierten Kombination aus von Reibungspartnern anzusehen und können folglich nicht als Bezugsgröße für die tatsächliche Anwendung angesehen werden.

1. Reibungszahlen

In der DIN EN ISO 16047 wird ein Verfahren beschrieben das festlegt, wie Schrauben und Muttern in Bezug auf Ihren Reibungszustand zu bewerten sind. Dabei werden die Prüflinge gegen definierte Referenzreibflächen (Auflagefläche und/oder Mutter) verschraubt und die auftretenden Drehmomente und die Vorspannkraft erfasst. Bei einer definierten Kraft werden in Folge dann die Messwerte Gesamtdrehmoment, Gewindereibmoment, Kopfreibmoment und Vorspannkraft ausgewertet und mittels den zum Schraubsystem gehörigen Geometriethermen werden die Reibbeiwerte μ_{Gewinde} , μ_{Auflage} und μ_{Gesamt} berechnet. Die Reibwerte werden in der Regel als Qualitätsmerkmal zwischen dem Lieferanten und dem

Kunden vereinbart und stellen daher bei Versagensfällen in Anwendungen oftmals eine entscheidende Rolle dar.

2. Messtechnik

Zum Messen der Reibungszahlen werden in der Regel Dehnmessstreifen basierende Sensorkörper eingesetzt, die zur Bestimmung der Teilreibungswerte (Auflagenreibung und/oder Gewindereibung) und der Vorspannkraft als Mehrkomponenten Messkörper aufgebaut sind. Hier werden somit über konstruktive Lösungen zwei physikalische Signale (Moment / Kraft) in einem wie auch immer entkoppelten Sensorkörper gemessen. Ein Übersprechen ist nach den neuesten Erkenntnissen bei allen Sensortypen vorhanden. Je nach Größe und Art des Übersprechsignals kann es toleriert werden oder muss mit speziellen elektronischen oder softwaretechnischen Lösungen kompensiert werden. Um an die Aussage des Übersprechverhaltens generell zu gelangen sind erst vor wenigen Monaten die Einrichtungen bei der PTB in Braunschweig erstellt worden, um eine kraftüberlagerte Drehmomentvergleichsmessung und umgekehrt durch zu führen.

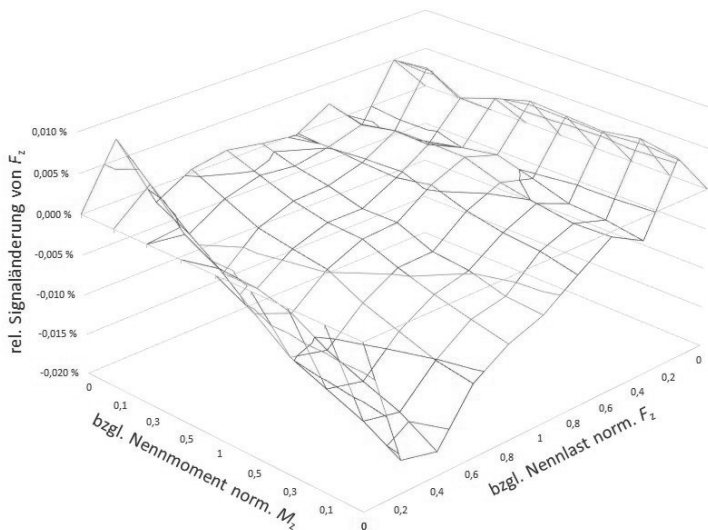


Bild 1: Übersprechen bei einem Mehrkomponenten Messkopf (Drehmet/Kraft) [2]

3. Übertrag in die praktische Anwendung

Da oftmals in der Praxis die Schrauben oder Muttern in ganz anderen Anwendungen und Umgebungen verbaut werden, stellt sich für den Anwender die Frage ob das Verfahren zur Bestimmung der Reibungszahlen wie es z.B. in der Prüfnorm gegen die jeweiligen Referenzen gefordert wird, nicht auch in der Praxisanwendung mit den original Bauteilen eingesetzt werden kann. In der Regel müssen dazu die Prüflinge und die Kontaktflächen zum Teil mit erheblichem Aufwand präpariert werden, damit die Sensoradaptierung erfolgen kann. Dabei sind strenge Regeln und Maßnahmen zu beachten, damit die Ergebnisse auch verwertbar sind und die Aussage den gewünschten Wert erhält. Die Beispiele im Labor zeigen, dass es unter gewissen Umständen sehr gut möglich ist Einflüsse von Werkstoffpaarungen, Oberflächenbeschichtungen und Verfahren (z.B. gereinigte oder imprägnierte Gehäuse) in der praktischen Anwendung zu unterscheiden und letztlich die tribologischen Zusammenhänge quantitativ zu erfassen. Der Nutzen kann eine optimale Auslegung der Montagestrategie und eine gezielte Ausnutzung der Vorspannkraft in der Schraubenverbindung für den Serienprozess sein.

Literatur:

- [1] DIN EN ISO 16047 – Ausgabe Januar 2013, Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin
- [2] Firmenschrift REC intern

Industrie 4.0 – Smart Data Applikationen und Technologien in der Fabrikautomation

Dipl.-Ing., M.Sc. **Martin Doelfs**, Bosch Rexroth AG, Murrhardt

Kurzfassung

Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt. Dies wirft eine Reihe von Fragen auf, zu denen der Vortrag wenn nicht Antworten so doch zumindest fundierte Anregungen geben soll: Wie sehen diese Veränderungen konkret aus? Welche Rolle spielt der Mensch in dieser neuen Arbeitswelt? Welche Technologien treiben diese Veränderungen? Wie stellt man sich als Industrieunternehmen in dieser sich verändernden Industrieumgebung auf? Welchen Nutzen bieten Industrie 4.0-Lösungen? Wie kann man diese Lösungen umsetzen?

Abstract

Industry 4.0 or Connected Industry changes the working environment. This raises a number of questions as there are: What do these changes look like? Which role does the human play in this new working world? Which technologies drive these changes? How can an industrial company position itself in this changing environment? Which benefits offers Industry 4.0? How can such solutions be realized? The presentation will try give some answers or at least some fundamental insights to these questions.

Zusammenfassung

Sensoren, Software und Services sind die wesentlichen Technologietreiber für das Internet of Things (IoT). Der rasante Anstieg der miteinander vernetzten Menschen und Dinge ist ein unumkehrbarer Megatrend und führt zu dramatisch veränderten Wertigkeiten entlang des Wertstroms. Datenbasierte Geschäftsmodelle werden immer wertvoller, wie die Veränderung der Top-Ten-Liste der wertvollsten börsennotierten Unternehmen zeigt.

Das Internet of Things beeinflusst dabei nahezu alle Lebensbereiche. Für große Industrieunternehmen ist dies Chance und Herausforderung zugleich. Die Bosch Gruppe zum Beispiel bearbeitet intensiv die Bereiche Connected Buildings, Connected Mobility, Connected Energy und Connected Industry – hierzulande besser bekannt als Industrie 4.0.

Industrie 4.0 stellt dabei die Fusion der physischen Welt mit der digitalen Welt über alle Unternehmensprozesse dar. Der steigenden Komplexität der Wertströme u.a. aufgrund steigender Variantenvielfalt und Volatilität der Märkte muss durch flexible, optimale Ressourcenzuordnung begegnet werden.

Die durchgängige Konnektivität von der Sensorebene bis in ERP-Systeme ist dabei ein Schlüssel und vor allem ein erster notwendiger Schritt für durchgängige Industrie 4.0-Lösungen. Hier treffen sich nun zwei Welten – Informationstechnologie und klassische Industrie – die hinsichtlich Ihrer Vorgehensweisen und Umsetzungsgeschwindigkeiten teilweise sehr unterschiedlich agieren.

Bosch verfolgt dabei die duale Strategie als Leitanwender von Industrie 4.0-Lösungen, mit mehr als 280 Werken weltweit, und andererseits als Leitanbieter mit einem ausgeprägten Ökosystem von Leistungserbringern auf allen Ebenen: von Sensoren über Hard- und Software bis hin zu Cloud-Lösungen. So hat Bosch im März 2016 die eigene Bosch IoT-Cloud der Öffentlichkeit präsentiert.

Industrie 4.0-Lösungen lassen sich charakterisieren durch dezentrale Intelligenz, schnelle und flexible Integrationsmöglichkeit, offene Standards und Schnittstellen. Es entsteht so ein virtuelles Abbild der Realität in Echtzeit. Digitales Produktlebenszyklusmanagement wird möglich; die Wertschöpfungskette ist abgesichert.

Ein Beispiel für die Umsetzung von Industrie 4.0 ist dabei das mit dem Hermes Award ausgezeichnete Open Core Engineering von Bosch Rexroth. Der direkte Zugriff aus der IT-Welt auf Automatisierungskomponenten wird somit möglich.

Ein weiteres Beispiel ist der WebConnector von Bosch Rexroth, der es ermöglicht, unterschiedlichste Automatisierungskomponenten an MES, Datenbanken oder Cloud-Plattformen anzubinden. Dadurch wird es möglich, datenbasierte Dienste auf der Softwareebene zu realisieren, die ohne diese Konnektivität nicht möglich sind.

Sind Massendaten aus der Produktion auf übergeordneten System oder in einer Cloud verfügbar, kann auch Data Mining angewendet werden. Darunter versteht man v.a. die automatisierte Auswertung großer Datenmengen, die durch den Menschen nicht mehr überschaubar sind. Man kann mit Data Mining z.B. Korrelationen erkennen, die sonst nicht sichtbar wären. Sei es innerhalb eines Prozesses oder über verschiedene Prozesse hinweg. Mit Kenntnis

solcher Korrelationen können Algorithmen entwickelt werden, die schärfere Vorhersagen über das Prozessverhalten treffen oder auch proaktiv den Prozess regeln können. Solche einmal entwickelten Algorithmen können dann in Echtzeit „embedded“ auf der Prozess-Steuerung ablaufen oder zur Optimierung der Prozessparameter genutzt werden.

Vor allem bei Echtzeit-basierten Prozessen ist dabei die große Datenmenge zu berücksichtigen. Der Generic Data Server von Bosch Rexroth ist dabei Echtzeitsystem-nah eingesetzt, um solche Massendaten lokal zu erfassen, zu sortieren, ggf. zu aggregieren und an übergeordnete System zur Verfügung zu stellen.

Ein Beispiel für ein Digitales Abbild der Realität ist der Process Quality Manager, der von Bosch Rexroth gemeinsam mit Bosch Software Innovations entwickelt wurde. Die Prozessdaten aller angebundenen Schraubsysteme sind in der Bosch IoT-Cloud in quasi-Echtzeit verfügbar. Prozessanomalien werden unmittelbar erkannt, die Ursachenanalyse beschleunigt und dadurch die Produktivität positiv beeinflusst.

Vor allem bei Multiprodukt-Linien mit hoher Variantenvielfalt bietet der Industrie 4.0-Ansatz Vorteile z.B. hinsichtlich Lagerbestand und Produktivität. Dies wird am Beispiel einer Montagelinie im Bosch Rexroth-Werk in Homburg erreicht; durch exakte Werkstückerkennung und die Fähigkeit der einzelnen Arbeitsplätze sich automatisch sowohl auf das Werkstück als auch auf den Werker einzustellen.

Industrie 4.0-Lösungen sind nicht trennbar von den grundsätzlichen Überlegungen eines intelligenten Wertstromaufbaus. Das Beispiel einer Greenfield-Montagelinie für Getriebeteile umfasst hierbei die Vernetzung intelligenten Wertstromdesigns mit intelligenten Komponenten und Lösungen sowie eine durchgängige Software-Architektur.

Ein wichtiges Merkmal erfolgreicher Industrie 4.0 – Lösungen ist also die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Letztlich wird aus Sicht der Bosch Gruppe kein einzelnes Unternehmen in der Lage sein, dies alleine zu lösen. Offene Schnittstellen, offene Plattformen, Open Source und strategische Allianzen sind erfolgsentscheidend.

Einsatz von Industrie 4.0 im Schraubtechnikumfeld

- 1. Einleitung zu Industrie 4.0**
- 2. Schraubtechnik in Montageeinrichtungen mit Industrie 4.0**
- 3. Einsatz von Datenauswertung zur Erhöhung der Verfügbarkeit der Produktionsmittel**
- 4. Ausblick für die Anwendungen der Schraubtechnik bei Industrie 4.0**

Dipl.-Ing. (FH) **Harald Lukosz** DC-IA/EWT, Entwicklungsleitung
Schraub- und Schweißtechnik, Bosch Rexroth AG, Murrhardt

Kurzfassung

Der Name Industrie 4.0 bezeichnet die vernetzte Fertigung der Zukunft. Nach Webstuhl, Fließband und Einsatz von Elektrotechnik in der Produktion beginnt nun die vierte industrielle Revolution: Das Internet mit seinen grenzenlosen Möglichkeiten des Informationsaustausches wird in die Produktion mit einbezogen. Das Ergebnis ist die „intelligente Fabrik“, welche sich durch Wandlungsfähigkeit, Ressourceneffizienz und ergonomische Gestaltung sowie durch die direkte Integration von Geschäftspartnern auszeichnet.

(Teil-)autonome Maschinen bewegen und arbeiten in der „intelligenten Fabrik“ ohne direkte menschliche Steuerung und treffen selbstständig Entscheidungen. Dies steigert die Produktivität. Und erhöht dadurch die Wettbewerbsfähigkeit. Dem Mensch kommt hier als Gestalter, Nutzer und Entscheider eine neue Rolle zu. Die Technik unterstützt ihn dabei besser als je zuvor.

Die Tools der Schraubtechnik lassen sich in diese neue Infrastruktur einbinden. Damit werden die Daten an die übergeordneten Auswerteeinheiten geliefert und eine intelligente Vernetzung und Steuerung sichergestellt.

Abstract

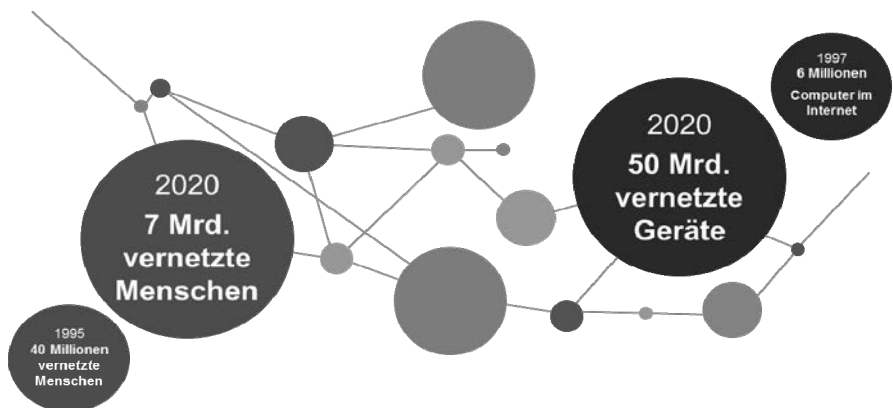
The name Industry 4.0 describes the networked manufacturing of the future. After the weaving loom, assembly line and usage of electrical engineering in the production the fourth industrial revolution starts: The internet with its unlimited possibilities of information exchange will be included in the production. The result is the “smart factory”, which is characterized by versatility, resource efficiency and ergonomic design as well as its direct integration of business partners.

In the “smart factory” (semi-) autonomous machines move and work without direct human control and make decisions independently. This shall evoke a productivity increase to maintain and improve competitiveness. The human will play a new role as designer, user and decision-maker. Technology supports him in doing so better than ever before.

This means for the tightening system that the tools can be integrated in this new infrastructure. So that the data are supplied to the higher Big Data system and therefore an intelligent concatenation and control is guaranteed to the productivity increase.

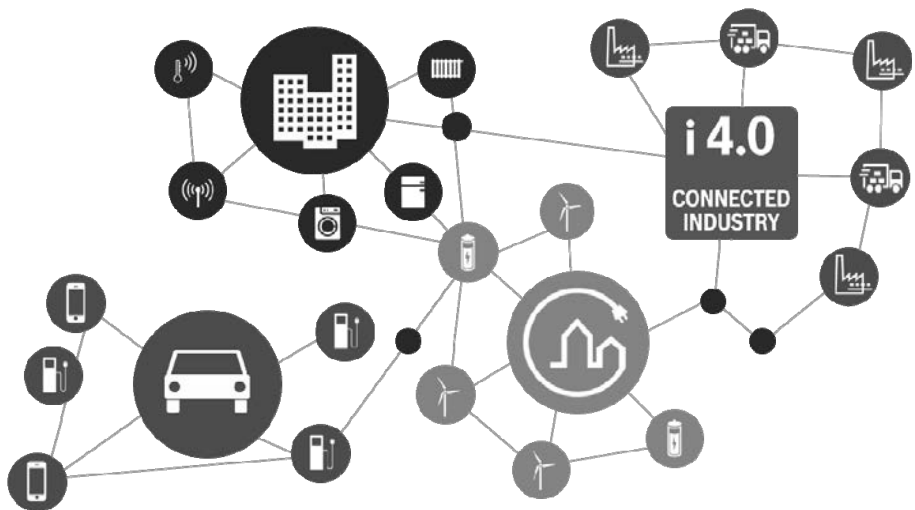
1. Einleitung zu Industrie 4.0

Die Rasante Entwicklung der Vernetzung von Menschen und Dingen bzw. Maschinen und Geräten nimmt sehr schnell zu. Die nötigen Infrastrukturen werden in gleichem Maß zur Verfügung gestellt. (Daten siehe Graphik)



Das Internet der Dinge und Dienstleistungen ist bereits heute Realität. Es ist sowohl Ursache als auch Antwort auf die Treiber unserer wirtschaftlichen Aktivitäten.

Es gibt viele Prognosen zu den Auswirkungen des Internets und Industrie 4.0. Allen gemeinsam ist, dass sie erhebliche Wachstumspotenziale, Effizienzsteigerung und erhöhte Flexibilität versprechen. Im Bild unten sieht man, in welchen Bereichen solche Dienste zum Einsatz kommen. (zum Beispiel: Zu Hause, in den Werken)



Bei Bosch haben wir einige Merkmale von Industrie 4.0 identifiziert:

Schnelle Vernetzung und flexible Konfiguration sind unabdingbar zum effizienten Datenaustausch in allen Arten von Produktionssystemen und zur Steigerung der Flexibilität für individuelle Kundenwünsche in Klein- und Mittelserienfertigungen, dazu bedarf es offener Standards in Software- und Hardware-Architektur, insbesondere bei werkübergreifenden Produktionsnetzwerken.

