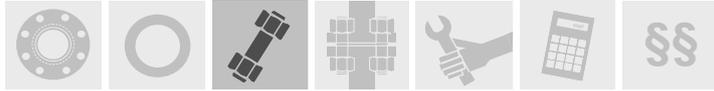


• Technische Information



• Verbindungselemente in Dichtverbindungen - konstruktive Hinweise und deren Historie

Bei einer Dichtverbindung wird zur Abdichtung zweier Bauteile ein Dichtelement, in der Regel aus Weichstoff, Metall-Weichstoff oder Metall verwendet (Abb.1).

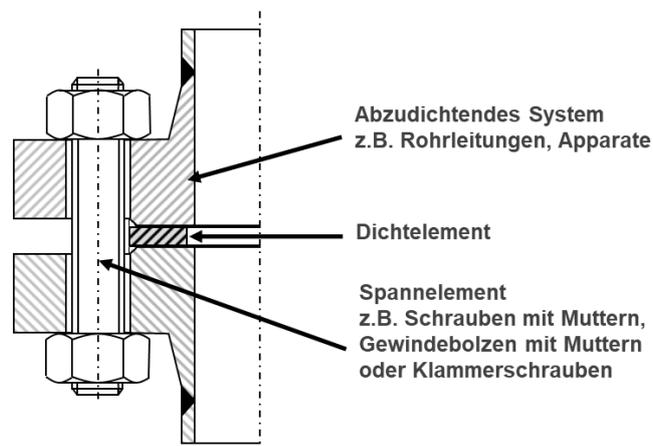


Abb.1: Dichtverbindungen
(Abbildung © Peter Thomsen, D-28211 Bremen)

Dichtverbindungen sind Schraubverbindungen mit Dichtelement und damit sehr komplexe Systeme.

Grundsätzlich gilt:

„Das wichtigste an der Schraubverbindung sind die Konstruktion und das/die Verbindungselement/e!“

Die einzuhaltenden Grundbedingungen findet man z.B. in den Büchern zu Schraubverbindungen aber auch in der VDI 2230 Blatt 1 [1] und für Verbindungen mit mehr als einer Schraube in der VDI 2230 Blatt 2:2014-12 [2]. Nebenbei, die VDI 2230 weist keine Berechnung für Dichtverbindungen mit Dichtungen im Krafthaupthschluss auf (siehe Bild 3.1/1 des Blattes 1 der Norm).

Sehr interessant sind die historische Entwicklung und die Aussagen in der jeweiligen Zeit zu Schraubverbindungen (Tab.1). Diese Aussagen aus den Büchern „Schraubverbindungen“ [3-7] stellen den jeweiligen Stand der Technik zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dar. Sie zeigen eine aufschlussreiche Entwicklung auf.