Verteilte Intelligenz, d. h. die Fähigkeit, Zustände der Erzeugnisse, Maschinen etc. lokal zu erkennen und effektive Maßnahmen abzuleiten, erfordert zwingend ein virtuelles Abbild des Geschehens in Echtzeit, welches eine modellbasierte Beschreibung des Produktionssystems im Jetzt und damit auch Optimierung in der unmittelbaren Zukunft ermöglicht.

Für sichere Wertschöpfungsnetzwerke bedarf es ausgefeilter Systeme zur Datensicherheit, die einerseits den Austausch ausgewählter, aber andererseits auch den Schutz sensibler Daten gewährleisten.

Das digitale Lebenszyklusmanagement ermöglicht individuelle Daten eines Erzeugnisses von der Teilefertigung bis hin zum Feldeinsatz eindeutig zuzuordnen und mit Hilfe „Big Data Analytics“ so zu analysieren, dass wir Informationen über bisher nicht erkannte Wirkzusammenhänge erhalten – „da ist etwas, schau mal hin“ – diese Informationen mit Hilfe des Menschen in Wissen zu transformieren – „so funktioniert das also“ – und letztlich in Nutzen umzusetzen – „so steigern wir Qualität, Effektivität und Effizienz“.

Wir sind bei Bosch der festen Überzeugung, dass der Mensch als Akteur im Mittelpunkt dieses industriellen Geschehens stehen wird.



2. Schraubtechnik in Montageeinrichtungen mit Industrie 4.0

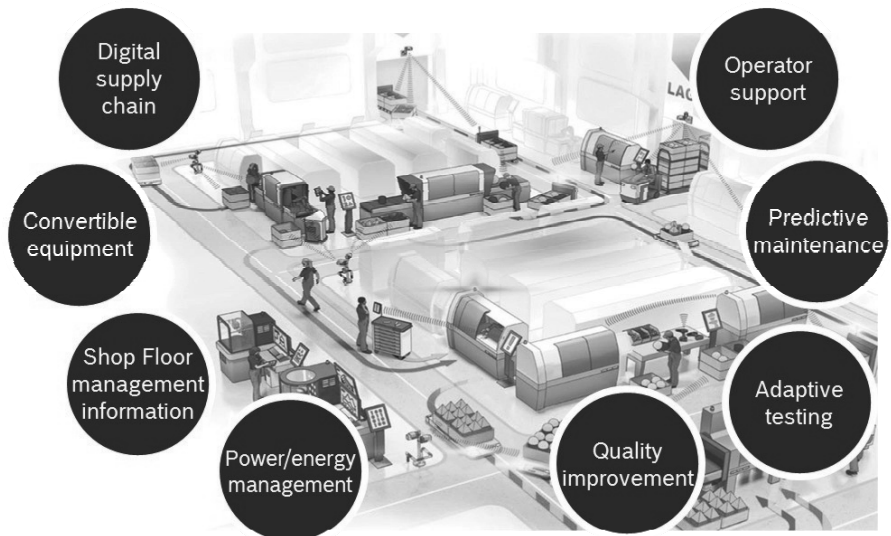
In der Fabrik der Zukunft werden an einer Linie viele Produkte gefertigt.

Rund oder eckig? Bauteile sagen der Maschine, wie sie bearbeitet werden müssen. Die Anlage stellt sich selbst darauf ein. Das ermöglicht hochindividuelle Produkte im Serientempo –

Fertigung mit Losgröße eins also. Dies wird in der Multiproduktlinie von Bosch Rexroth in Homburg, Deutschland schon jetzt praktiziert.

In dieser Multiproduktionslinie kommt die Schraubtechnik mit intelligenter Infrastruktur zum Einsatz um die Verfügbarkeit und Qualität abzusichern.

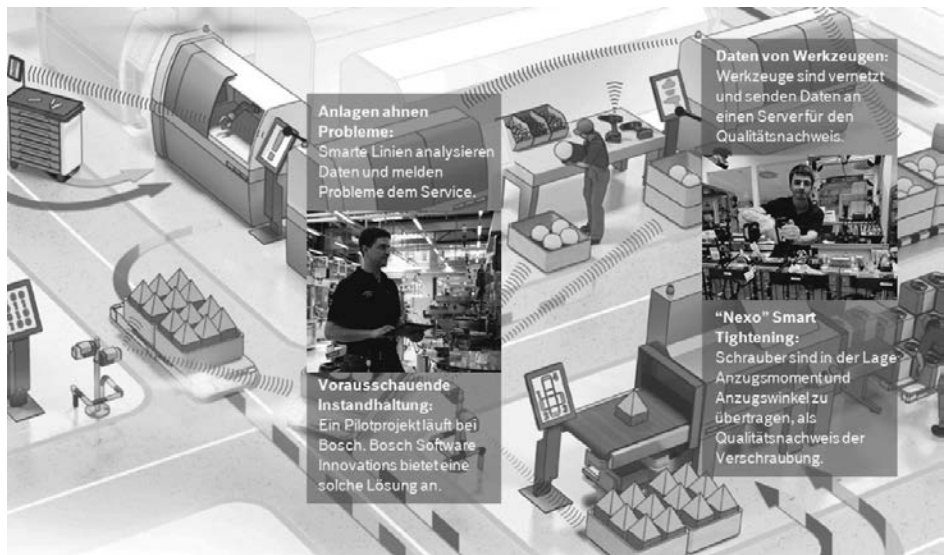
Roboter befreien Mitarbeiter von gefährlichen, anstrengenden oder eintönigen Aufgaben: Robotersysteme arbeiten künftig enger mit Menschen zusammen. Ihre Arbeitspläne beziehen sie aus der „Cloud“. Eine Vorstufe auf diesem Weg: Die mobilen Produktionsassistenten arbeiten Hand in Hand mit ihren menschlichen Kollegen. Flexibel einsetzbar und voll vernetzt unterstützen die mobilen Helfer den Trend zur wandelbaren Fertigung.



Anlagen erkennen Probleme bevor diese entstehen: Smarte Linien analysieren ihre Leistungsdaten per Software und melden drohende Ausfälle dem Service. Vorausschauende Instandhaltung heißt das. Einige Pilotprojekte laufen bei Bosch in verschiedenen Werken.

Auch Werkzeuge (z.B.: Schraubtechnik) sind in der Fabrik der Zukunft vernetzt und schicken wichtige Werte drahtlos an einen Server. Ein Beispiel: Ein Funk-Akkuschrauber - bedient von einem Werker - übernimmt selbständig den jeweiligen Schraubvorgang, mit korrektem Drehmoment und Drehwinkel. Die Prozessdaten werden vom Gerät an den Process Quality Manager geschickt und hier in Echtzeit überwacht und dokumentiert – die Produktion wird transparenter.

Bosch setzt den Nexo Funk-Akkuschrauber mit der Zusatzfunktion „Process Quality Manager“ in seiner Produktion bereits selbst ein.

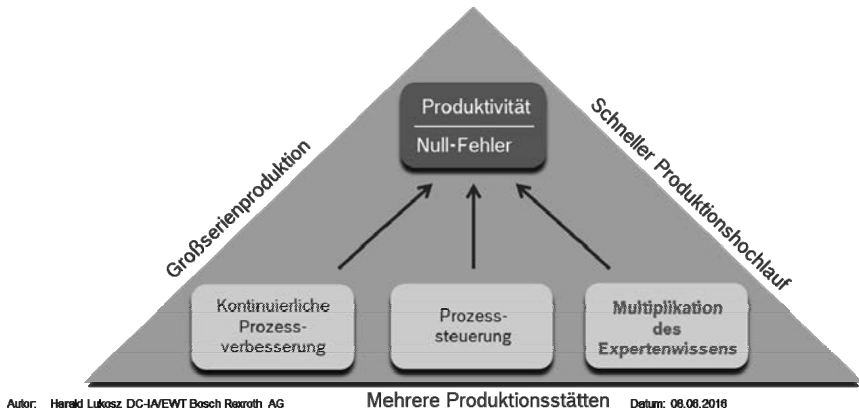


3. Einsatz von Datenauswertung zur Erhöhung der Verfügbarkeit der Produktionsmittel

Durch den Einsatz von Tools, die die Daten auswerten und überwachen sind Steigerungen der Produktivität von ca. 10%, Leistungssteigerungen in der Linie von ca. 20% und Bestandsenkung von ca. -30% möglich (Daten basieren auf der Bosch Rexroth Multiproduktionslinie für Hydraulikventile in Homburg).

Um solche Ergebnisse zu erreichen wird zum Beispiel ein PQM (Process Quality Manager) eingesetzt.

Der Process Quality Manager für Schraubensysteme unterstützt Sie in komplexen Umgebungen zur Erreichung Ihrer Null-Fehler- und Produktivitätsziele:

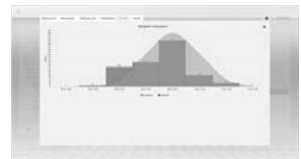


Backend

- Zentrale Verarbeitung von Big Data aus Produktionsprozessen
- Automatische Datenanalyse in Echtzeit mittels benutzerdefinierter Regelmodelle
- Rollenspezifische Warnungen und Einleitung von Organisationsprozessen

Benutzeroberfläche

- Intuitive, vom Kunden konfigurierbare Prozessstatusübersicht (gesamter Standort)
- Visualisierung von Big Data aus Produktionsprozessen (Diagramme, Qualitätsinformationen, Beschränkungen)
- Benutzerspezifische Dashboard-Statusberichte



Der technische Nutzen vom PQM ist:

Offene Schnittstelle: ermöglicht Verbindung mit anderen Systemen

Browserbasiert: gute Bedienbarkeit, Client-Installation nicht erforderlich

Hohe Skalierbarkeit: ein einziges System zur Überwachung der gesamten Anlage

Der Kundennutzen:

Früherkennung von Prozessrisiken: ermöglicht präventive Maßnahmen und vermeidet dadurch Fehlerkosten.

Schnellere Reaktion bei Prozessfehlern: reduziert Fehler- und Nacharbeitskosten; Ergebnis: mehr Output.

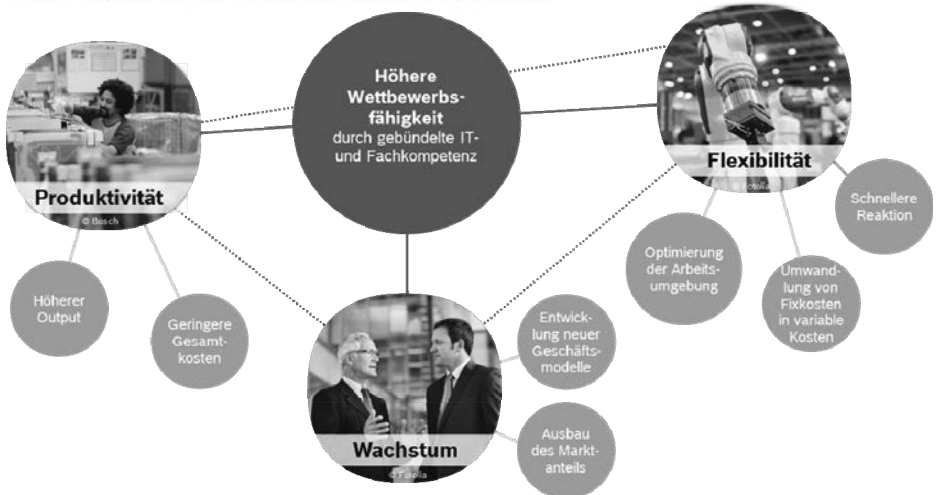
Kontinuierliche Prozesstransparenz: unterstützt die kontinuierliche Verbesserung und steigert die Nutzung von Expertenwissen.

Aus den oben genannten Themen ergeben sich dann minimale Fehlerkosten und Ausfallzeiten.

4. Ausblick für die Anwendungen der Schraubtechnik bei Industrie 4.0

Die Möglichkeiten die uns durch die neuen Ansätze und Infrastrukturen eröffnet werden, bringen uns mehr Produktivität, Wachstum und Flexibilität. Dadurch wird dann unsere Wettbewerbsfähigkeit erhöht.

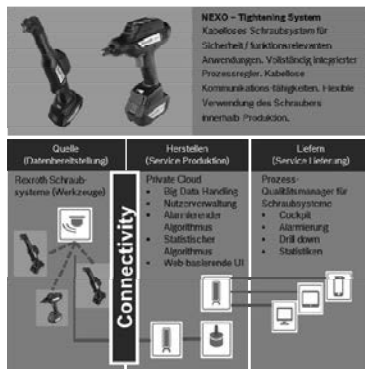
Das bedeutet Industrie 4.0 für uns



Hier ein Beispiel wie Bosch mit seinem Hard- und Software Angebot bereits Lösungen für die vernetzte Fertigung schafft. Bosch hat mit einem intelligenten Schraubsystem, bestehend aus den Handschraubern Nexo und der Software „Process Quality Manager“, ein weiteres Element für die Smart Factory entwickelt. Dieser Funk-Akkuschrauber ist mehr als nur ein

Werkzeug, sondern vielmehr ein umfassendes vernetztes Qualitätssicherungssystem für alle Schraubvorgänge. Dank der integrierten Steuerung können diese Geräte ohne zusätzliche Hardware direkt an übergeordnete Systeme angebunden werden, zum Beispiel in einer Fabrikhalle.

Bosch setzt diese Variante des Nexo Funk-Akkuschraubers mit der Zusatzfunktion „Process Quality Manager“ in seiner Produktion selbst ein. Das zeigt deutlich, dass es in der Zukunft darauf ankommt, dass die Geräte und Tools über einen eigenen Intelligenz verfügen, damit dies mit dem Werker und der Infrastruktur effizient kommunizieren können (z.B.: Werkerführung und Schraubstellenerkennung).



Use Case

- Intelligentes kabelloses Schraubsystem und Software „Process Quality Manager“
- Kommunikation zwischen Schraubsystemen und Datenbank; automatische, konfigurierte Visualisierung (cockpit view)

i4.0-Ansatz

- **Verteilte Intelligenz:**
 - Kabellose Schraubsysteme haben integrierte Steuerung - direkte Verbindung mit IT-Infrastruktur
 - Zentrale Datenverarbeitung von Prozessdaten
 - Fähigkeit des Schraubsystems Entscheidungen zu Schraubprozessen zu treffen

Ergebnisse

- Frühe Erkennung von Prozessrisiken
- Schnellere Reaktor auf Prozessfehler
- Konstante Transparenz der Schraubprozesse

Intelligente Geräte als Wegbereiter für intelligente Prozessdatenanalytik

In der Zukunft werden alle relevanten Informationen in Echtzeit zu Verfügung stehen und somit auch alle Tools die Möglichkeit mitbringen diese Informationen zur Verbesserung der Prozesse zu nutzen. Zum Abschluss noch zwei Zitate.

Wie wichtig ist Industrie 4.0 – Statements



”Durch vernetzte Fertigungsabläufe werden Produktivitätsfortschritte von bis zu 30 Prozent erwartet. Mit Industrie 4.0 können wir auch am Hochkostenstandort Deutschland wettbewerbsfähig sein.
*Dr. Volkmar Denner,
 Vorsitzender der Bosch-Geschäftsführung*



© Foto: CCN / David R. Bismarck

”90 Prozent des Wachstums finden außerhalb von Europa statt. Insofern müssen wir uns spüren und alles dafür tun, dass wir unseren Mehrwert auch wirklich nutzen.
Angela Merkel, Bundeskanzlerin

Literatur:

- [1] Präsentation Industrie 4.0 Bosch external und Präsentation PQM

Anforderung und Auslegung von Elektrokontaktverschraubungen

Dipl.-Ing. (FH) **Andreas Müller**,
Dipl.-Ing. **Bernhard Reck**,
REC Fastening GmbH, Breidenbach

Kurzfassung

Mit zunehmender Elektrifizierung wächst auch die Anzahl der Verschraubungen elektrischer Kontakte. Um eine derartige Verbindung sicher zu gestalten sollten die Parameter Montage-drehmomente, Vorspannkraft und Übergangswiderstand genauer betrachtet bzw. ermittelt werden. Bei einer unzureichend ausgelegten und unsachgemäß montierten Verbindung kommt es zum Ausfall oder zum Versagen der elektrischen Verbindung. Um eine sichere Stromübertragung sicherzustellen sollte die Verbindung so ausgelegt werden, dass der Übergangswiderstand möglichst gering gehalten wird. Dieser ist überwiegend abhängig vom Kontaktdruck, der tatsächlichen Kontaktfläche, thermischen Belastungen und der Kontaktkorrosion.

1. Anforderungen, Hintergrund und Problematik

Die Anforderungen an elektrische Verschraubungen sind die, dass der elektrische Strom ohne vergrößerten Widerstand die Verbindungsstelle passieren kann. Da ein elektrischer Kontakt grundsätzlich aber einen Widerstand darstellt, ist die Frage nach der Größe des Widerstandes und der langfristig betrachteten Veränderung zu stellen. Der Übergangswiderstand setzt sich zusammen aus dem Engewiderstand und dem Fremdschichtwiderstand. Der Engewiderstand entsteht durch die mikroskopische Unebenheit einer Kontaktfläche. Die wirksame Berührungsfläche ist dadurch kleiner und der Stromfluss wird eingeeengt. Der Engewiderstand hängt von dem spezifischen Widerstand des Werkstoffes, den Oberflächenunebenheiten, der Härte bzw. der Festigkeit der Oberfläche sowie der Anzahl von Kontaktflächen insgesamt ab. Maßgeblich ist auch die Kontaktnormalkraft, die auf die Kontaktflächen wirkt. Und hier stellt gerade die Schraubenverbindung eine Besonderheit dar, da diese Kraft zunächst durch die Montage als Montagevorspannkraft eingestellt wird.

Durch Oxidation und ggf. auch durch Korrosion entsteht ein zusätzlicher Effekt, der als Fremdschichtwiderstand bezeichnet wird. Ideal sind in kritischen Anwendungen demnach

veredelte Oberflächen – Gold, Silber, Palladium, Platin ..., die jedoch kostenintensiv sind und in Bezug auf die Schraubenverbindung auch nicht trivial sind. Ein Fremdschichtwiderstand baut sich beim Einschalten von hohen Spannungen nur kurzzeitig auf, da die Fremdschicht beim Schalten durchschlagen wird. (Frittung)

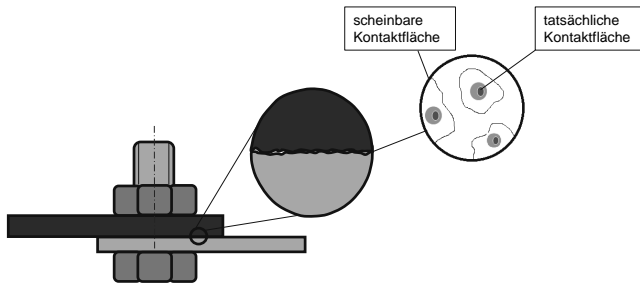


Bild 1: Darstellung der tatsächlichen Kontaktflächen (schematisch)

Im Betrieb kann es dann bedingt durch Oberflächenrauigkeiten in den Kontaktoberflächen zu Setzerscheinungen kommen. Ebenso kann es durch erhöhte Stromdichten zu Erwärmungen der Leiter und damit auch der Kontaktstellen kommen. Die Folgen sind ggf. unterschiedliche Volumendehnungen durch unterschiedliche Längenausdehnungskoeffizienten an der Verbindungsstelle. Das bedeutet, dass sich die für den Übergangswiderstand erforderliche hohe Vorspannkraft ggf. reduziert und damit ein schwankender Übergangswiderstand die Folge ist.