Tab.1: Stand der Technik bei Dichtverbindungen in der historischen Entwicklung					
Zeit	Quelle	übliche Dichtungen	Vorspannkraft	Relaxation	Schwarz-Weiß-Verbindungen Isolierverbindungen
1940	Berechnung und Gestaltung von Schraubverbindungen Dr.-Ing. habil. H. Wiegand und Ing. B. Haas Verlag Julius Springer Berlin	Weichstoffdichtungen z.B. Elastomer Kork	Für die Bemessung der Flanschverbindungs-schrauben ist die auf eine Schraube entfallende Vorspannkraft maßgebend, deren Vergrößerung durch Wärmedehnungen unbedingt berücksichtigt werden muss. Die anzuwendende Vorspannkraft wird meist gleich dem 1,5fachen des erforderlichen Dichtungsdruckes gewählt. Normalerweise dürfte ein Dichtungsdruck gleich dem 3fachen Dampfdruck ausreichen. Das Loswerden bei höheren Temperaturen kann meist durch festere Anziehen oder durch Unterlegscheiben aus einem Werkstoff mit größerer Wärmeausdehnung ausgeglichen werden.	Im Betrieb tritt durch Kriechen und Glättdrücken von Unebenheiten ein sog. „Setzen“ ein, für das die Hersteller von Rohrleitungen ihre Erfahrungswerte besitzen und das sich in der Größenordnung von 50% der Montagespannung.	Erhöhte Korrosion kann man vermeiden, wenn man die beiden Metalle durch Zwischenschichten voneinander isoliert, ... Als isolierende Unterlegscheiben eignen sich entweder Kunststoffe oder besser Metalle, die keine Potentialdifferenz gegenüber dem unedleren Teil haben.
	dito Zweite Auflage Springer-Verlag OHG Berlin/Göttingen/ Heidelberg	Gummi/Asbest (IT-Dichtung)	Die Vorspannung P_v einer Schraubenverbindung bei der Montage muss so groß gewählt werden, dass beim Wirken der Betriebskraft P_B noch eine ausreichende Vorspannkraft P_{vmin} verbleibt, um ein Lockern der Schraubenverbindung zu verhindern und außerdem die konstruktiv erforderlichen Klemmkraft zu erhalten. Die beste Sicherung gegen Losdrehen ist eine ausreichende Vorspannung. Aus ihnen ist zu entnehmen, dass wohl, abgesehen von besonderen Fällen, für die Vorspannung die 2 bis 3,5fache Höhe der Betriebsspannung eingesetzt werden darf.	Daher dürfen auch mitverspannte Unterlegscheiben keinesfalls aus plastischen oder quasiplastischen Stoffen, z. B. Kunststoff, bestehen, ...	
1951					
1962	dito Dr.-Ing. H. Wiegand und Dr.-Ing. K.-H. Illgner Dritte Auflage Springer-Verlag Berlin/Göttingen/ Heidelberg			Die beste Sicherung gegen Losdrehen ist eine ausreichende Vorspannung. Daher dürfen auch mitverspannte Unterlegscheiben keinesfalls aus plastischen oder quasiplastischen Stoffen, z. B. Kunststoff, bestehen, wenn Wert auf einen möglichst geringen Vorspannkraftverlust im Lauf der Zeit gelegt wird.	
1988	Schraubenverbindungen H. Wiegand, K.H. Kloos W. Thomala Vierte Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH	dito PTFE ab 1992 Asbestverbot ⇓ Faserstoff mit Elastomerbinder Grafit	Hohe Vorspannkraft sind bei zügig und/oder schwingungsbeanspruchten Schraubverbindungen erforderlich, wenn die Verbindungen Dichtfunktion zu erfüllen haben ... Ausreichend hohe Vorspannkraft.	Zur Vermeidung unzulässig großer Setz- und Kriechbeträge sollten keinesfalls plastische oder quasielastische Elemente (Dichtungen) mitverspannt werden.	
2007	dito 5. Auflage Springer Verlag				
2021	Anmerkung des Verfassers diverse „Technische Informationen“	Metall-Weichstoffdichtungen	Vorspannkraft $> 70\% R_{p0.2}$ siehe Technische Information „Optimale Schraubenauslastung“	Relaxationswert nach EN 13555 $P_{QR} > 0,9 = 10\%$ Kraftverlust Ausnahmen mit rechn. Nachweis $P_{QR} > 0,8 = 20\%$ Kraftverlust	elastische oder quasielastische Werkstoffe für Dichtungen nur im Kraftnebenschluss verwenden!

In der älteren Vergangenheit wird noch auf Dichtungen und ihr Relaxationsverhalten, Vorspannkraftverluste um 50% und mehr, eingegangen. Seit 1988 wird darauf hingewiesen, dass Dichtungen nicht im Kraftschluss verspannt werden sollten:

Schraubenverbindungen

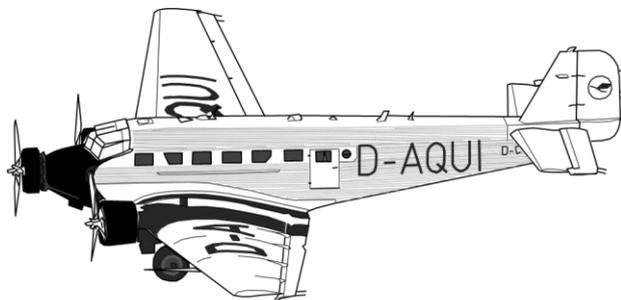
Zitat

„Zur Vermeidung unzulässig großer Setz- und Kriechbeträge sollten keinesfalls plastische oder quasielastische Elemente (Dichtungen) mitverspannt werden.“

Zitatende

Damit wäre die klassische Flanschverbindung mit relaxierenden Dichtwerkstoffen gestorben.

Ein Versuch einer Erklärung ergibt sich aus der Entwicklung der üblichen Flanschverbindungen. Diese entsprechen dem Stand der Technik aus den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts, des letzten Jahrtausends.