Bei einer optimal ausgelegten Kontaktverschraubung werden bereits im Vorfeld die erforderlichen Klemmkraftzustände berücksichtigt und durch eine optimierte Auslegung und Montage kompensiert.

2. Zusammenhang Vorspannkraft und Montagedrehmoment

Die Vorspannkraft bei Schraubverbindungen ist eine Folge der Montagedrehmomente beziehungsweise der Drehwinkel, die bei der Montage eingeleitet werden. Als Kopplung zwischen dem Drehmoment steht jedoch die Reibung der Schraubelemente. So wird bei der Schraubenverbindung die eingebrachte Torsionsenergie, also das Montagedrehmoment (M_A) in die Terme Gewindereibung (M_{Gewinde}), Auflagenreibung bzw. Kopfreibung (M_{Auflage}) und Vor-

spannkraft (F_v) umgewandelt. Je nach „Schmierzustand“ ist die erreichte Vorspannkraft nur ein Bruchteil der eingeleiteten Torsionsenergie. Wenn also die Vorspannkraft maßgeblich von den Reibungskoeffizienten (Kopfauflage, Gewinde) abhängen, ist dem zur Folge auch der Übergangswiderstand einer Klemmenverbindung direkt davon abhängig.

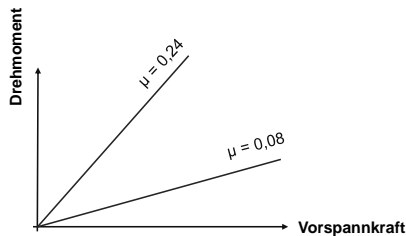


Bild 1 : Zusammenhang zwischen Drehmoment und Vorspannkraft (Reibungskoeffizient μ)

Da in der Vergangenheit die VDE Richtlinien zur Montage von Klemmen i.d. Regel auf die Montagedrehmomente ausgelegt wurden und die tatsächlichen Reibungszustände nur peripher berücksichtigt wurden, konnte in der Vergangenheit nur durch Erfahrung im Umgang mit Schraubklemmen und deren Standardoberflächen eine erfolgreiche Montage erfolgen. Seit der Zeit der Umstellung auf die Chrom VI -freien Überzüge haben sich die Zustände verändert. Waren in der Vergangenheit die Chromatierungen und Passivierungen üblich, so sind es heute z.T. Dickschichtpassivierungen oder sonstige „Top Coats“, die in erster Linie zum Schutz der Oberfläche vor Korrosion entwickelt wurden. Die Bedeutung der Reibung bei Schraubenverbindungen wird zumindest in der Elektro- und Elektronikbranche erst in der jüngsten Vergangenheit wahrgenommen. Zum Teil müssen erst kapitale Schäden die Entwickler an die physikalischen Gesetze der Reibung erinnern.

Ein ebenso erwähnenswertes Phänomen stellen die besagten „Top Coats“ dar wenn Polymeranteile in die Beschichtung integriert sind. Damit verändern sich die Reibungszahlen und der Einwirkung von Last und Drehzahl. D.h. der ursprünglich linear angenommene Reibungskoeffizient bei Schrauben und Muttern ist von den Montageparametern (Drehzahl, Drehmoment, Vorspannkraft) abhängig.

3. Messen von Übergangswiderständen

Unter Anwendung des sogenannten Vier-Leiter Messprinzip hat sich die Messung der Übergangswiderstände in der Praxis etabliert. Es basiert darauf, dass auf die zu messenden Leitungsabschnitte ein hoher Strom gelegt wird – dazu werden zwei Anschlussleitungen benö-

tigt. Mit weiteren zwei Leitern – Fühlerleitungen – wird die Spannung direkt vor und nach der Verbindungsstelle (Klemme) gemessen. Damit lässt sich der Übergangswiderstand in der Verbindung messen, ohne dass die eigentlichen Leitungswiderstände das Messergebnis verfälschen.

Messungen bei REC im Labor haben ergeben, dass das Verfahren bei elektrischen Verbindungen sehr gut anwendbar ist und die funktionalen Zusammenhänge zwischen dem Übergangswiderstand und dem Montagedrehmoment nachgewiesen werden kann. Jedoch sollte auch erwähnt werden, dass das Verfahren auch nicht unkritisch ist, da es bei der hohen Stromstärke zu Erwärmungen der Leitungen kommt was zur Folge hat, dass auch die zu prüfende Verbindungsstelle sich unter der thermischen Einwirkung verändert. Die Reaktion der Wärmeausdehnung kann insbesondere bei großen Unterschieden im Wärmeausdehnungskoeffizient bei den im Verbund stehenden Elementen zu Messfehlern führen. Die Messung sollte daher „impulsartig“ durchgeführt werden, was einen gewissen Geräteaufwand und Erfahrung erfordert.

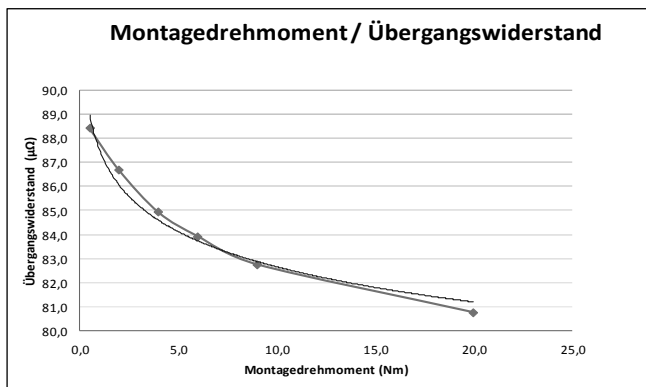


Bild 2: Funktionaler Zusammenhang von Drehmoment und Übergangswiderstand [1]

4. Vorgehen bei einer Auslegung einer Kontaktverschraubung

Häufig wissen die Entwickler nicht wie hoch die erforderliche Klemmkraft zur Aufrechterhaltung der elektrischen Verbindung sein soll. Da es keine direkte Zuordnung der oben beschriebenen Zustände zur erforderlichen Kontakt- (Klemm) kraft gibt.

Damit bietet sich der umgekehrte Weg an und es werden über die Leitungsquerschnitte und die damit verbundenen Klemmengrößen die Schraubengrößen dimensioniert. Mit der

Schraubengröße und der konstruktiven Umgebung lassen sich die erforderlichen Klemmkräfte für die Schraubenverbindung klassisch (VDI 2230) berechnen und auslegen.

Was folgen sollte ist eine Überprüfung der Reibungszahlen bei den realen Bauteilen. Erst bei Kenntnis dieser Reibungszustände kann die angenommene Rechnung validiert werden und ein geeignetes und optimiertes Anziehverfahren entwickelt werden.

Um die tatsächlichen Werkstoffgrenzwerte (z.B. ertragbare Druckspannung der Kontaktflächen) zu messen werden Bauteilversuche bis zur Zerstörung der Verbindung angewendet. Damit lassen sich die elastischen und plastischen Grenzwerte der Verbindung bei bekannten Reibungsverhältnissen ermitteln.

Final werden mit den entwickelten Montageparametern (Drehmoment, Drehwinkel, Drehzahl, Anziehstufen, Rampen, etc.) die Vor-Serien Bauteile montiert und dabei der Übergangswiderstand in der Verschraubung aufgenommen. Je nach Kundenanforderungen werden simultan Labor Temperaturzyklen gefahren und reale Lastfälle in Prototypen durchgeführt, wobei stets nach bestimmten Zyklen die Messung der Übergangswiderstände möglich ist. Thermische und dynamische Einflüsse lassen sich so uneingeschränkt prüfen.

Durch eine abschließend durchgeführte Losbrech- und Weiterdrehmomentprüfung (Nachziehdrehmoment) lassen sich die entstandenen Vorspannkraftverluste quantifizieren.

5. Ausblick

Aufgrund der stetig steigenden Anforderungen an mehr elektrischer Leistung wird speziell bei den Anwendungen der E-Cars deutlich mehr Wert auf die Funktion der Kontaktverschraubung gelegt. Die heute bereits vorhandenen Mess- und Verfahrenstechniken zur Auslegung und Prüfung von derartigen Verbindungen sind zwar bekannt, werden jedoch in vielen Fällen nicht durch Normen oder Vorgaben gefordert. Die „Schraube“ als simples Maschinenelement wird in ihrer Gefahr für die Funktion der Verbindung zum Teil unterschätzt was nicht selten zu wirtschaftlich kapitalen Schäden führt.

Es ist daher sinnvoll und angemessen die Verschraubungsfälle mit elektrischen Kontakten sehr genau zu erforschen und die Auslegung bewusst durchzuführen.

Quellenangaben:

- [1] REC interne Untersuchungen REC R2010/R2015

Vom Molekül zum fertigen Bauteil

Kunststoffe erfolgreich verbinden am Beispiel der Direktverschraubung

B. Eng. **Sebastian Schlegel**, Desoutter GmbH, Maintal

Kurzfassung

Sensibilisierung des Blickes auf das Gesamtsystem „Verbinden von Kunststoffen“ am Beispiel der Kunststoffdirektverschraubung. Beginnend mit der Herstellung und Verarbeitung von Kunststoffen, deren Werkstoffeigenschaften, dem Einfluss der Schraube, der richtigen Wahl der Schraubstrategie und schlussendlich der Montage (Werker und Werkzeug) wird der gesamte Prozess näher betrachtet.

1. Motivation

Die Kunststoffdirektverschraubung hat sich im Bereich der mechanischen Verbindungstechnik bewährt und wird seit mehr als 30 Jahren erfolgreich eingesetzt, die Auslegung ist dank der mittlerweile unüberschaubaren Anzahl an Veröffentlichungen, Richtlinien und Schriften unterschiedlichster Organisationen denkbar einfach. Dennoch finden sich immer wieder dreier- oder mehrrecksige Kernlöcher, Einschraubängen im Bereich $1 \times d$, viel zu hohe Anziehdrehmomente, zerberstende Einschraubdome, Drehzahlvorschriften unabhängig des eingesetzten Werkstoffes, unzugängliche Schraubstellen, falsche Erwartungen an die Höhe und Haltbarkeit der Vorspann- und Restklemmkraft, schlecht eingerichtete Arbeitsplätze, Bauteilver sagen unter Lastangriff, etc. pp. Die Frage sei an dieser Stelle erlaubt, weshalb sich Fehler bei dieser scheinbar einfachen Technik häufen und wie man dem begegnen kann.

2. Einleitung

Die erreichbaren Werkstoffeigenschaften von Kunststoffen sind extrem abhängig vom anschließenden Verarbeitungsverfahren wie kaum ein anderes Material. Im Vergleich zur Metallverschraubung entsteht die Vorspannkraft bei Thermoplasten im Wesentlichen nicht durch die Längung der Schraube sondern durch die Deformation des Kunststoffes. Das bedeutet: Es ist sicherlich sinnvoll, sich mit Verarbeitung, Konstruktionsvorgaben und den Eigenschaften des zu verschraubenden Materials anzuverwandeln. Elastomere werden in diesem Beitrag nicht behandelt, Duroplaste nur am Rande. Nachdem die Verschraubung an sich ebenfalls zu den Verarbeitungsverfahren von Kunststoffen zählt, lohnt auch der Blick auf die Auswahl des Montageverfahrens.

3. Grundlegendes Vorab: Einflüsse auf den Wunschparameter Vorspannkraft

Im Fokus der Verschraubung steht einerseits die erreichbare Vorspannkraft bzw. die Klemmkraft, andererseits die Aufrechterhaltung der höchstmöglichen Restklemmkraft, bestenfalls über die gesamte Lebensdauer. Das impliziert natürlich, dass sich die Schraube nach Möglichkeit nicht selbst lockert und schlimmstenfalls losdreht. Die Herstellung der Verbindung an sich ist nach heutigem Stand der Technik unkritisch. Dennoch gilt zu beachten, dass die Montage alleine nicht der maßgebende Faktor ist. Nachfolgend einige Beispiele unterschiedlicher Einflüsse auf die Zielgröße Vorspannkraft:

Das viskoelastische Verhalten thermoplastischer Kunststoffe erfordert im Vergleich zur Metallverschraubung ein Umdenken die Höhe der zu wählenden Vorspannkraft und die resultierende Restklemmkraft betreffend (Vorspannkraftverlust bedingt durch Retardation und Relaxation). „So hoch als möglich“ kann durchaus mit „kurz oberhalb der Kopfauflage“ gleichgesetzt werden. Die Faustformel „Anziehdrehmoment = Überdrehmoment multipliziert mit 0,7...0,8“ bedeutet in diesem Kontext gegebenenfalls ein sehr schnelles Versagen der Verbindung, mindestens jedoch einen sehr schnellen Abfall der Klemmkraft innerhalb weniger Minuten.

Die Auslegung der Verbindungsstellen am Bauteil (Einschraubdomes) erfolgt in der Regel nach Vorgaben der Schraubenhersteller, internen Werknormen oder dem bereits angesprochenen Schriftsätzen. Die Validierung wird vielerorts an einem Prüfkörper oder einem Bauteil der Vorserie durchgeführt. Wie bereits erwähnt, haben unterschiedliche Verarbeitungsverfahren

ren immensen Einfluss auf die erzielbaren Werkstoffeigenschaften. So unterscheidet sich beispielsweise der Einschraubkanal eines im ungekühlten Aludruckgusswerkzeuges hergestellten Prototyps deutlich vom Serienteil in puncto Anbindung, Bindenahtfestigkeit, Fasergehalt und -verteilung. Der Unterschied im Schraubergebnis Prototyp zu Serienteil ist nahelegend, die Fehlerbehebung in diesem Fall durch eine Werkzeugänderung oftmals sehr kostenintensiv. Stichwort Bindenaht als Todfeind der Verschraubung: Sie lassen sich nicht vermeiden, möchte man die Konstruktionsvielfalt und –freiheit der Kunststoffe vollständig nutzen. Die Konstruktion muss dann für die ausreichende Festigkeit dieser „Sollbruchstelle“ sorgen. Das beginnt bereits bei der richtigen Wahl des Anspritzpunktes und der Form des Angusses.

Einen wesentlichen Einfluss auf die Verbindung stellt die Fertigungsumgebung dar. In Konkurrenz zur Taktzeit stehen beispielsweise niedrige Drehzahlen und mehrstufige Schraubverfahren. Weiterhin muss im Fertigungsablauf deutlich unterschieden werden, an welcher Stelle die Montage platziert wird: Die Auslegung eines konditionierten hydrophilen Kunststoffes setzt einen bestimmten Feuchtegrad voraus um die Dehnung des Domes zu ermöglichen. Eine spritzfrische Verschraubung sollte in diesem Fall ausgeschlossen werden.

4. Perfektes Zusammenspiel: Werker, Schraube, Bauteil und Schrauber

Ein erfolgreiches Bauteil besteht aus dem richtigen Zusammenspiel von durchdachter Konstruktion, sorgfältiger Werkstoffauswahl und geeignetem Herstellverfahren. Daher steht die Verbindungstechnik von Kunststoffen in enger Beziehung zur gesamten Produktentwicklung. Alle notwendigen Prozessschritte müssen den Einsatzbedingungen nach bereits in der Entwurfsphase auf die Werkstoffeigenschaften die Formgebung und die Montage abgestimmt werden [1]. Im Bereich der Formgebung und Montage müssen die Konstruktionsvorgaben allerdings auch umgesetzt werden können. Schraubstellen sollen einfach zugänglich sein, Werker sollten keine unnötigen Bewegungsabläufe ausführen müssen was zur Demotivation der Mitarbeiter und somit zu schlechteren Schraubergebnissen führen kann. Schraubengewinde zur Kunststoffdirektverschraubung sind in der Regel so geformt, dass genügend Kunststoff im gefurchten Mutterngewinde verbleibt um die entsprechende Verankerungsfestigkeit zu gewährleisten. Die Einstellung der Drehzahl und des Schraubzyklus ist hierbei mindestens auf die thermischen und mechanischen Eigenschaften des gewählten Kunststoffes abgestimmt. Bauteile sollen werkstoffgerecht konstruiert sein um gleichbleibende

Schraubergebnisse an allen Domen des Formteils zu gewährleisten. Die Monteure sollen über ein solides Verständnis der Schraubtechnik verfügen und die Werkzeuge beherrschen. Die Schraubanlagen müssen den Mindestanforderungen der Verbindung nach ausgelegt sein, etc. Zusammenfassend lässt sich in diesem Zusammenhang sicherlich sagen, dass das erfolgreiche Verbinden von Kunststoffen ein solides Grundverständnis aller am Prozess beteiligten Schritte voraussetzt und die Einzelbetrachtung von beispielsweise nur einer Schraube oder der Schraubanlage nicht immer zum gewünschten Ergebnis führt.

5. Sicher verschrauben: Werkzeugauswahl und Arbeitsplatzgestaltung

Prozesssicheres Verschrauben ist grundsätzlich an die Reproduzierbarkeit der Schraubergebnisse und die Präzision der Schrauber gekoppelt. Dies setzt eine geeignete Wahl des Werkzeuges und des Montageplatzes voraus.

Die Auswahl der Schraubanlage richtet sich in erster Linie nach den Anforderungen der Verbindung. Sprich: Unter Berücksichtigung der Frage „Was passiert, wenn die Schraubverbindung versagt?“ sollte jeder Schraubfall einer Gefährdungsbeurteilung nach eingeteilt werden. Beispielsweise Schraubfallklassifizierung nach VDI 2862 in A, B oder C. Zur Entscheidungsfindung ist die FMEA sicherlich ein hilfreiches Werkzeug. Zu unterscheiden ist zusätzlich der Grad der Automatisierung vom manuellen Anzug bis hin zur vollautomatisierten Mehrspindelanlage. Bei der Direktverschraubung werden die thermischen Eigenschaften thermoplastischer Kunststoffe genutzt, um das Mutterngewinde spannungsarm und Riss frei auszuformen. Von der Handverschraubung ist aus Gründen der nicht kontinuierlichen und viel zu niedrigen Drehzahl daher eher abzuraten. Je nach Schraubfallklasse und Anzugform müssen die Werkzeuge in der Lage sein, Kontroll- und/ oder Steuergrößen direkt oder indirekt zu messen. Je höher die Schraubfallklasse und der Automatisierungsgrad, desto höher sind auch die Anforderungen an das eingesetzte Werkzeug und die Dokumentationsfähigkeit. Nach DSV RL 2241-1 soll das Anziehdrehmoment aus niedriger Drehzahl angefahren werden um ein Überschießen zu vermeiden. Infolge der niedrigen Festigkeit und der Temperaturempfindlichkeit vieler Kunststoffe spielt die Abschaltgenauigkeit und die Größe des gewählten Werkzeuges zusätzlich eine große Rolle.

In diesem Zusammenhang darf der Werker nicht unberücksichtigt bleiben. Der Arbeitgeber muss grundsätzlich eine Gefährdungsbeurteilung der Arbeitsplätze durchführen. Bei Handarbeitsplätzen bedeutet das automatisch auch die Beurteilung der eingesetzten Werkzeuge

hinsichtlich ausgehendem Gefährdungspotential für die Gesundheit der Mitarbeiter. Neben der Voraussetzung in die Werkzeugtechnik unterwiesener Werker müssen Arbeitsplätze immer nach ergonomischen Grundlagen betrachtet werden. So sind beispielsweise Reaktionsmomente ab einer bestimmten Höhe in Abhängigkeit der eingesetzten Werkzeugform bei handgehaltenen Schraubern durch geeignete mechanische Hilfsmittel so abzufangen, dass die Gesundheit des Werkers langfristig nicht gefährdet wird. Nach DIN EN ISO 11148-6 beispielsweise liegt der absolut einmalige Grenzwert für handgehaltene nicht elektrisch betriebene Maschinen in gerader Bauform bei 4 Nm. Die Dauerbelastung soll 3 Nm nicht überschreiten. 3 Nm hören sich nicht nach einer hohen Belastung für den einzelnen Mitarbeiter an. Bedenkt man dabei, dass Monteure stellenweise 8 Stunden täglich verschrauben und gegebenenfalls noch komplexe Bewegungsabläufe zur Erreichung der Schraubstelle ausführen müssen, relativiert sich diese Aussage.

Ein sicherer Arbeitsplatz ist somit an die Anforderungen der Verbindung und – bei Handarbeitsplätzen – immer an die Bedürfnisse der Mitarbeitergesundheit gebunden.

6. Neues aus Forschung und Entwicklung

Zahlreiche Veröffentlichungen und Dissertationen lassen vermuten, dass die Direktverschraubung von Kunststoffen hinreichend erforscht ist. Durch die ständig wachsenden Anforderungen an die Schraubtechnik, Nutzung des Leichtbaupotentials, die sogenannte Renaissance duromerer Werkstoffe und stellenweise veralteter aber immer noch gängiger Schriften zeigen jedoch, dass die Entwicklung im Bereich der Kunststoffdirektverschraubung noch nicht ausgereizt ist. So wird derzeit beispielsweise der Vorspannkraftverlust beim Verschrauben von Duroplasten genauer untersucht. Ein weiteres Hochschulprojekt befasst sich mit Langzeituntersuchungen thermoplastischer Werkstoffe und der Analyse bestehender Vorgaben. Aber auch die Kombination unterschiedlicher Verbindungssysteme (Schraube und eine Art Blindnietmutter aus Kunststoff) steht im Fokus einer Forschungseinrichtung. Als kleiner Anreiz sei Ihnen mit auf den Weg gegeben: Bayer beschreibt unter Einbeziehung des Schraubendurchmessers keine Drehzahlen sondern die Umfangsgeschwindigkeit zwischen 2 und 6 m/s, was hinsichtlich der üblichen Empfehlung 500 U/min ohne Berücksichtigung des Schraubendurchmessers plausibel scheint. Wer möchte es im Rahmen einer Parameterstudie prüfen?

7. Fazit

Wie eingangs erwähnt: Die Kunststoffdirektverschraubung ist ein gängiges Verfahren zum adaptiven Verbinden von Formteilen aus Kunststoff. Der zu klemmende Fügepartner darf selbstverständlich auch ein anderer Werkstoff sein. Die praktische Erfahrung zeigt jedoch, dass dieser Technik nicht immer die notwendige Aufmerksamkeit gewidmet wird. Konstruktion und Entwicklung stehen sicherlich anderen Herausforderungen gegenüber und nicht jedes Unternehmen kann sich eigene Schraubexperten unterhalten. Dennoch lohnt ein Blick auf den gesamten Prozess und über die VDI 2230 hinaus. Dabei ist es nicht zwingend nötig, jedes Detail der Schraubtechnik zu kennen. Wichtig ist „lediglich“, die internen und/ oder externen Schraubexperten zu kennen und sie rechtzeitig in die Entwicklung einzubeziehen.

Literatur:

[1] Tome, Axel (2000): Vorspannkraftrelaxation von Kunststoff-Direktverschraubungen, Dissertation Lehrstuhl für Kunststofftechnik (LKT), Nürnberg-Erlangen

Drahtschmidt, Frank (1999): Zur Verbindungstechnik von glasfaserverstärktem Polyamid, Dissertation, Erlangen: Lehrstuhl für Kunststofftechnik

Ehrenstein, Gottfried (Hrsg.): Handbuch Kunststoff-Verbindungstechnik, München, Wien: Hanser, 2004

Folz, Eric (2013): TechReport, Verbinden von Kunststoffen: Kunststoffdirektverschraubung, Celanese GmbH, Sulzbach

Kies, Torsten (2014): 10 Grundregeln zur Konstruktion von Kunststoffprodukten, München: Hanser

O.V. (2013): ARNOLD UMFORMTECHNIK GmbH & Co.KG (Hrsg.), Fast Designer PLASTICS, Forchtenberg

O.V. (2007): BASF (Hrsg.): Technische Information, Verzugverhalten von faserverstärkten Spritzgussteilen, Friedrichshafen

O.V. (2007): ICS Handbuch, Industrielle Schraubmontage, Deutscher Schraubenverband e.V. (Hrsg.), Iserlohn: Mönning

Onasch, Jürgen (1982): Zum Verschrauben von Bauteilen aus Polymerwerkstoffen mit gewindeformenden Metallschrauben, Dissertation Institut für Werkstofftechnik, Kassel

Reck, Bernhard (2013): Kunststoffdirektverschraubungen betrachtet im Hinblick auf den Vorspannkraftabbau bei Thermoplastischen Kunststoffen, JOINING PLASTICS – FÜGEN VON KUNSTSTOFFEN, Heft 3, 2013, S. 104–107

Tome, Axel (2000): Vorspannkraftrelaxation von Kunststoff-Direktverschraubungen, Dissertation Lehrstuhl für Kunststofftechnik (LKT), Nürnberg-Erlangen

Trinter, Frank (1991): Zur Festigkeit von Schraubverbindungen an Bauteilen aus SMC, Dissertation Institut für Werkstofftechnik, Kassel

Schlegel, Sebastian (2014): ARNOLD UMFORMTECHNIK GmbH & Co.KG (intern), Leitfaden zur Kunststoffdirektverschraubung, Forchtenberg

Yao, Yuan (2011): Polymerwerkstoff-Direktverschraubung: Einsatz von Experiment und Simulation zur Analyse des Vorspannkraftverlaufs, Dissertation Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik, Kaiserslautern

Montagesensitivität und Übertragungsverhalten von Mehrschraubenverbindungen mit VDI-Richtlinie 2230 Blatt 1 und Blatt 2 rechnerisch vorhersagen und experimentell verifizieren

Christopher Dümpelmann M.Sc., Dino Guggolz M.Sc.,
Prof. Dr.-Ing. **Christoph Friedrich**, Universität Siegen, MVP, Siegen

Kurzfassung

Das Verhalten von querbeanspruchten Mehrschraubenverbindungen ist abhängig von der bestehenden Geometrie und den eingeleiteten Belastungen bzw. den vorherrschenden Vorspannkraften im Schraubenfeld. Ein wichtiger Einflussfaktor für das Bauteilverhalten ist der meist virtuelle Systemdrehpunkt, der sich unter Querkraft- und Momentenbelastung einstellt. Diese Einflussgröße wird auf verschiedene Arten (analytisch, numerisch und experimentell) bestimmt. Die rechnerischen Ergebnisse werden unter den Aspekten der Vorspannkraftstreuung betrachtet sowie hinsichtlich der Übereinstimmung mit den im Experiment ermittelten Werten verglichen. Das Experiment verifiziert die Rechnungen mit Hilfe der Versuchskonfiguration „**Monitoring of Structural Health and Self-loosening**“ (MoHaS). In einem weiteren Versuch wird das Strukturmonitoring mittels Messung von Schraubenkräften vorgestellt; dadurch wird der verschiebungsinduzierte Effekt des selbsttätigen Losdrehens veranschaulicht. An verschiedenen Stellen des Beitrags wird deutlich, wie sich die zulässige Montagetoleranz auswirkt.

1. Einleitung

Um das Verhalten von querbeanspruchten Mehrschraubenverbindungen zu beurteilen, ist die Kenntnis des Systemdrehpunktes relevant. Durch ihn wird bestimmt, welche Schrauben welche lokalen Kraftanteile übertragen müssen. Der Schädigungsmechanismus des Losdrehens bzw. des Biegedauerbruchs steht bei Querbeanspruchung im Vordergrund. [1,2] Eine abstrahierte Versuchsanordnung eines Bauteilsystems mit mehreren Schrauben im Kraftfluss führt auf die Versuchskonfiguration „**Monitoring of Structural Health and Self-loosening**“ (MoHaS), bei der die Trennfugenreibung bewusst niedrig gehalten wurde, um große Verschiebungen und damit genaue Aussagen zum Drehpunkt bei Belastung zu erhalten. Dieser Aufbau wird rechnerisch (numerisch und analytisch) sowie experimentell untersucht, um eine Aussage über das Last-Verformungsverhalten in Abhängigkeit von der Vorspannkraftverteilung zu erhalten, was auch die Schraubenzusatzkräfte beeinflusst. Dies ist wichtig,

um die verwendeten Berechnungen zu validieren und entsprechend zukünftig Optimierungen an der Simulation durchzuführen. Um die Schadensgefahr einer mechanischen Struktur in der Praxis zu verdeutlichen, wird ein vollständiges Losdrehen dieser Mehrschraubenverbindung gezeigt.

2. Versuchskonfiguration

Die bei MVP¹ aufgebaute Versuchskonfiguration MoHaS vereinigt unterschiedliche Zielsetzungen und ermöglicht es, sowohl das Übertragungsverhalten, als auch das Losdrehverhalten von Schraubenverbindungen in einer standardisierten Mehrschraubenverbindung zu untersuchen. Aus diesem Grund ist der in Bild 1 gezeigte Aufbau in verschiedenen Ebenen ausgeführt.

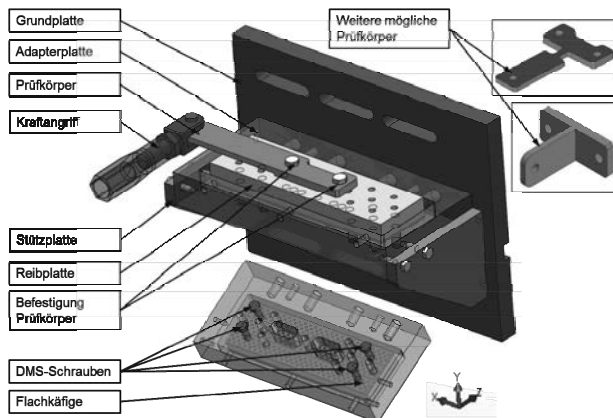


Bild 1: Gesamtansicht des Prüfstands mit Spiegelansicht der Adapterplatte sowie optionalen Prüfkörpern für verschiedene Lastenleitungen

Die angesprochenen Ebenen sind die zwei Trennfugen in der XZ-Ebene. Die oberste Platte – der Prüfkörper – hier grün abgebildet, stellt den Krafteinleitungspunkt bereit. Aufgrund der M10 Zweischraubenverbindung ist es möglich, an dieser Stelle verschiedene Lastenleitungen zu realisieren (siehe Bild 1 oben rechts). Der in der Abbildung montierte Prüfkörper wird in den folgenden Untersuchungen verwendet; er erzeugt ein Drehmoment um die Y-Achse des Prüfstandes sowie eine Querkraft in der XZ-Ebene. Die Anordnung der Befestigung für

¹ MVP = Lehrstuhl für Maschinenelemente, Verbindungstechnik und Produktinnovation

den Prüfkörper bietet ebenfalls Möglichkeiten zur Untersuchung des Losdrehverhaltens von Zweischraubenverbindungen (silberne Schrauben) [3].

Die darunter liegende Platte (hier gelb dargestellt, nachfolgend Reibplatte genannt) bildet den ersten Teil der in diesem Beitrag untersuchten Verbindung und stellt die M10 Einschraubgewinde bereit. Durch das Lochbild sind für beide Untersuchungen variable Schraubenpositionen möglich.

Um den Einfluss der Reibung zu minimieren, werden in der zweiten Ebene Flachkäfige eingesetzt; dabei handelt es sich um Wälzlagerkugeln, die in der Ebene mit Hilfe eines Aluminiumstreifens als Käfig geführt werden. Der Reibungseinfluss wird minimiert, um möglichst singuläre Einflüsse mit der Versuchskonfiguration abbilden zu können. So kann vorrangig davon ausgegangen werden, dass die Biegesteifigkeiten der Schrauben als Gegenkraft zu der von außen auf das System einwirkenden Belastung wirkt, solange der Haftschluss unter dem Schraubenkopf kein Gleiten zulässt.

Die Adapterplatte, hier orange abgebildet, dient als Aufnahme des Flachkäfigs sowie der Reibplatte. Sie ist von unten mit dem gleichen Bohrbild wie in der Reibplatte versehen, siehe auch die spiegelbildliche Darstellung im unteren Teil von Bild 1. Die blau abgebildete Grundplatte wird mit dem Winkel des Prüffelds verschraubt.

Das Messen der Vorspannkraft erfolgt mittels Viertelbrücken-DMS-Schrauben. Hierbei wird in den Bereich der weitgehend homogenen Beanspruchung des Schafts ein Dehnmessstreifen (DMS) eingeklebt, der durch vorherige Kalibrierung auf Zug die Montagevorspannkraft mit einer absoluten Abweichung von <3% erfassen kann [4]. Die verwendete Sechskantschraube wurde gemäß DIN EN ISO 4014 [5] M10 x 50 – 10.9 ausgewählt. Die Schrauben werden mit einer Vorspannkraft von 29,6 kN vorspannkraftgesteuert montiert, was einer 90%-igen Ausnutzung bei Festigkeitsklasse 8.8 und $\mu_K = \mu_G = 0,12$ nach VDI 2230 Bl.1 [6] entspricht. Die Diskrepanz zwischen Schraubenfestigkeit 10.9 und Montagevorspannkraft für 8.8 wurde bewusst gewählt, um Versuche mit Überlast ohne Schraubenschädigung (Messschrauben mit DMS) durchführen zu können und kein Risiko durch die Tragfähigkeitsminderung aufgrund der DMS-Bohrung von ca. 6% einzugehen. Die Dehngrenze des DMS wird im vorliegenden Fall nicht erreicht.

3. Rechnerische Vorhersage

Zur Berechnung des Drehpunkts wird das vorliegende System aus Bild 2 nach einfachen statischen Gleichgewichtsbetrachtungen berechnet. Die Betriebslast F wird über das Kräftepaar U_1 und U_2 in das Schraubenfeld eingeleitet. Aus Symmetriegründen wird unter vorlie-

genden geometrischen Verhältnissen wiederum angenommen, dass die Querkkräfte $F_{QS1/2}$ auf Höhe der Schrauben S_1 und S_2 sowie $F_{QS3/4}$ auf Höhe von S_3 und S_4 identisch sind.

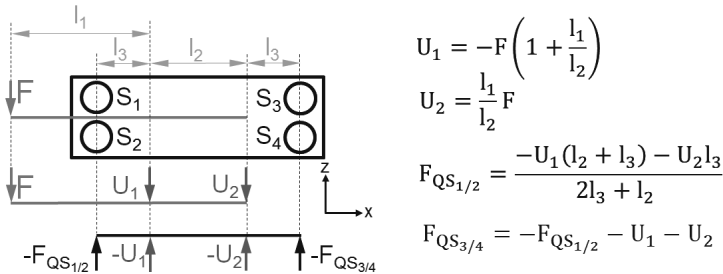


Bild 2: Schematische Darstellung der Schraubenpositionen (S_1 , S_2 , S_3 und S_4) und Kräfte (F , U_1 , U_2 , $F_{QS1/2}$ und $F_{QS3/4}$) zur Berechnung der Schraubenquerkräfte F_{QS} in der XY-Ebene (Draufsicht); U_1 und U_2 sind Schnittkräfte zwischen dem Krafteinleitungshebel und der Schraubenplatte

Somit sind die zu übertragenden Querkkräfte unter der Annahme, dass die Köpfe nicht abgleiten, bekannt. Nimmt man wiederum vereinfachend an, dass das Querkraft-Verformungsverhalten der Struktur linear ist, kann aus der Gewichtung der Kräfte der Drehpunkt des Bauteilsystems mit den Schrauben berechnet werden. Um die Vorspannkraftvariation durch z.B. Montageeinflüsse abzubilden, wird jeweils der durch die Trennfuge übertragene Reibkraftanteil von den Querkkräften abgezogen. Dieser wurde für das Käfiglager mit $\mu_T = 0,01$ und den wirkenden Vorspannkräften berechnet. Die Berechnung erfolgt über das einfache Reibgesetz nach Coulomb.

Die Simulationen wurden für das Pre- und Postprocessing mit den Simulationsprogrammen von Hyperworks bearbeitet, als Solver wurde Abaqus 6.11 eingesetzt. Der komplette Prüfaufbau wurde in der FEM modelliert, wobei die Schraubenverbindung detailliert betrachtet wird. Das Modell umfasst eine Elementanzahl von etwa 770.000 Elementen bei ca. 410.000 Knoten (vorrangig Hexaeder-Elemente). Die durch den Prüfaufbau vorgegebenen Randbedingungen wurden vereinfacht dargestellt. Die eigentlich untersuchten Schraubenverbindungen im Kraftfluss umfassen die vier roten Schrauben in Bild 1. Da in diesen Berechnungen das grundlegende Verhalten analysiert wird, wurde bis auf die Schrauben ein lineares Materialverhalten gewählt.