Die Flansche sind Anfang der 30er Jahre genormt worden. Die Abmessungen haben sich kaum verändert.



Die Junkers JU-52 und die Flanschen entsprechen dem gleichen Stand der Technik.

Abb.2: Stand der Technik

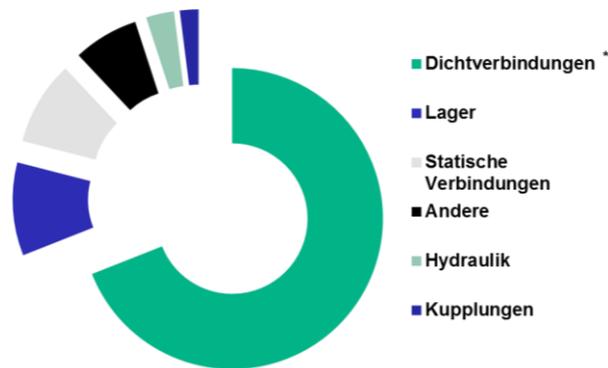
(Abbildung © Peter Thomsen, D-28211 Bremen)

Man kann sich ungefähr vorstellen, wie unsere Flugzeuge heute aussehen würden, wenn man sie nicht weiterentwickelt hätte.

Es fällt auf, dass die Auswahl der Dichtungen sich oft über die Grundsätze zu Schraubverbindungen hinwegsetzt. Erstaunlicherweise halten sich Dichtwerkstoffe, die eine hohe Relaxation der Schraubverbindung verursachen, sie sind die meistverwendeten Dichtungsarten, hartnäckig. Die Häufung von Dichtungen als Versagensursache von Dichtverbindungen finden sie in Abb.3 zu Ursachen von Anlagenausfällen.

Einen Grund mögen ggfs. höhere Preise für die Dichtung sein. Die tatsächlichen Folgekosten diverser Dichtungsarten und -werkstoffe werden oft nicht beachtet. Die technische Information „Dichtungskosten“ unter www.thomsen-bremen.de gibt hierzu einiges an Anhaltspunkten. Das Fazit ist, die günstigsten Dichtungen sind Metall-Weichstoffdichtungen wie Kammprofil-, Spiral- und Wellringdichtungen.

Aber auch die gesetzlichen Anforderungen an Dichtungen werden oft nicht eingehalten. Hierzu finden Sie auf meiner Homepage die technische Information „Anforderungen an Dichtungen aus Stand der Technik, Beste verfügbare Technik und DGRL“.



* Dichtverbindungen vermutlich statisch und dynamisch

Quelle: TMT, Hans-Joachim Tückmantel

Abb.3: Ursachen für Anlagenausfälle
(Abbildung © Peter Thomsen, D-28211 Bremen)

Besonders auffällig ist der Wandel bei Schwarz-Weiß- und Isolierverbindungen. Während man 1940 noch, wenn auch eingeschränkt, Unterlegscheiben aus Kunststoff empfahl, diese erlauben nur sehr niedrige Schraubenvorspannkräfte, mit $\approx 10\%$ Schraubenauslastung, wurden diese bereits 1962 verboten. Die Gefahr des selbsttätigen Lösens war zu groß. Bereits ab 1988 wurde das Mitverspannen, Zitat: „elastischer oder quasiplastischer Werkstoffe (Dichtungen)“, aus naheliegenden Gründen untersagt.

In einer Untersuchung wurde von mir das Setzverhalten verschiedener Werkstoffe nachgewiesen, siehe Abb.4.