Die Modellierung der Schraube erfolgte mit zwei Methoden entsprechend der Modellklassen II und IV aus der Richtlinie VDI 2230 Blatt 2 [1], vgl. Bild 3.

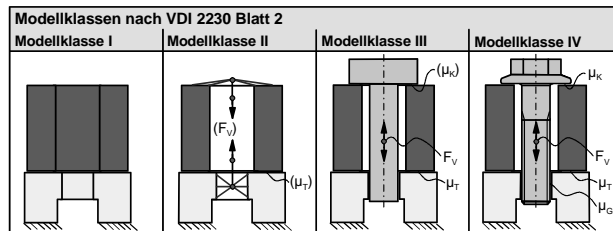


Bild 3: Modellklassen für die numerische Modellierung nach VDI 2230 [7]

In Abhängigkeit der verschiedenen Modellklassen I bis IV können entsprechende Gleitvorgänge abgebildet werden (Klasse III und IV). Der Aufwand in der Modellierung sowie in der Berechnungszeit ist sehr unterschiedlich. Durch die gestiegenen Rechenleistungen der Hardware und durch die Weiterentwicklung von Software und Auswertung [8] ist jedoch heute eine Anwendung der höheren Modellklassen i.d.R. kein Problem. Die hohe Relevanz der Bauteilverbindung für das Funktionsverhalten der gesamten mechanischen Struktur ist zu bedenken - ein optimiertes Leichtbauteil kann ohne adäquate Befestigung nicht richtig genutzt werden.

Trotzdem wurde hier bewusst die niedrige Modellklasse II betrachtet. Die Ersatzquerschnittsfläche der Schraube für das 1D-Element wurde nach der VDI-Richtlinie berechnet [1]. Dabei wurde der Stab in zwei Bereiche unterteilt; zum einen in den Bereich, der durch die Klemmlänge definiert ist, zum anderen in den Bereich des eingeschraubten Gewindes. Im Bereich des Gewindes wurde der Flankendurchmesser als Querschnitt definiert. Der Befestigungspunkt zum Muttergewindebauteil liegt ohne Rotationsfreiheitsgrad in der Mitte des eingeschraubten Gewindes.

Auf das System wurde eine sinusförmige Belastung von ± 3 kN in Z-Richtung aufgebracht. In der Simulation konnte kein Kopfgleiten festgestellt werden (Modellklasse IV), obwohl frei verschiebbare Kontaktbedingungen modelliert sind. Somit kann von einem Haftschluss für die weiteren Untersuchungen unter diesen Randbedingungen ausgegangen werden.

4. Ergebnisse

Auf den folgenden Seiten werden die Ergebnisse der Berechnungen und Experimente gezeigt. Hierzu sind drei Varianten A, B, C herausgegriffen, bei denen die Vorspannkraft systematisch variiert wurde, vgl. Tabelle 1.

Tabelle 1: Definition der Vorspannkkräfte F_V bei den Untersuchungsvarianten A, B, C

| | Schraube S1 | Schraube S2 | Schraube S3 | Schraube S4 |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Variante A | 29,6 kN | 29,6 kN | 29,6 kN | 29,6 kN |
| Variante B | 19,6 kN | 19,6 kN | 29,6 kN | 29,6 kN |
| Variante C | 29,6 kN | 29,6 kN | 19,6 kN | 19,6 kN |

Um den Einfluss der Vorspannkraftstreuung durch die Montage zu zeigen, werden bei der Variante A alle Schrauben mit der gleichen Vorspannkraft beaufschlagt (29,6 kN; entspricht (Mindest-)Vorspannkraft nach VDI 2230-1 für M10 - 8.8, $\mu_K = \mu_G = 0,12$). Bei Variante B und C wurden hingegen gezielt geringere Vorspannkkräfte erzeugt (19,6 kN), um den immer wieder auftretenden Fall einer Vorspannkraftrelaxation (besonders im Leichtbau verbreitet) oder einer Fehlmontage abzubilden. Diese Vorspannkraftdifferenz von 10 kN entspricht auch der üblichen Toleranz, die durch Montage mittels eines Drehmomentschlüssels ($\alpha_A \approx 1,5$) entsteht [6]; bei richtiger Montage sollte die Vorspannkraftstreuung allerdings zu höheren Vorspannkkräften führen. Die Ergebnisse der drei Varianten (siehe Bilder 4-6) zeigen im oberen Bereich a) das Ergebnis der FEM-Simulation, bei der die Schrauben mit 3D-Elementen modelliert wurden (Modellklasse IV nach VDI 2230-2). Der farbliche Verlauf gibt die absolute Verschiebung an. Die erkennbaren farblichen Kreisringabschnitte markieren, dass es sich um eine Bauteildrehung mit rechnerischen Drehpunkt handelt (weitgehend Starrkörperdrehung). Diese ist zur Vergleichbarkeit über alle Varianten gleich skaliert. Des Weiteren wird die Position des Drehpunktes auf einer von der ersten Schraubenreihe ausgehenden Achse abgebildet. Bei den folgenden Betrachtungen werden die experimentell ermittelten Ergebnisse der jeweiligen Variante als Referenz verwendet. In der unteren Hälfte der Bilder b) sind die Wege in Querrichtung (Z-Richtung) dargestellt, die die Reibplatte relativ zur Ausgangsposition zurücklegt.

In Variante A ist der ideale Montagefall dargestellt, Bild 4 zeigt die Ergebnisse. Bei Betrachtung der Berechnungsergebnisse der Drehpunktbestimmung (Bild 4, a)), zeigt sich, dass die Ergebnisse gut übereinstimmen. Die Modellierung mit 1D-Elementen (Modellklasse II) liefert plausible Ergebnisse – dies weist darauf hin, dass auch eine 1D-Modellierung die Starrkörpereigenschaften gut erfasst. Die Modellierung mit 3D-Elementen liegt etwas näher am Ergebnis der experimentellen Verifizierung und könnte noch weiter optimiert werden. Die im vorangegangenen Abschnitt beschriebene Analytik liefert ein Ergebnis, welches zwischen denen der beiden Simulationen liegt.

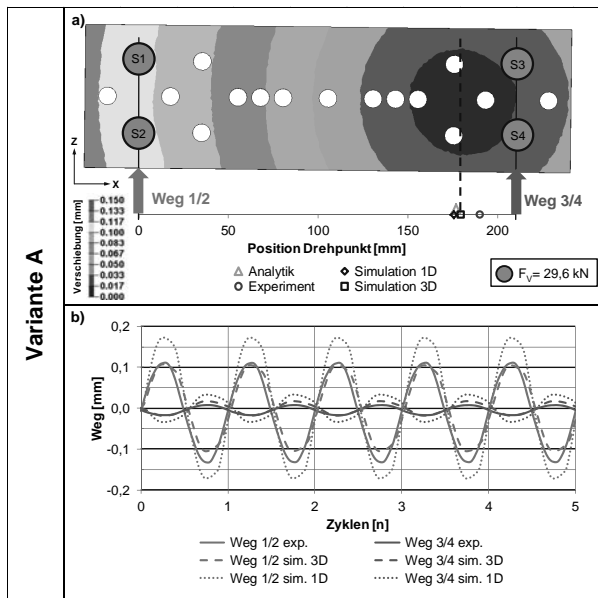


Bild 4: Variante A Schraubenvorspannkraft $F_V = 29,6 \text{ kN}$ bei allen vier Schrauben gleich groß, oben: Farbdarstellung des ermittelten rechnerischen Drehpunkts (Modellierung mit Modellklasse IV) sowie Ergebnisse für die Ermittlung mit vier verschiedenen Methoden (Analytik, 1D-Elemente (Modellklasse II), 3D-Elemente (Modellklasse IV) und experimentelle Verifizierung); unten: Zeitverlauf der berechneten Einzelverschiebungen für 1D- und 3D-Elemente im Modell sowie die experimentellen Ergebnisse

Die Auswertung in Bildteil b) bestätigt die Erwartungen einer deutlich höhere Querverschiebung bei den Schrauben S1 und S2, da diese näher an der Krafteinleitungsstelle positioniert sind. Weiterhin ist ersichtlich, dass die Modellierung mit 1D-Elementen aufgrund von zu geringer Biegesteifigkeit die auftretenden Wege deutlich überschätzt. Vor allem wird dies bei dem Weg 1/2 deutlich. Der Abstand der Kurven zueinander ist bei den Wegen 3/4 geringer. Die zurückgelegten Wege der Platten bei Verwendung der Modellklasse IV stimmen an dieser Stelle gut mit dem Experiment überein. Eine Rotation des Schraubenkopfes konnte im Experiment wie auch in der Simulation nicht erkannt werden. Ebenso ist der Anstieg der Kurven nahezu gleich; dies lässt auf eine entsprechend gleiche Steifigkeit des Systems schließen. Bei erneuter Betrachtung der Modellierung nach Klasse II, liegt diese ähnlich nahe am

realen Drehpunkt aus Bild 4 a). Die Querverschiebungen (Bild 4 b)) zeigen jedoch deutliche Unterschiede. Die Kurven steigen steiler an, die Nachgiebigkeit ist höher und somit auch die maximal erreichten Verschiebungen.

Der angesprochene Einfluss der Vorspannkraftstreuung wird mit den folgenden Ergebnissen verdeutlicht. Bei Variante B (Bild 5) wurde die Vorspannkraft (entsprechend α_A) bei den Schrauben S1 und S2 gemindert. Es zeigt sich bei globaler Betrachtung ein geringer Versatz des rechnerischen Drehpunkts hin zu den Schrauben S3 und S4, siehe Bild 5 a). Weiterhin fällt auf, dass sich das Streuband der Ergebnisse verbreitert hat. Das Ergebnis der Analytik sowie die Ergebnisse der Simulation mit 3D-Elementen stimmen weiterhin gut überein. Der Unterschied zum Ergebnis des Experiments hat sich jedoch vergrößert; der Grund ist die nicht konstante Trennfugenreibung im Experiment.

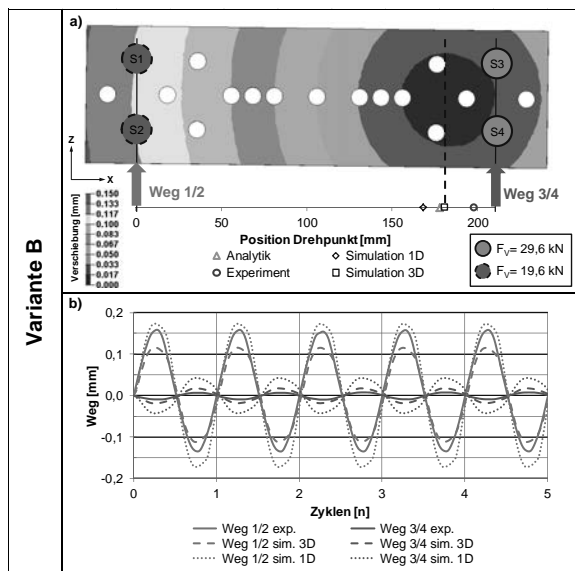


Bild 5: Variante B Schraubenvorspannkraft der Schrauben S1 und S2 auf 19,6 kN gemindert, oben: Farbdarstellung des ermittelten rechnerischen Drehpunkts (Modellierung mit Modellklasse IV) sowie Ergebnisse für die Ermittlung mit vier verschiedenen Methoden (Analytik, 1D-Elemente (Modellklasse II), 3D-Elemente (Modellklasse IV) und experimentelle Verifizierung); unten: Zeitverlauf der berechneten Einzerver-schiebungen für 1D- und 3D-Elemente im Modell sowie die experimentellen Ergebnisse

Die Ergebnisse der Verschiebungen zeigen größere Differenzen. Die Abweichungen zum Experiment haben sich vergrößert, wobei eine Tendenz zur Überlagerung der Simulationsergebnisse zu erkennen ist. Wie zu erwarten haben sich die Wegamplituden vergrößert. Das System weist eine erhöhte Nachgiebigkeit auf.

Die numerischen Berechnungen zeigen im Vergleich zur vorhergehenden Variante A ebenfalls größere Abweichung in der Position des Drehpunktes. Die Differenz der Verschiebungen zwischen Experiment und Ergebnis nach Simulation mit dem 1D-Element haben sich an der zweiten Schraubenreihe vergrößert.

Bei Variante C (Bild 6) wurde die Vorspannkraft (entsprechend α_A) bei den Schrauben S3 und S4 gemindert. Die Schrauben S1 und S2 haben wieder den ursprünglichen Wert (29,6 kN). Der Drehpunkt verschiebt sich in Richtung Schraube S1 und S2. Ebenso sind die ermittelten Ergebnisse wieder konzentrierter. Die Analytik und die Simulation nach Modellklasse IV liegen wieder nahe zusammen. In dieser Variante zeigt die Simulation nach Klasse II die besten Ergebnisse.

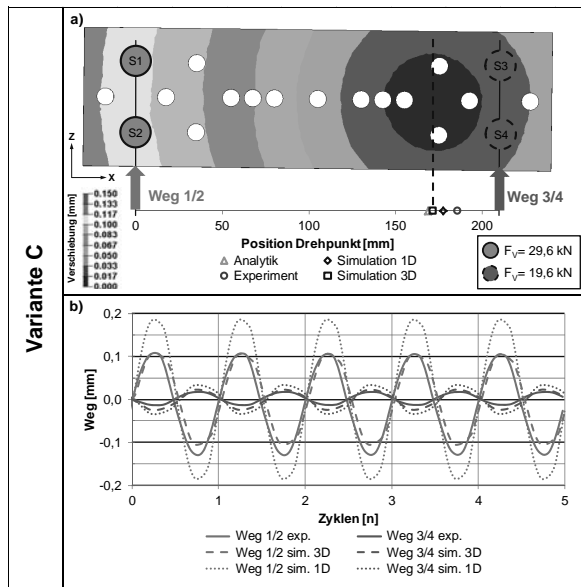


Bild 6: Variante C Schraubenvorspannkraft der Schrauben S3 und S4 auf 19,6 kN gemindert, oben: Farbdarstellung des ermittelten rechnerischen Drehpunkts (Modellierung mit Modellklasse IV) sowie Ergebnisse für die Ermittlung mit vier verschiedenen Methoden (Analytik, 1D-Elemente (Modellklasse II), 3D-Elemente (Modellklasse IV) und experimentelle Verifizierung); unten: Zeitverlauf der berechneten Einzerverformungen für 1D- und 3D-Elemente im Modell sowie die experimentellen Ergebnisse

Die im Experiment gemessenen Verschiebungen und diejenigen der Simulation mit 3D-Elementen stimmen an dieser Stelle wieder gut überein. Das ist damit zu begründen, dass bei dieser Variante die Schrauben an der Krafteinleitungsstelle die hohe Vorspannkraft aufweisen und damit die restlichen Struktureigenschaften (einschließlich der Schrauben S3 und S4) im Hintergrund bleiben. Der Abstand des ermittelten Drehpunktes mit der Modellierung nach Klasse IV zur Referenz ist ähnlich zu den Ergebnissen aus der Variante A. Dies gilt ebenso für die Wege. Bei Verwendung der Modellklasse II treten wiederum große Differenzen auf. Diese sind in dem hier betrachteten Fall maximal.

Zusammenfassend sind in Bild 7 die Abweichung in Prozent gegenüber dem im Versuch ermittelten Drehpunkt dargestellt. Bei Variante A zeigt sich, dass alle Verfahren eine ähnliche

Genauigkeit aufweisen. Bei allen drei Varianten sind die Werte der Analytik und der Simulation nach Klasse IV etwa gleich. Die Simulation nach Klasse II bringt bei Variante B und C größere Abweichungen mit sich.

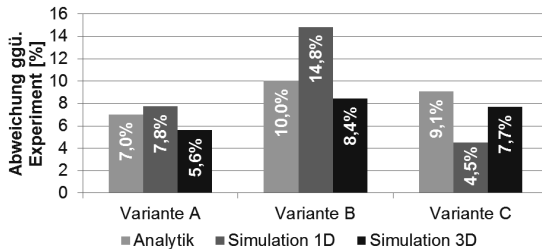


Bild 7: Prozentuale Abweichungen der Berechnungsverfahren hinsichtlich des ermittelten Drehpunktes gegenüber den experimentellen Werten

Bei einem Vergleich über alle Varianten zeigt sich, dass die Ergebnisse der Analytik und der Simulation nach Klasse IV annähernd die gleiche Güte aufweisen. Qualitativ wurde dies bereits aus den dargestellten Ergebnissen in den Bildern 4-6 ersichtlich. Bei komplexeren Strukturen ist jedoch die Methode der Finten Elemente unerlässlich.

Als weiteren Punkt sollen die Schrauben(zusatz)kräfte exemplarisch für Variante A in Bild 8 betrachtet werden.

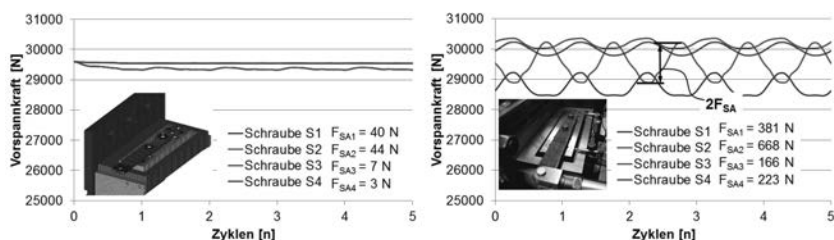


Bild 8: Vergleich der Schraubenzusatzkräfte, links: Ergebnisse aus der Simulation mit 3D-Elementen zeigen niedrige Schraubenzusatzkräfte, rechts: Ergebnisse aus dem Experiment zeigen zu hohe Schraubenzusatzkräfte aufgrund Biegemomentenanfälligkeit von Viertelbrücken-DMS

Es wird deutlich, dass im Versuch deutlich höhere Werte für F_{SA} ermittelt wurden. Die Ordinate zeigt dabei lediglich den Ausschnitt von 25 - 31 kN. Ähnliche Abweichungen traten auch bei Variante B und C auf. Da die Wege der Simulation mit denen des Experiments an dieser Stelle für den derzeitigen Stand akzeptabel übereinstimmen, stellt sich die Frage nach Messfehlern, bzw. nicht berücksichtigten Einflussgrößen auf die Genauigkeit der DMS-Schraube. Unter anderem sind die Biegung der Schraube (S-Schlag), Position des DMS in der Bohrung, usw. zu nennen. Im Umkehrschluss ebenso die numerisch ermittelten Werte. In Voruntersuchungen konnte erkannt werden, dass Viertelbrücken-DMS-Schrauben empfindlich auf Biegebeanspruchung und zu hohe Schraubenkräfte reagieren [4].

Um die Wichtigkeit der Kenntnis über die Vorspannkkräfte im Schraubensystem zu verdeutlichen, wird nachfolgend der Schadensmechanismus des selbsttätigen Losdrehens gezeigt. Um realschraubnahe Verhältnisse abzubilden, wurde im Gegensatz zu den vorherigen Untersuchungen ein weggeregelter Versuch durchgeführt. Hierbei wurde nur Schraube S1 mit geringerer Vorspannkraft angezogen (19,6 kN), um ein Defizit an dieser Verbindung zu simulieren. Die Simulation zeigt bei dieser Variante bereits ein Abgleiten des Schraubenkopfes der Schrauben S1 und S2. Bei entsprechend gleicher Last und Konfiguration nach Variante A tritt dieses Phänomen nicht auf. Derartige Schadensfälle treten in der Praxis auf, besonders bei Leichtbauverschraubungen. Immer wieder wird die Losdrehgefahr im Vorfeld nicht ausreichend betrachtet. In Bild 8 ist der Vorspannkraftverlauf für alle vier Schrauben im System dargestellt. Durch die niedrigere Vorspannkraft von Schraube S1 kommt es dort zum Losdrehen, da kritische Verschiebungen bzw. Verdrehungen in Verbindung mit der niedrigeren Vorspannkraft erreicht sind. Nachdem die Vorspannkraft dieser Schraube auf unter 5 kN gesunken ist, kommt es systembedingt zum Losdrehen von Schraube S2, obwohl die aufgezungenen Verschiebungen in der Einleitungsstelle auf konstant $\pm 2,2$ mm gehalten wurden. Der von dieser Schraube zu übertragende Querkraftanteil ist durch den Vorspannkraftverlust von Schraube S1 über die losdrehkritische Grenze gestiegen. Erkennbar ist, dass die Lastspielzahl bis zum vollständigen Losdrehen mit nur ca. 800 Lastzyklen für Betriebslasten sehr niedrig liegt – dadurch wird klar, dass eine Nutzung eines „Zeitfestigkeitsbereichs mit partiellem Losdrehen“ praktisch nicht möglich ist.

Als weiterer wichtiger Punkt ist die Kopplung des Schraubenverhaltens in einer Struktur mit Mehrschraubenverbindung zu nennen. Dadurch darf eine Mehrschraubenverbindung nicht als losgelöste Summe von mehreren Einschraubenverbindungen (nicht zu verwechseln mit Einschraubverbindungen) aufgefasst werden – das ist besonders bei der Bewertung von standardisierten Losdrehprüfungen mit Einzelschraubenverbindungen zu beachten, z.B. Vibrationsprüfung DIN 65151 [9], Losdrehprüfung NAS [10].

Darüber hinaus verdeutlicht das Messergebnis, dass der Vorspannkraftverlauf den Schadensfall (zu niedrige Vorspannkraft) abbildet. Bei Messung der Vorspannkraft der Schrauben S1- S4, kann bei entsprechender Auswertung und Strukturkenntnis der Schadensablauf vorhergesagt werden. Unter diesen Voraussetzungen ist eine Vorspannkraftmessung über die experimentelle Verifizierung auch für den Betrieb bei kritischen Anwendungen interessant; damit sind nicht nur Kosten verbunden, sondern auch eine deutliche Erhöhung der Betriebszuverlässigkeit, was Schadenskosten (die schnell sehr hoch sind) vermeidet. Im Fall von Bild 8 wäre sofort die zu niedrige Vorspannkraft bei Schraube S1 im Rahmen eines Monitorings aufgefallen und hätte mit Kenntnis des Strukturverhaltens auf einen möglichen Verbindungsausfall hinweisen können.

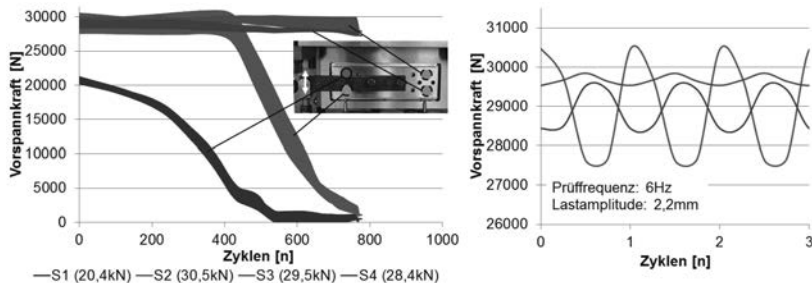


Bild 9: Gemessene Vorspannkraftverläufe für die Schrauben S1, S2, S3, S4 mit Losdrehereignis bei S1 und S2 Belastung mit sinusförmiger Querverschiebung $\pm 2,2$ mm an der Krafteinleitungsstelle (weißer Pfeil), links: Versuchslauf mit 800 Lastwechseln, rechts: Ausschnitt der ersten Lastwechsel im Versuchslauf

5. Zusammenfassung und Fazit

Die Untersuchung hat folgende Ergebnisse gezeigt:

- In einer Mehrschraubenverbindung hängt das Verhalten nicht nur von der Vorspannkrafthöhe einer Schraubenverbindung (Varianten A, B, C), sondern auch von deren Position in der Struktur und der Krafteinleitung ab.
- Die FE-Modellklasse II ist bei den gezeigten Untersuchungen nicht sehr genau (große Unterschiede zum Experiment bei A, B, C). Generell erfordern verlässliche entscheidungsrelevante FE-Berechnungen viel Erfahrung mit dem Modellverhalten, besonders mit Modellklasse II.

- Das Losdrehverhalten von Mehrschraubenverbindungen ist zwischen den einzelnen Schraubenverbindungen gekoppelt; Lastwechselzahlen bis zum vollständigen Losdrehen liegen im Bereich von 10^2 bis 10^3 .
- Die Strukturintegrität kann mit Vorspannkraftmessungen auch hinsichtlich selbsttätigem Losdrehens vorhergesagt werden.
- Die Analytik stimmt sehr gut mit der 3D-Simulation überein, jedoch nicht deckungsgleich mit dem Experiment. Offensichtlich fällt die unterschiedliche und nichtlineare Biegesteifigkeit der Schraube im betrachteten Parameterbereich relativ wenig ins Gewicht; gleiches gilt für die Vorspannkraftverteilung innerhalb des Bauteilsystems.

Als Ausblick leitet sich daraus ab, dass für einfache FE-Berechnungen die Modellklasse II in vielen Fällen ausreichend genau ist (ggfs. Einführen einer Modellklasse „2+“, die Eigenschaften von Modellklasse IV enthält; insbesondere Quersteifigkeiten müssen besser abgebildet werden). Daneben sollte die Vorspannkraftinformation in Schraubenverbindungen besser genutzt werden, z.B. zur Überwachung der Strukturintegrität und Vorhersage des Verhaltens; zukünftige Arbeiten fokussieren dieses. Weiterhin müssen die Ergebnisse der Simulation näher an das Ergebnis des Experiments gebracht werden. Als Beispiel für oft nur ungenau betrachtete Parameter ist die Trennfugenreibung zu nennen.

Literatur:

- [1] VDI 2230 Blatt 2: Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Mehrschraubenverbindungen. Berlin: Beuth, 2014
- [2] Koch, D.: Beitrag zur numerischen Simulation des selbsttätigen Losdrehverhaltens von Schraubenverbindungen. Dissertation, Aachen: Shaker Verlag, 2012
- [3] Manoharan, S.K.; Friedrich, C.: Design and reliability influences on self-loosening of multi-bolted joints. IRF2016 - 5th International Conference on Integrity-Reliability-Failure. Porto, 2016
- [4] Begeldinov, S.: Experimentelle Untersuchung der Schraubenvorspannkraft mittels DMS-Technik. Abschlussarbeit Universität Siegen, 2016
- [5] DIN EN ISO 4014: Sechskantschrauben mit Schaft - Produktklassen A und B (ISO 4014:2011); Deutsche Fassung EN ISO 4014:2011, Beuth-Verlag Berlin, 2011
- [6] VDI 2230 Blatt 1: Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen. Berlin: Beuth, 2015
- [7] Dinger, G.; Friedrich, C.: Analytisch-numerisch kombinierte Auslegung von Schraubenverbindungen als Voraussetzung für die zuverlässige Schraubmontage. VDI-Berichte 2180, 2012
- [8] Friedrich, C; Manoharan S.K.: Selbsttätiges Losdrehen – Ein bedeutender Schädigungsmechanismus im Leichtbau. DVM-Tagung Berlin, 2016
- [9] DIN 65151: Luft- und Raumfahrt - Dynamische Prüfung des Sicherungsverhaltens von Schraubverbindungen unter Querbeanspruchung (Vibrationsprüfung), Berlin: Beuth, 2002.
- [10] National Aerospace Standard NAS3354, Fixtures, Vibration Test, Self-Locking Nuts, rev. 1, 2012

Kontrolle der Vorspannkraft montierter Schraubverbindungen

Peter Thomsen,

®flangevalid, Lannewehr + Thomsen GmbH & Co. KG, Bremen

Kurzfassung

Die Automobilindustrie arbeitet schon seit vielen Jahren erfolgreich nach der VDI/VDE 2862 (jetztige 2862 Teil 1) zur Erreichung von Prozesssicherheit bei geschraubten Verbindungen. Die VDI/VDE 2862-2 stellt die Anforderungen an die Prozesssicherheit im Maschinen-, Geräte- Apparate- und Anlagenbau. Häufig werden ungeeignete Verfahren (z.B. Weiterdrehmoment) zur Kontrolle des Montageergebnisses verwendet. Der Vortrag beschreibt und bewertet die technischen Möglichkeiten zur Kontrolle verschraubter Verbindungen.

1. Technischer Hintergrund

Schraubenverbindungen werden erzeugt, indem eine wieder lösbare Verbindung hergestellt wird, bei der zwei oder mehr Bauteile durch eine oder mehrere Schrauben verbunden werden. Die zusammengefügte Teile müssen sich von da ab verhalten und bewegen wie ein Teil [1]. Die montierten Schrauben sollen auf die Erreichung des gewünschten Schraubergebnisses und während des Einsatzes kontrolliert werden, um die Funktion der Verbindung auf Dauer zu gewährleisten. Je nach Gefährdungspotential der Verbindung, muss das Montageergebnis abgesichert werden. Die VDI 2862, mit ihren Teilen 1 und 2, unterscheidet die Schraubverbindung nach dem möglichen Gefahrenpotential in drei Kategorien (Tabelle 1).

Tabelle 1: Gefährdungsklassen nach VDI 2862-1+2

| Gefährdungsklasse | Risikobewertung | Beschreibung |
|-------------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Kategorie A | Hohe Risikobewertung | Gefahr für Leib, Leben und Umwelt |
| Kategorie B | Mittlere Risikobewertung | Funktionsstörung / Anlagenstillstand |
| Kategorie C | Niedrige Risikobewertung | Unkritisch |

Bei drucktragenden Systemen gilt mindestens Kategorie B, bei kritischen Medien Kategorie A.

Das Erreichen und Halten der Schraubenvorspannkraft hat viele „Feinde“ (Bild 1).

Die Feinde der Schraubenvorspannkraft

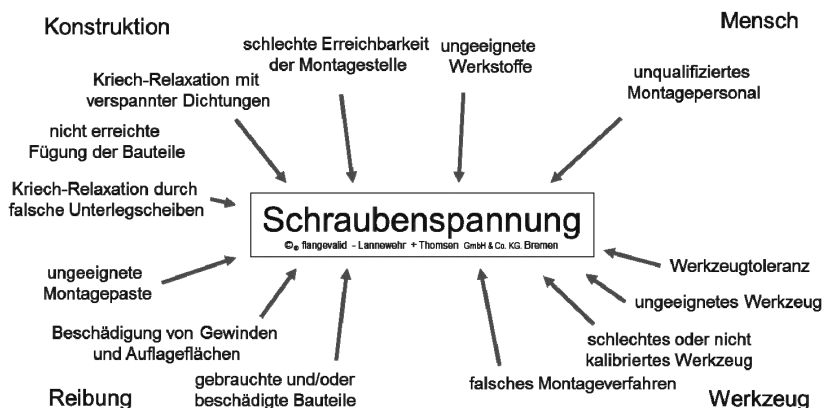


Bild 1: mögliche negative Einflüsse auf die Schraubenspannung

Gemäß der Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV), der Technischen Regeln für Betriebssicherheit TRBS, hier TRBS 2141-3 und 2152-2, fallen alle drucktragenden Verbindungen unter die Gefährdungsklasse der Kategorie A. Das Problem bei Dichtverbindungen resultiert oft daraus, dass Dichtungen mit Fließ- bzw. Setzpotential kraftschlüssig verspannt werden und ein Lösen der Verbindung verursachen. Mit der DIN EN 13555 wird sich erstmals mit der Relaxation beschäftigt und der Wert P_{OR} eingeführt. Die Prüfzeit beträgt 4 Stunden. Dichtungen mit starkem Setzpotential (niedriger P_{OR} -Wert) sind nachteilig für die Dauerstabilität eines Flanschsystems. Sollten die Betriebskräfte größer sein als die Schraubenspannung, droht eine Leckage. Sind und bleiben die Schrauben hoch verspannt, kann das Flanschsystem wechselnde Betriebskräfte ohne Leckagen kompensieren [2].

Auch die bei der Montage über Drehmomente eingebrachte Torsion führt zu einem Lösen und damit zum Verlust von Vorspannkraft in der Schraubverbindung. Dies ist, besonders bei Schraubverbindungen mit kurzer Klemmlänge, zu beachten. Das Problem kann durch torsionsfreie Anzugsverfahren verhindert werden.

Bei drehenden Verfahren ist es besonders wichtig, das Montageergebnis wegen der Unsicherheit durch die schlecht einzuschätzende Reibung abzusichern. Hierzu ist es erforderlich, dass zusätzlich zur Steuergröße (hier Drehmoment) eine unabhängige Kontrollgröße (z.B. Drehwinkel) zur Überprüfung herangezogen wird. Das Verfahren mit gleichzeitiger Messung

von Drehmoment und Drehwinkel, ist bei üblichen Flanschverbindungen wegen der Nachgiebigkeit der Flanschblätter nicht sinnvoll anwendbar.

Dichtverbindungen werden zunehmend mit Drehmomentschlüssel angezogen. Leider werden die erforderlichen Drehmomente sehr häufig aus den Anforderungen für die Dichtung festgelegt, statt die Schrauben mit ca. 70% hoch auszulasten. Es ist nicht selten, dass Tabellen Montagedrehmomente vorgeben, die gleiche Schrauben bei weichen Dichtungen (Gummi) nur zwischen 7 und 15% und bei harten Dichtungen (Elastomer gebundene Fasern/FA-Material) bis zu 90% ihrer Streckgrenze auslasten würden. Niedrig vorgespannte Schrauben sind immer der Gefahr des selbsttätigen LöSENS ausgesetzt.

2. Prüfverfahren zur Schraubenkontrolle [3]

Im Folgenden werden die Verfahren einer Kontrolle der richtig verschraubten Verbindung aufgezeigt.

2.1 Attributive Prüfverfahren

2.1.1 Sichtkontrolle und Weiterdrehmoment

Üblicherweise werden die Schraubenverbindungen regelmäßig einer Sichtkontrolle unterzogen und meistens mittels eines „Weiterdrehmoments“, was oft dem Nenndrehmoment $\times 1,1$ entspricht, geprüft. Dieses Vorgehen ergibt keine gesicherten Aussagen zur aktuellen Qualität der Verbindung. Eine Kontrolle des Montageergebnisses wird häufig über ein Weiterdrehmoment vorgesehen. Mit dieser attributiven Prüfung kann nur festgestellt werden, ob die Schrauben lose oder fest ist. Der Drehmomentschlüssel funktioniert nur aus gleichmäßiger Drehung. Weiter ist festzustellen, dass wegen der erforderlichen Überwindung der Losbrechmomentes aus der Ruhereibung und der Tatsache, dass Steuer- und Kontrollgrößen gleich sind, kein validierbares Ergebnis erzeugbar ist. Es gilt also:

Kontrolle eines Drehmomentes über ein Weiterdrehmoment
ist nicht möglich und nicht zulässig!

Wird über Drehmoment angezogen, kann nur über Längenänderungs- oder Kraftmessung kontrolliert werden. Hierzu findet sich in der VDI 2200:2007-07 im Absatz 6.3, Satz 2 und folgende, folgende Feststellung:

Zitat

Eine wirklich verlässliche Kontrolle der Vorspannkraft ist bei allen Anziehverfahren erst durch eine explizite Messung möglich. Das kann beispielsweise durch die Berechnung der Bolzen-

Dehnung erfolgen. Eine genaue Erfassung der Vorspannkraft erfordert allerdings eine messbare Längenänderung und eine Kalibrierung der Anhängigkeit Bolzen-Dehnung/Bolzen-Kraft möglichst an der Original-Dichtverbindung.

Zitatende

Besser wäre die genaue Messung der erzeugten Vorspannkraft. Hierzu finden wir in der VDI/VDE 2862 Blatt 2:2015-02, Absatz 3.5.1, folgende Aussagen:

Zitat

Technische Mindestanforderungen

- *eine direkt oder indirekt gemessene oder wirkende Steuergröße (z.B. Drehmoment, Drehwinkel, Längung, Kraft).*

Wird die indirekt gemessene Steuergröße gewählt, muss bei den „Mindestanforderungen an die Entdeckung von I.O.- bewerteten N.I.O.-Verschraubungen“ erhöhter Aufwand betrieben werden.

Zitatende

Es ist zu bezweifeln, dass die Ruhereibung bei diesem Verfahren sicher überwunden wird. Deshalb ist es technisch nicht aussagekräftig und damit nicht zulässig.

Verfahren sind nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 nicht zulässig.

2.1.2 Prüfhammer

Mittels eines Hammers wird der Bolzen angeschlagen. Am Klang kann man erkennen, ob die Schraube lose (dumpfer Klang) oder verspannt (heller, glockenähnlicher Klang) ist. Mit diesem Verfahren kann man erkennen, ob Schrauben bei der Montage vergessen wurden. Eine validierbare Aussage ist nicht möglich.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 nicht zulässig.

2.2 Mechanische Messungen

2.2.1 Schrauben mit integriertem Messstift

Für Prüfstände werden die Schrauben mit einer axialen Bohrung versehen. In diese wird ein Messstift eingebracht. Beim Verspannen dehnt sich die Schraube und aus der Längendifferenz zwischen Schraube und Messstift wird der Spannungszustand ermittelt. Zur praktischen Anwendung haben sich zum Beispiel auch die Messschrauben vom Typ Rotabolt von James Walker (www.jameswalker.biz) durchgesetzt.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

2.2.2 Mechanische Messungen mittels Messschrauben

Diese Messungen mittels der sehr genauen Micrometer erfordern exakt auf gleiches Nullmaß gefertigte Schrauben oder aber Kennzeichnung mit der exakten Fertigungslänge. Als System gibt es entsprechend kalibrierte Schrauben Typ CONBOLT® von Heinr. Jungeblodt GmbH & Co. KG, Warstein (www.jungeblodt.de) (Bild 2).