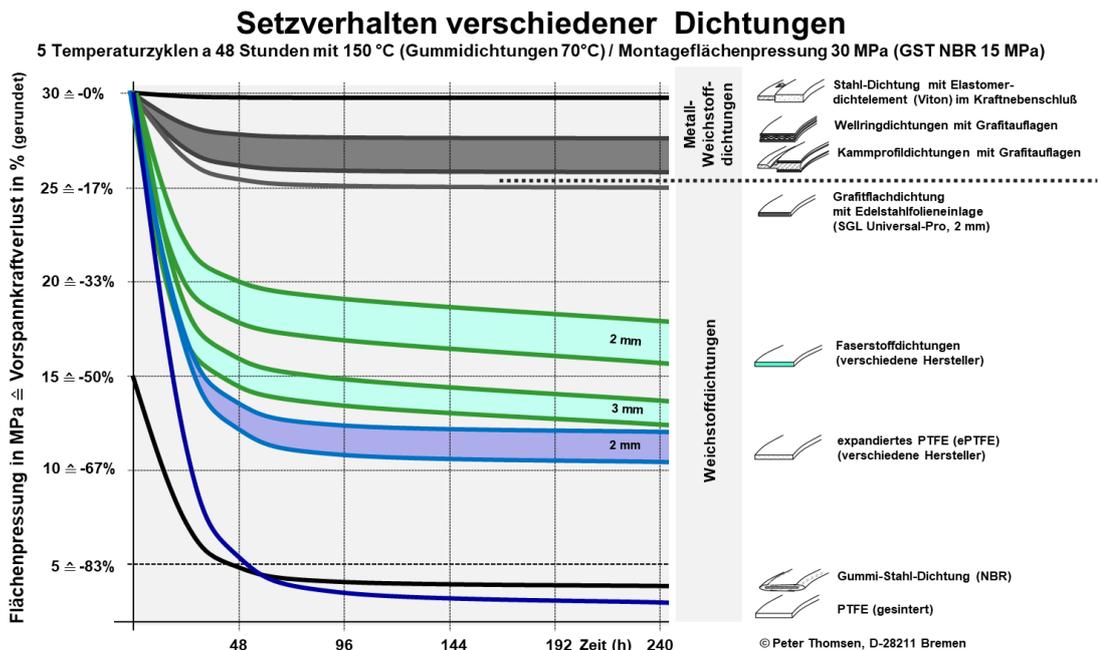


Abb.4: Untersuchung des Setzverhaltens verschiedener Dichtungsarten

Im Sinne der Schraubentechnik sind also Dichtungswerkstoffe mit hohem Setzpotential bereits seit über 30 Jahren nicht zulässig. Extrem hohes Setzpotential haben Weichstoffdichtungen aus Faserstoff 2 mm mit $\approx 40\%$ und 3 mm mit $\approx 60\%$, PTFE mit $\approx 90\%$, ePTFE mit $\approx 60\%$ und aus Elastomeren mit $\approx 85\%$. Lediglich Flachdichtungen aus Grafit liegen in einem schraubentechnisch noch gerade akzeptablen Rahmen mit $\approx 17\%$. Es fällt auf, dass Dichtungen aus Faserstoff anhaltend fließen. Metallweichstoffdichtungen liegen, je nach Hersteller, bei deutlich niedrigeren Vorspannkraftverlusten zwischen 10 und 15%. Wird das Dichtelement in den Kraftnebenschluss gelegt, gibt es so gut wie keine dichtungsbedingten Vorspannkraftverluste. Diese Untersuchung wurde in der DICHT! 3.2018, in der Serie „Genauer betrachtet!“ veröffentlicht.

Ähnliche Werte ermittelte Dr. Christoph Dümpelmann in seiner Dissertation [8]. Die folgende Abbildung (Abb.5) zeigt das Relaxationsverhalten verschiedener Dichtelemente.

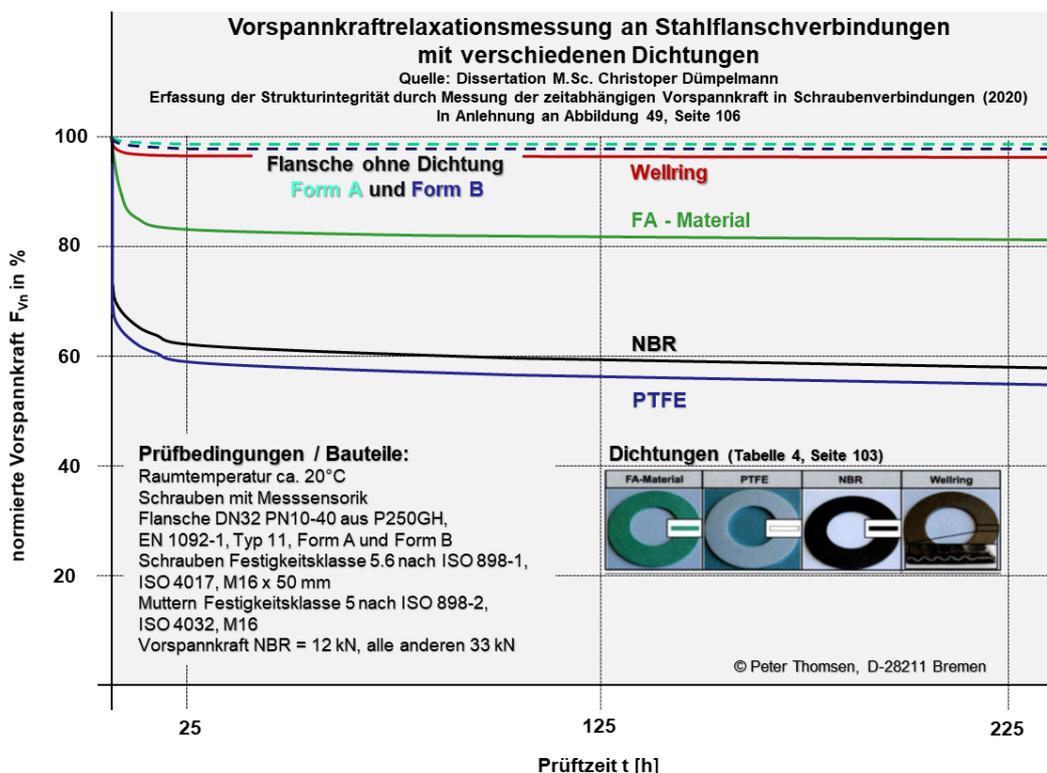


Abb.5: Untersuchung von Dr. Christoph Dümpelmann

Folgende Ergebnisse wurden zu Abb.5 beschrieben:

Zitat: *Bei der Wellringdichtung (Hinweis vom Autor: Wellringdichtungen mit Auflagen sind Metall-Weichstoff-Dichtungen) findet nach dem Setzen weiterhin ein messbarer Vorspannkraftverlust statt. Dieser ist jedoch deutlich geringer gegenüber den drei Weichstoffdichtungen. In der Wellringdichtung ist, wie der Name bereits erläutert, ein mit konzentrischen Wellen verformtes Blech verbaut. Dies wirkt wie eine metallische Feder und ist deshalb relaxationsunabhängig, vgl. Tab. 4.*

Die Weichstoffdichtungen weisen ein stärkeres Kriechen auf. Wie bereits erläutert, zeigt die PTFE Dichtung auch hier ihr extremes Fließverhalten mit der Konsequenz eines großen Vorspannkraftverlustes. Bei der Montage der NBR Dichtung ist es nahezu unmöglich, die gewünschte Vorspannkraft einzustellen, da ein schnelles Kriechen stattfindet. Zitatende

Weitere Werte wurden in einem kürzeren Messzeitraum bei zusätzlichem Temperatureinfluss ermittelt (Abb.6).