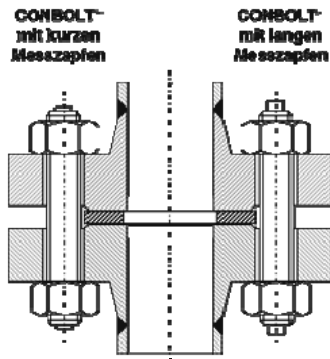


Bild 2: kalibrierte Messschrauben Typ CONBOLT®

Nachteilig ist, dass nur Schrauben gemessen werden können, wo man an beide Gewindeenden herankommen kann. Dies ist aber bei den meisten Dichtverbindungen an Rohrleitungen und Apparaten der Fall. Diese Schrauben erlauben nach der Demontage eine messbare Einschätzung über ihren Zustand und damit eine Aussage über die Wiederverwendbarkeit. Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

2.3 Technische Messverfahren

2.3.1 Ultraschallmessungen

Sie werden immer häufiger angewendet, sind aber in ihrer Aussage wegen Kopplungsfehlern und Ergebnis störenden Einflüssen (z.B. aus Körperschall) und Gefügeveränderung beim Dehnen des Schraubenwerkstoffes relativ unsicher. Optimierte Verfahren werden z.B. von Intellifast (www.intellifast.de) erfolgreich angeboten.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

2.3.2 Dehnmessstreifen (DMS)

Messungen mit Dehnmessstreifen sind sehr aufwendig und deshalb in der breiten Praxis kaum anwendbar.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

2.3.3 Kraftmessdosen

Dies Messverfahren wird in der Regel wegen des hohen Kostenaufwandes wohl nur selten angewendet werden. Sie sind temperaturempfindlich und können nur bei planebenen und planparallelen Flächen eingesetzt werden. Das Verfahren ist für übliche Flanschverbindungen an Rohrleitungen und Druckgeräten nicht geeignet.

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

2.3.4 Kraftmessende Unterlegscheiben

Bessere Erfolge versprechen Verfahren wie die @boltvalid-Messunterlegscheibe (Bild 3).

Die @boltvalid-Messunterlegscheibe misst ohne Einfluss von Reibung und Torsion. Auf Grund der besonderen Messmethode, kommt sie auch mit schief stehenden Flächen zurecht. Ist im Temperaturbereich von -20 bis 80°C messwertstabil und kann sowohl bei durchgesteckten Schrauben als auch bei Schrauben in Sacklochverbindungen eingesetzt werden.



Bild 3: kraftmessende Unterlegscheibe @boltvalid

Mit der @boltvalid-Messunterlegscheibe kann auch kontrolliert nachgezogen werden. Die Messunterlegscheibe kann in Bereichen von niedrigen Vorspannkräften (ab M5) und ohne Limitierung für sehr hohe Vorspannkräfte eingesetzt werden.

Gemessen wird die Veränderung der Vorspannkraft in der Schraubverbindung. In der einfachen Version wird über Leuchtdioden, ähnlich einer Ampel, der Zustand von „rotes Licht“, nicht verspannt, über „gelbes Licht“ bis „grünes Licht“, verspannt angezeigt. Zusätzlich zeigt das wieder aufleuchtende „gelbe Licht“ Vorspannkraftverluste an. Eine weitere Leuchtfarbe, z.B. „blaues Licht“ kann eingefügt werden, um z.B. die Vorspannung für die Kontrolle des

Fügens zu signalisieren. Dieses Verfahren erlaubt eine permanente oder auch zeitgetaktete Ablesung. Es ist robust, bietet eine hohe Zuverlässigkeit und wird als Messung in eine Unterlegscheibe eingebracht. Das System kann über Funk oder direkter Verkabelung Messwerte an einen Rechner geben und erlaubt damit eine permanente Überwachung. Möglich ist auch die Schraubverbindung mit einem Alarm, der bei Spannungsunter- oder -überschreitung ausgelöst wird, zu versehen und somit geplante Wartungsintervalle zu vermeiden. Die Signalwerte können individuell eingestellt werden. Hersteller ist die Möller Metaldichtungen GmbH, Hecklingen (www.moeller-md.de).

Verfahren ist nach VDI 2200 und VDI/VDE 2862 zulässig.

3. Zusammenfassung

Die möglichen Kontrollverfahren unterscheiden sich sehr stark in ihrer Eignung, dem Preis/Leistungsverhältnis, der Robustheit und dem Prüfzeitraum. Die folgende Tabelle gibt hierzu eine Übersicht.

Für den Einsatz von Rohrleitungs-, Tank und Druckgeräten wird in den gängigen Regelwerken die Anwendung vom Stand der Technik eingefordert. Hierzu finden Sie eine technische Information „Technische Rechtsbegriffe“ im Bereich Downloads auf unserer Homepage www.flangevalid.com [4].

Tabelle 2: Vergleich der Verfahren zur Schraubenkontrolle [5]

| Verfahren | Eignung | Preis/Leistung [*] | Robustheit | Messzeitraum |
|---------------------------|---------|-----------------------------|------------|--|
| Sichtkontrolle | keine | hoch/keine | | ¼ bis 1 Jahr |
| Weiterdrehmoment | keine | hoch/keine | | ¼ bis 1 Jahr |
| Dehnmessstreifen | ja | hoch/hoch | gering | nach Bedarf |
| Ultraschall | ja | hoch/hoch | mittel | regelmäßig |
| Intellifast® | ja | hoch/hoch | hoch | regelmäßig |
| konventionelle Messdose | ja | hoch/hoch | hoch | permanent ^{**} |
| ®boltvalid-Mess-U-Scheibe | ja | niedrig/sehr hoch | sehr hoch | nach Bedarf ^{**} permanent ^{**} |
| Rotabolt® *** | ja | hoch/hoch | sehr hoch | nach Bedarf |
| CONBOLT® *** | ja | sehr niedrig/hoch | sehr hoch | nach Bedarf |

^{*} keine Betrachtung der Kosten, sondern des Kosten-Nutzen-Verhältnisses
^{**} Verfahren kann laufend Messergebnisse liefern, zu jedem Wunschzeitpunkt und kann einen Sicherheitsalarm auslösen
^{***} direkte Erkennbarkeit von Überdehnung

Tabelle 2 zeigte, dass die heutzutage üblich angewendeten Verfahren, wie Sichtkontrolle und Weiterdrehmoment, in keiner Weise geeignet sind, eine Schraubenverbindung zu validieren. Damit kann sich dieser unsinnige Aufwand auch gespart werden. Wir werden uns in

Zukunft daran gewöhnen müssen, dass mehr Aufwand für die Bewertung einer Schraubverbindung anfällt.

Die richtige Montage von Schrauben hat nach unserer Erfahrung immer zu erheblichen Kostenreduzierungen durch Vermeidung von nachträglichen Reparaturen, Produktionsausfall und Senkung der Umweltschädigung geführt. Gefährliche Vorgänge, wie das Nachziehen der Schrauben oder das „Koffern“ leckender Dichtverbindungen während des Betriebes, konnten immer vermieden werden.

Anmerkung [3]:

Die Auswahl der anzuwendenden Verfahren richtet sich nach der Gefährdungsanalyse. Jeder handelt eigenverantwortlich. Mindestens die anerkannten Regeln der Technik, besser der Stand der Technik, sind einzuhalten. Eine Nichteinhaltung kann zu rechtlichen Konsequenzen, bei Gefährdung von Leib und Leben sogar Geldstrafen oder Freiheitsstrafen bis zu fünf Jahren führen. Bewusste Nichtbeachtung erfüllt im Falle einer Gefährdung oder Schädigung von Mensch und Umwelt den Tatbestand des Vorsatzes oder der billigen Inkaufnahme.

Literatur:

- [1] Volker Schatz, 10 Schritte zur sicheren Schraubverbindung, Tectum Verlag
- [2] Peter Thomsen und Co-Autoren, Dichtungsvademecum, PP Publico Publications
- [3] Peter Thomsen, Technische Information, Kontrolle verschraubter Verbindungen, Homepage www.flangevalid.com/Downloads
- [4] Peter Thomsen, Technische Information, Technische Rechtsbegriffe - Stand der Technik usw., Homepage www.flangevalid.com/Downloads
- [5] Peter Thomsen und Gerd Lannewehr, 10 Schritte zur optimalen, auf Dauer technisch dichten Dichtverbindung, PP Publico Publications

Ermittlung der Anzugparameter und des Anziehungsfaktors α_A für die Drehwinkelmontage im elastischen Bereich von großen Schrauben bei kleinen Losgrößen

Dipl.-Ing. (FH) **Ulrich Oehms**, HYTORC-Seis GmbH, Dörth;
Dipl.-Ing. **Lutz Winter**, DNV-GL, Hamburg

Kurzfassung

Auch im Großmaschinenbau möchte man die Schraubmontage optimieren. Besonders durch die VDI Richtlinie 2862 besteht Handlungsbedarf bei Konstruktion und Montage. In vielen Fällen werden große Maschinen nur in sehr kleinen Serien produziert. Das führt dazu, dass die Anzahl der Schrauben für einen Versuch zum Festlegen der Anzugparameter teilweise die Anzahl der in „Serie“ benötigten Schrauben erreicht.

Da man bei großen Schrauben auf Grund der geringen Stückzahl gerne Normverbindungs-elemente einsetzt, kommt meist nur eine Verschraubung im elastischen Bereich in Frage. Nur wenn die Parameter mit geringem Aufwand an Zeit und Kosten ermittelt werden können wird sich das Drehmoment-Drehwinkelverfahren auch im Großmaschinenbau durchsetzen.

Da die VDI Richtlinie 2230 für dieses Montageverfahren keinen Anziehungsfaktor bietet, wurde in Zusammenarbeit mit dem DNV GL eine Berechnungsmöglichkeit festgelegt, damit dieses Verfahren für die Montage im Großmaschinenbau eingesetzt werden kann.

Der Anziehungsfaktor berechnet sich nach VDI 2230 Blatt 1 aus Montagevorspannkraft max. / Montagevorspannkraft min.

Die Ermittlung dieser Daten ist sehr aufwändig. Aus diesem Grund greift man gerne auf die Tabellenwerte der VDI 2230 zurück. Da es für das Drehwinkelgesteuerte Anziehen im elastischen Bereich keine Daten in der Tabelle gibt, hat man im Schadensfall eventuell ein Problem wenn man mit einem zu optimistischen Anziehungsfaktor gerechnet hat.

Um dieses Problem zu lösen, ohne im Vorfeld Zeit- und Kostenaufwändige Versuche durchführen zu müssen, haben wir die Daten ausgewertet die bei der Verschraubung ohnehin ermittelt werden.

1. Stand der Technik

Wenn heute Schraubverbindungen der Kategorie A oder B angezogen werden, ist die Messung von Drehmoment und Drehwinkel die mit Abstand gängigste Methode zur Sicherstellung des Schraubergebnisses. Allerdings müssen die Parameter durch Schraubversuche am originalen Bauteil festgelegt werden. Da die Ergebnisse auch statistisch abgesichert sein sollten, sollte man min. 10 Schraubenversuche durchführen. Bei diesen 10 Schraubversuchen sollte dann auch versucht werden das gesamte Spektrum der Einflussgrößen abzubilden. Z.B. sollten Schrauben und Muttern aus unterschiedlichen Chargen und von unterschiedlichen Herstellern getestet werden.

Aber bevor wir Ergebnisse auswerten können, muss erstmal festgelegt werden wie man Schraubversuche durchführen sollte.

Da wir die Vorspannkraft nicht direkt messen können, wird bei Versuchen fast immer über den Umweg der Längenmessung gearbeitet. Das heißt die Schraube muss vor der Belastung gemessen werden (L0) und unter Belastung (L1). Bei Durchgangsschrauben und guter Zugänglichkeit kann dies durchaus mit einer Bügelmessschraube erledigt werden. Bei einer Verschraubung im Sackloch ist dies deutlich schwieriger. Hier kann man die Längung der Schraube mit Ultraschall oder mit Hilfe einer Längsbohrung in der Schraube messen. Auch wäre es möglich eine Lastmessdose unter den Schraubenkopf mit zu verspannen, allerdings wird damit auf jeden Fall der Schraubfall verändert. Natürlich sind auch Messungen mit DMS am Schraubenschaft möglich, allerdings scheuen viele Kunden den zeitlichen Aufwand und die Kosten.

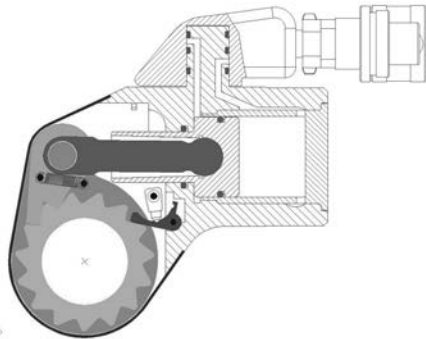
2. Alternative zur klassischen Längenmessung

Nach VDI 2230 sollte man hochfeste Schrauben (min. 8.8) einsetzen und diese möglichst hoch vorgespannt (Zielwert 90%). Da die Reibungszahl und auch andere Einflussgrößen auf die Vorspannkraft nicht bekannt sind, wird beim drehmomentgesteuerten Anziehen meist nur ein Wert von ca.70% von $R_{p0,2}$ erreicht. Dabei greifen wir gerne auf Tabellenwerte für die Anzugsdrehmomente zurück. Besonders bei großen Abmessungen werden die Tabellenwerte nicht durch Messungen, sondern rein rechnerisch ermittelt. Bei Schraubversuchen stellt man dann häufig Abweichungen von über 30% fest. Aus diesem Grund sollte man auch dann Schraubversuche durchführen wenn man „nur“ drehmomentgesteuert Verschrauben will. In vielen Versuchen stellt man fest, dass die Vorspannkraft nur in einem Bereich von $\pm 10\%$ streut. Besonders wenn die Schrauben auf

einer harten Fläche in ein vom Hersteller geschnittenes Mutterngewinde geschraubt werden, wie dies im Getriebebau oder bei Rollendrehverbindungen der Fall ist.

Wenn wir beim Anziehen von Schrauben den Drehwinkel als indirekte Längenmessungen nutzen können, sollte dies auch bei Schraubversuchen möglich sein. Für solche Versuche eignet sich besonders gut der hydraulische Drehmomentschrauber, er arbeitet quasi statisch und damit hat die Schraubfallhärte keinen Einfluss auf die Genauigkeit.

Bei diesen Werkzeugen wird eine Ratsche durch einen Hydraulikzylinder betätigt. Der Drehwinkel je Hub sollte auf $< 25^\circ$ beschränkt werden, um eine Drehmomentgenauigkeit von besser $\pm 2\%$ zu erreichen. Um sicherzustellen, dass die Schraubentorsion die Schraubergebnisse nicht verfälscht muss das Werkzeug über einen Freilauf im Ratschensystem verfügen. Mit einem

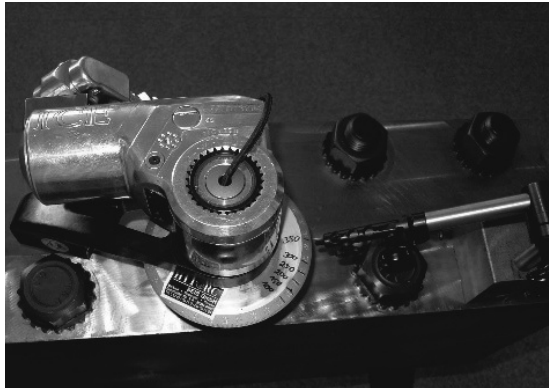


sehr genauen Werkzeug, das unabhängig von der Schraubfallhärte das Drehmoment liefert und über eine genaue Drehwinkelmessung verfügt, müsste man problemlos beim schrittweisen Anziehen die Streckgrenze erkennen. Wenn wir das Drehmoment kennen bei welchem wir die Streckgrenze erreichen, können wir auch das Drehmoment für das gewünschte Vorspannkraftniveau bestimmen. Da wir zum Erkennen der Streckgrenze zwingend den Drehwinkel messen müssen, können wir natürlich auch die Parameter für das Drehmoment-Drehwinkelgesteuerte Anziehen festlegen.

Bevor es hier eine vollautomatische Lösung gab, haben wir bereits Versuche gefahren die vollkommen ohne komplexe Messtechnik und Auswertesoftware auskommt.

2.1 Versuchsaufbau

Bei diesem Verfahren wird auf einer Scheibe die sich mit der Schraube dreht, die Drehwinkeländerung je Drehmomentänderung notiert. Als Fixpunkt dient dabei eine feste Kante der Konstruktion, oder wie auf dem Foto ein Magnetständer. Wie auf der beiliegenden Scheibe zusehen ist wurde das Drehmoment in



50bar Schritten erhöht und die Winkeländerung festgehalten. Das Erreichen der Streckgrenze ist sehr deutlich zu erkennen. Es wird bei dieser Schraube zwischen 400 und 450bar erreicht, das entspricht ein Drehmoment 4.389 und 4.942Nm. Vor dem Anziehen sollte man bei den Schrauben eine L0 Messung durchführen, damit man nach der Demontage sicher nachweisen kann, dass wirklich die Schraube die Streckgrenze erreicht hat. Diese Versuche sollte man mit weiteren Schrauben aus anderen Chargen wiederholen, um sicherzustellen, dass man nicht eine besonders gute bzw. schlechte Schraube gemessen hat.