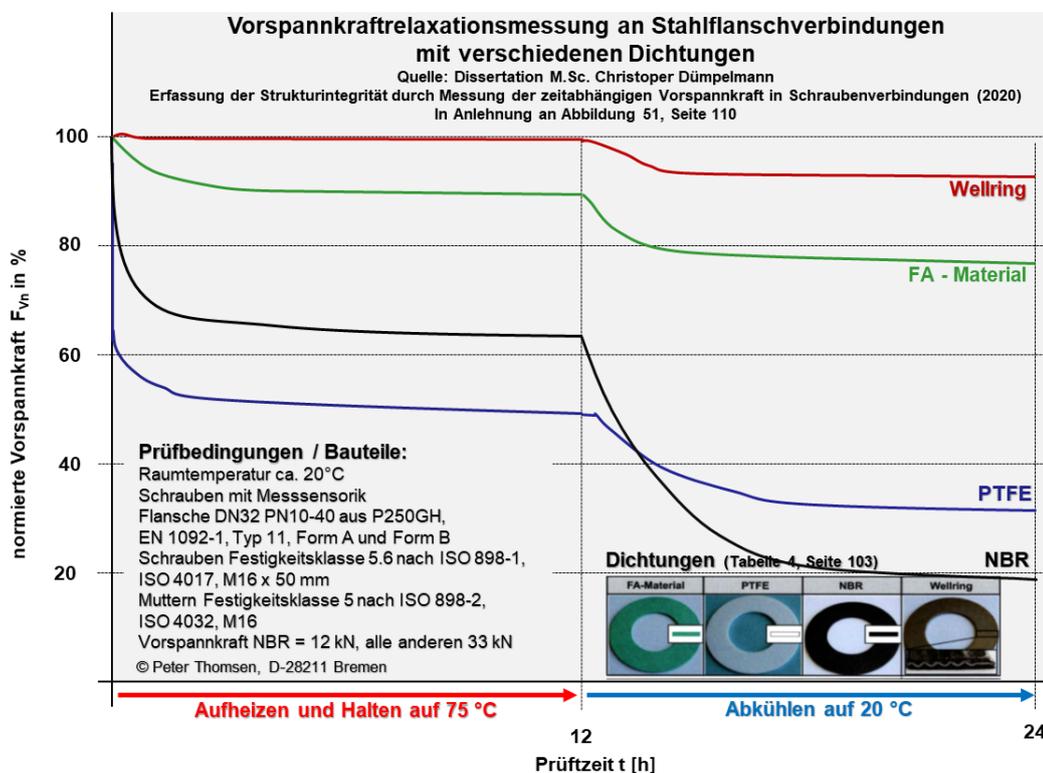


Abb.6: Untersuchung mit Temperatureinfluss von Dr. Christoph Dümpelmann

Folgende Ergebnisse wurden zu Abb.6 beschrieben:

Zitat: *Qualitativ verhalten sich die beobachteten Systeme gleich zu denen der Raumtemperatur, jedoch mit größeren Vorspannkraftverlusten bei wesentlich kürzerer Prüfzeit.* Zitatende

Im Sinne der Schraubentechnik sind Dichtungswerkstoffe mit hohem Setzpotential bereits seit über 30 Jahren nicht zulässig. Extrem hohes Setzpotential haben Weichstoffdichtungen Elastomer-, Faserstoff- und PTFE-Dichtungen.

Mein Motto:

„Ersetze Dichtungen aus relaxierenden Werkstoffen und werde den Anforderungen an eine geschraubte Dichtverbindung gerecht. Spare dadurch Kosten, erhöhe die Betriebssicherheit der Anlagen und tue etwas für Klima- und Umweltschutz.“

Weitere interessante Informationen zu verschiedenen Themen finden Sie auf der Homepage www.thomsen-bremen.de.

Zur technischen Beratung stehe ich Ihnen selbstverständlich gerne auch kurzfristig persönlich zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen aus Bremen
 Peter Thomsen

Haftungsausschluss:

Die Inhalte der Regeln sind zum Teil zitiert, zum Teil in den Worten der Regeln wiedergegeben, die Anmerkungen und Auslegungen beruhen auf langjähriger Erfahrung, dienen der Entscheidungshilfe und begründen keinen Anspruch auf Gewährleistung.

© Peter Thomsen, D-28211 Bremen

Stand 14.01.2022

Quellenverzeichnis:

- [1] VDI 2230 Blatt 1:2015-11, Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Zylindrische Einschraubenverbindungen
- [2] VDI 2230 Blatt 2:2014-12, Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubenverbindungen - Mehrschraubenverbindungen
- [3] Berechnung und Gestaltung von Schraubverbindungen, Dr. Ing. habil. H. Wiegand und Ing. B. Haas, Reihe Konstruktionsbücher Nr.5, Verlag Julius Springer, Berlin, 1940
- [4] Berechnung und Gestaltung von Schraubverbindungen, Dr. Ing. habil. H. Wiegand und Ing. B. Haas, Reihe Konstruktionsbücher Nr.5, Zweite Auflage, Springer-Verlag, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1951
- [5] Berechnung und Gestaltung von Schraubverbindungen, Dr. Ing. H. Wiegand und Ing. B. Haas, Reihe Konstruktionsbücher Nr.5, Dr.-Ing. H. Wiegand und Dr.-Ing. K.- H. Illgner, Dritte Auflage, Springer-Verlag OHG, Berlin/Göttingen/Heidelberg, 1962
- [6] Schraubenverbindungen, Reihe Konstruktionsbücher Nr.5, H. Wiegand, K.-H. Kloos, W. Thomala, Vierte Auflage, H. Wiegand, K.-H. Kloos, W. Thomala, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, 1988, ISBN 978-3-540-17254-3 und 978-3-662-09819-6 (eBook)
- [7] Schraubenverbindungen, H. Wiegand, K.-H. Kloos, W. Thomala, 5. Auflage; Verlag Springer Berlin Heidelberg New York, 2007, ISBN-13 978-3-540-21282-9
- [8] Erfassung der Strukturintegrität durch Messung der zeitabhängigen Vorspannkraft in Schraubenverbindungen, universi - Universitätsverlag Siegen, 2020, ISBN 978-3-96182-074-0