3. Anzugsparameter

Aus den gewonnenen Daten kann man einfach die Anzugswerte für das drehwinkelgesteuerte Anziehen ermitteln. Wir nehmen den Drehmomentwert der noch sicher im elastischen Bereich liegt und reduzieren das Drehmoment nochmals um ca. 10%. Bei der gezeigten Scheibe wäre das Enddrehmoment dann 3.900Nm. Von diesem Punkt auf der Scheibe gehen

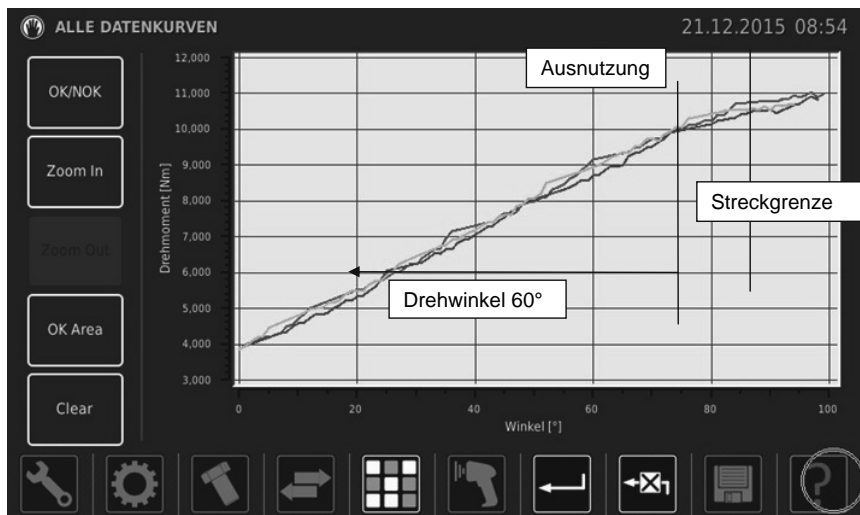


wir um einen Drehwinkel von 60° zurück und erreichen das Fügemoment bei 120bar. Dies entspricht einem Drehmoment von 1.300Nm. Das heißt die Schrauben werden in Zukunft mit 1.300Nm Fügemoment plus 60° angezogen.

Die Verwendung von 60° Schritten ermöglicht auch eine Drehwinkelmontage wenn das Werkzeug nicht über eine Drehwinkelmessung verfügt. Die Montage kann dann den Schraubenkopf als Messgerät für den Drehwinkel nehmen. Da man die Schraube meist nicht über Rp 0,1 hinaus verformt hat, könnte man die Schrauben sogar wieder verwenden.

4. Die vollautomatische Lösung

Um die Schraubversuche noch einfacher und schneller durchführen zu können wurde die Funktion in das aktuelle Hydraulikaggregat der Firma HYTORC installiert. In die Funktion „Streckgrenzgesteuertes Anziehen“ wurde die Messung des Drehwinkel ab einem Fügemomentes von 100bar integriert. Damit lassen sich, zum Festlegen der Anzugsparameter für das Drehwinkelgesteuerte Anziehen im elastischen Bereich, beliebig



viele Schrauben bis zur Streckgrenze anziehen. Diese Funktion stoppt sicher vor Rp 0,2. Anschließend lassen sich die Werte direkt auf dem Display des Hydraulikaggregates

ansehen und auswerten. Man kann sie aber auch über eine USB Schnittstelle auslesen und am Rechner auswerten. Automatisch werden alle Kurven mit dem Startpunkt Fügemoment übereinander gelegt. Anders als auf der Kreisscheibe sehen wir hier grafisch den Übergang vom elastischen in den plastischen Bereich. Auf der X-Achse sehen wir den Drehwinkel bei welchem wir die Streckgrenze erreicht haben. Nachdem wir die Ausnutzung festgelegt haben, gehen wir um den gewünschten Drehwinkel im Diagramm nach rechts und können dann auf der Y-Achse das Fügemoment ablesen.

Auf diese Weise wurden bereits hunderte von Anwendungen analysiert. Mit den unterschiedlichen Werkzeuggrößen des Hydraulikschraubers können Anwendungen von M16 bis M160 optimiert werden. Unabhängig davon ob der Kunde seine Schrauben im elastischen oder im überelastischen Bereich verschrauben möchte und unabhängig welches Verfahren er einsetzt.

Neben den Anzugparametern benötigt die Entwicklung für die Berechnung der Schraubverbingung den Anzugsfaktor α_A . Für das Drehwinkelgesteuerte Anziehen im elastischen Bereich gibt es keine Vorgaben in der Tabelle 8 der VDI Richtlinie 2230.

Um auch dieses Problem zu Lösen und damit dem Großmaschinenbau überhaupt erst die Möglichkeit zu bieten die „modernen“ Verfahren einzusetzen, hat sich Herr Lutz Winter mit der rechnerischen Ermittlung des Anzugsfaktors beschäftigt.

5. Ermittlung des Montagefaktors α_A aus einer endlichen Anzahl an Schraubversuchen

Soll für ein Verschraubungsverfahren aus einer endlichen Anzahl n an Versuchen der Anziehfaktor α_A bestimmt werden, wird folgender Ansatz für eine Intervallschätzung von α_A empfohlen. Es wird vorausgesetzt, dass die Streuung der Vorspannkraft einer Normalverteilung entspricht und somit der Vertrauensbereich des Mittelwertes mit dem Student-Faktor bestimmt werden kann. Die Prüfung auf Normalverteilung der Daten erfolgt z.B. nach dem Verfahren von *Epps / Pulley* oder *Andersson / Darling*, dazu ist anzumerken, dass dazu mindestens 8 Messwerte vorliegen sollten.

Die endliche Anzahl n an Messwerten wird als Stichprobe aufgefasst, d.h. der arithmetische Mittelwert der Grundgesamtheit ist unbekannt und wird anhand der Messwerte der Stichprobe geschätzt. Dies bedeutet, dass der geschätzte Mittelwert selbst einer Häufigkeitsverteilung folgt (Intervallschätzung). Im Rahmen dieser Vorgehensweise wird der Mittelwert anhand einer Intervallschätzung in Abhängigkeit von einem vorgegebenen Vertrauensbereich bestimmt.

Zunächst wird der arithmetische Mittelwert der Stichprobe bestimmt:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Nach der Berechnung von \bar{x} sind von den n Messwerten nur noch $n-1$ „frei wählbar“, daher wird die Standardabweichung der Stichprobe wie folgt bestimmt:

$$s_{\mathcal{N}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \approx \sigma.$$

Messungen erfolgen mit einer endlichen Genauigkeit. Daher muss streng genommen die Messgenauigkeit des Messgerätes mit einberechnet werden. Bei einer Messungengenauigkeit von $\pm 1\%$ ist der Effekt allerdings vernachlässigbar.

Mit zunehmendem Stichprobenumfang strebt der geschätzte Mittelwert \bar{x} gegen den Mittelwert der Grundgesamtheit μ . Der mittlere Fehler des Mittelwertes s_x ist auch als Standardabweichung der Mittelwerte aufzufassen.

$$\frac{s_{\mathcal{N}}}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

Die Student-t-Verteilung erlaubt die Berechnung der Verteilung der Differenz vom Mittelwert der Stichprobe zum wahren Mittelwert der Grundgesamtheit. Die dem Stichprobenumfang n entsprechenden t -Werte sind tabelliert und hängen vom Signifikanzniveau ab und bestimmen das Vertrauensintervall und damit die Aussagekraft der Schätzung des Mittelwertes. Die Student-t-Verteilung wird mit wachsendem n schmaler und geht für $n \rightarrow \infty$ in die Normalverteilung über.

Für das Streuintervall $\mu \pm 2\sigma$ ergibt sich ein Vertrauensniveau von 95,4% und für $\mu \pm 3\sigma$ ein solches von 99,7%.

Tabelle Student-Faktor t

| Anzahl der Messungen n | Vertrauensniveau | | | |
|---------------------------|------------------|-------|--------|---------|
| | 68,3% | 95,4% | 99,73% | 99,994% |
| 2 | 1,321 | 4,527 | 19,21 | 125,7 |
| 3 | 1,197 | 3,307 | 9,219 | 32,62 |
| 4 | 1,142 | 2,869 | 6,620 | 17,45 |
| 5 | 1,111 | 2,649 | 5,507 | 12,28 |
| 10 | 1,053 | 2,284 | 3,957 | 6,568 |
| 15 | 1,034 | 2,181 | 3,586 | 5,481 |
| 20 | 1,026 | 2,133 | 3,422 | 5,036 |
| 50 | 1,010 | 2,051 | 3,157 | 4,367 |
| 100 | 1,005 | 2,025 | 3,077 | 4,177 |
| 250 | 1,002 | 2,010 | 3,030 | 4,069 |
| ∞ | 1,000 | 2,000 | 3,000 | 4,000 |

So wird mit dem Student-Faktor der Korrekturwert u des Mittelwertes bestimmt.

$$u = t \cdot \frac{s_{\bar{x}}}{\sqrt{n}}$$

D.h. das der Mittelwert der Grundgesamtheit mit einer Wahrscheinlichkeit von 95,4% im Bereich von $\mu_{\min} - 2\sigma$ bis $\mu_{\max} + 2\sigma$ liegt.

Der Montagefaktor α_A ist dann

$$\alpha_A = \frac{\bar{x} + t \cdot \frac{s_{\bar{x}}}{\sqrt{n}} + 2s_{\bar{x}}}{\bar{x} - t \cdot \frac{s_{\bar{x}}}{\sqrt{n}} - 2s_{\bar{x}}}$$

Bezieht sich das α_A auf ein anderes Vertrauensniveau, so ist dies ausdrücklich anzumerken, z.B. $\alpha_{A\ 99,7\%}$

Grundsätzlich handelt es sich um eine Vorgehensweise, die nur für zufällige Fehler gilt, nicht für systematische Fehler. Wobei z.B. ein nicht eben aufliegender und durch Schrauben zu verspannender Plattenstapel ein systematischer Fehler ist.

Literatur: Lothar Sachs: „Angewandte Statistik“, 8. Auflage 1997, Springer Verlag Berlin

Aktivitäten des GMA Fachbereichs 3.63

Aktivitäten der Arbeitsgruppen und kommende Richtlinien

Dipl. Ing. (FH) **Niels Rabbe**,
Atlas Copco Tools Central Europe GmbH, in Essen;

Kurzfassung

Überblick aus dem VDI/VDE-GMA FA 3.63 Mess- und Prüfverfahren für die Schraubtechnik

1. Arbeitsgebiet

Der Fachbereich VDI/VDE-GMA FA 3.63 Mess- und Prüfverfahren für die Schraubtechnik beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit den Kenngrößen Drehmoment und Drehwinkel in Bezug auf die rückführbare Anwendung im Bereich der Schraubtechnik.

Es sollen Regelwerke für die Kalibrierung typischer Messmittel zur Verfügung gestellt werden. Darüber hinaus hat sich über die Jahre deutlich der Bedarf an Regelung der Anwendung dieser Messmittel, zur Ermittlung der Fähigkeiten von eingesetzten Schraubwerkzeugen herausgestellt. In den letzten Jahren wurden somit einige neue Richtlinien erarbeitet, die die Anwendung der Werkzeuge in der Praxis beschreiben. Es handelt sich hier um die Beschreibung der Anforderungen an Schraubwerkzeuge in Bezug auf den Einsatzfall. Dazu wurde die VDI/VDE 2682 in mehrere Blätter aufgeteilt. In diesem Zuge ist eine Auftrennung der Anforderungen nach Industriesegmenten erfolgt um z.B. der Automobilindustrie, dem Maschinenbau und Anlagenbau, oder der Prozessindustrie mit druckführenden Leitungen jeweils angepasste Richtlinien zur Verfügung zu stellen.

Als weiteres großes Themengebiet wird die VDI/VDE 2645 Reihe bearbeitet. In mehreren Blättern wird der Prozess und die Bewertung von Maschinenfähigkeit, Prozessfähigkeit sowie der Messunsicherheit geregelt werden.

Bereits erschienen ist das Blatt 2 „Fähigkeitsuntersuchung von Maschinen der Schraubtechnik“. Das Blatt 3 für die Prozessfähigkeit steht als Gründruck zur Veröffentlichung an. Für das Blatt 1 Messunsicherheit wird die Arbeitsgruppe gerade zusammengestellt und die Arbeit nach der Sommerpause starten.

Die weiteren Richtlinien des FA 3.63 sind nachführend aufgelistet und unterliegen einer regelmäßigen Überprüfung auf Aktualität.

Richtlinienüberblick:

- VDI/VDE 2639 Qualifikation in der Schraubtechnik
- VDI/VDE 2645- Bl. 2 Fähigkeitsuntersuchung von Maschinen in der Schraubtechnik - MFU
- VDI/VDE 2645- Bl. 3 Prozessfähigkeitsuntersuchung in der Schraubtechnik – PFU
- VDI/VDE 2646 Mindestanforderungen an Kalibrierungen
- VDI/VDE 2647 Typprüfung von Schraubwerkzeugen
- VDI/VDE 2648 Bl.1 Kalibrierung von direkt messenden Drehwinkelsystemen
- VDI/VDE 2648 Bl.2 Kalibrierung von indirekt messenden Drehwinkelsystemen
- VDI/VDE 2649 Vergleichende Leistungsmessung von hydraulischen Impulsschraubern
- VDI/VDE 2862 Bl.1 Mindestanforderungen an Schraubsysteme für die Automobilindustrie
- VDI/VDE 2862 Bl. 2 Mindestanforderungen an den Einsatz von Schraubsystemen und –werkzeugen

2. VDI/VDE 2645 Bl. 3 Prozessfähigkeit in der Schraubtechnik

Die erste Frage die es sich zu stellen gab war, warum braucht man eine eigene Richtlinie zur Prozessfähigkeitsbetrachtung / -bewertung speziell für die Schraubtechnik?

Wenn man sich jedoch mit dem Thema auseinandersetzt wird sehr schnell deutlich, dass die gewöhnlichen Ansätze nur bedingt anwendbar sind.

Hintergrund der Problematik ist, dass in der Schraubtechnik mit Hilfsgrößen wie Drehmoment und Drehwinkel versucht wird die Zielgröße Klemmkraft zu erzeugen. Wenn man nun die Komplexität die den Schraubprozess beeinflusst mit betrachtet, dann wird schnell deutlich wie komplex das Thema wirklich ist.

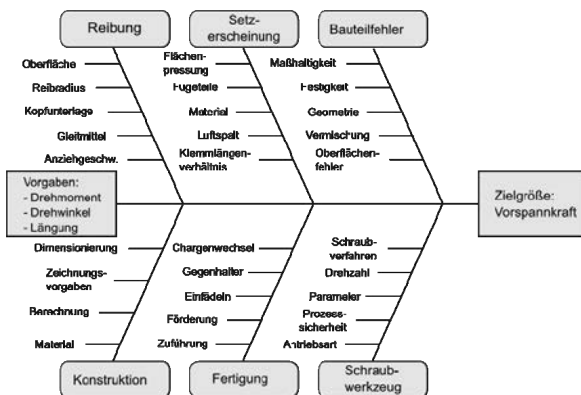


Bild 1: Wesentliche Einflussgrößen auf die Zielgröße Vorspannkraft

Die Lösung ist in einer Prozessbeschreibung von der Voruntersuchung des Verhaltens eines jeden Schraubfalls, über die Auswahl eines geeigneten Mess- / Auswerteverfahrens, bis hin zur statistischen Auswertung über verschiedenen Prozesszeitmodelle erfolgt.

Beim Durcharbeiten der neuen Richtlinie wird dem Anwender einiges an Grundkenntnis aus verschiedenen Bereichen abverlangt, jedoch haben wir uns in der Arbeitsgruppe sehr stark darum bemüht einen logischen Ablauf und umfassende Erklärungen mit aufzunehmen. Es werden die notwendigen Prozessschritte erläutert sowie die verschiedenen Messverfahren mit zusätzlichen Erläuterungen beschrieben. Im hinteren Teil ist ein umfangreicher Statistikteil aufgenommen worden, der im Detail die typischen unterschiedlichen Prozesszeitmodelle erläutert und so dem Anwender eine Hilfestellung bietet seine innerbetriebliche Umsetzung zu erleichtern.

Die Herausforderung bei der Ermittlung der Prozessfähigkeit stellt das nicht wieder reproduzierbare eingeleitete Drehmoment am Ende der Verschraubung dar. Man geht jedoch davon aus, dass sich ein stabiler Prozess reproduzierbar auch nach Abschluss der Verschraubung verhält und man dies unter Beachtung gewisser Rahmenbedingungen dann messtechnisch durch die Aufnahme von z.B. dem Weiterdrehmoment ermitteln kann. Da sich die Schraubfälle unterschiedlich verhalten und je nach Messverfahren andere Ergebnisse einstellen würden, ist dieser Punkt als Kern der Richtlinie zu sehen.

Ergänzend durch die sinnhafte Bewertung des Prozessverhaltens über einen längeren Zeitabschnitt, kann eine hinreichend aussagefähige Prozessfähigkeitsprüfung aufgebaut werden. Wie die Erläuterungen erkennen lassen bedingt dies gewisse Grundkenntnisse weshalb in dieser aber auch anderen Richtlinie aus dem FA 36.3 auf geschultes Personal hingewiesen wird.

3. VDI/DE 2639 Qualifizierungen der Schraubtechnik

Eine weitere Arbeitsgruppe arbeitet intensiv an der Erstellung einer Qualifizierungsmatrix, die es den zukünftigen Anwendern erleichtern soll die notwendigen Kompetenzen in Bezug auf Schraubtechnik je Aufgabengebiet der Mitarbeiter zu definieren.

Die Arbeitsgruppe tagt in sehr kurzen Abständen und in der Regel über je zwei Tage um diese komplexe Aufgabe in absehbarer Zeit zu einem ersten Abschluss zu führen.

Mehr Details entnehmen Sie bitte dem separaten Vortragsmanuskript der Arbeitsgruppe.

4. VDI/VDE 2648 Drehwinkel

Im Rahmen der Überarbeitungen von Richtlinien ist aufgefallen, dass die Grundlagen für den Drehwinkel aus der ehemaligen VDI 2605 nicht mehr veröffentlicht werden.

Unser Fachbereich hat es sich zur Aufgabe gemacht die guten und wichtigen Grundlageninformationen aus der ehemaligen Richtlinie insoweit zu überarbeiten, dass sie für die Notwendigkeiten und Anwendungen in der Schraubtechnik erhalten bleiben.

Was Sie erwarten dürfen ist eine überarbeitete Version, die um die hochgenauen Winkelberechnungen für die Raumfahrt oder andere entsprechende Anwendungen reduziert wurde.

Ziel ist es die Grundlagen zu erhalten, aber auf das in der Schraubtechnik notwendige Maß anzupassen.

Für diese Arbeitsgruppe konnten wir auch Experten aus Schraubtechnik fernerer Gebieten gewinnen. Ohne diese kompetenten Kräfte wäre die Arbeit vermutlich nicht so effizient umsetzbar gewesen.

Auch diese Richtlinie ist in ihrer letzten Phase der internen Fertigstellung und soll möglichst bald in den internen Freigabeprozess im FA 3.63 überführt werden.



VDE

Mess- und
Automatisierungstechnik

ISBN 978-3-18-092270-6

<https://doi.org/10.51202/9783181022702> - Generiert durch IP 218.73.218.80, am 24.01.2028, 14:54:25. © Urheberrechtlich geschützter Inhalt. Ohne gesonderte Erlaubnis ist jede unberechtigte Nutzung untersagt, insbesondere die Nutzung des Inhalts in Zusammenhang mit, für oder in KI-Systemen, KI-Modellen oder Generativen Sprachmodellen.