

Dichten → Die grundlegenden Baustellen sind Dauerbaustellen S. 8

Nachhaltiges Kleben → Viele Facetten und hohes Potenzial S. 24

Polymer → Fluorpolymere unterstützen die Erreichung der EU-Green-Deal-Ziele S. 42

DICHT!

www.isgatec.com

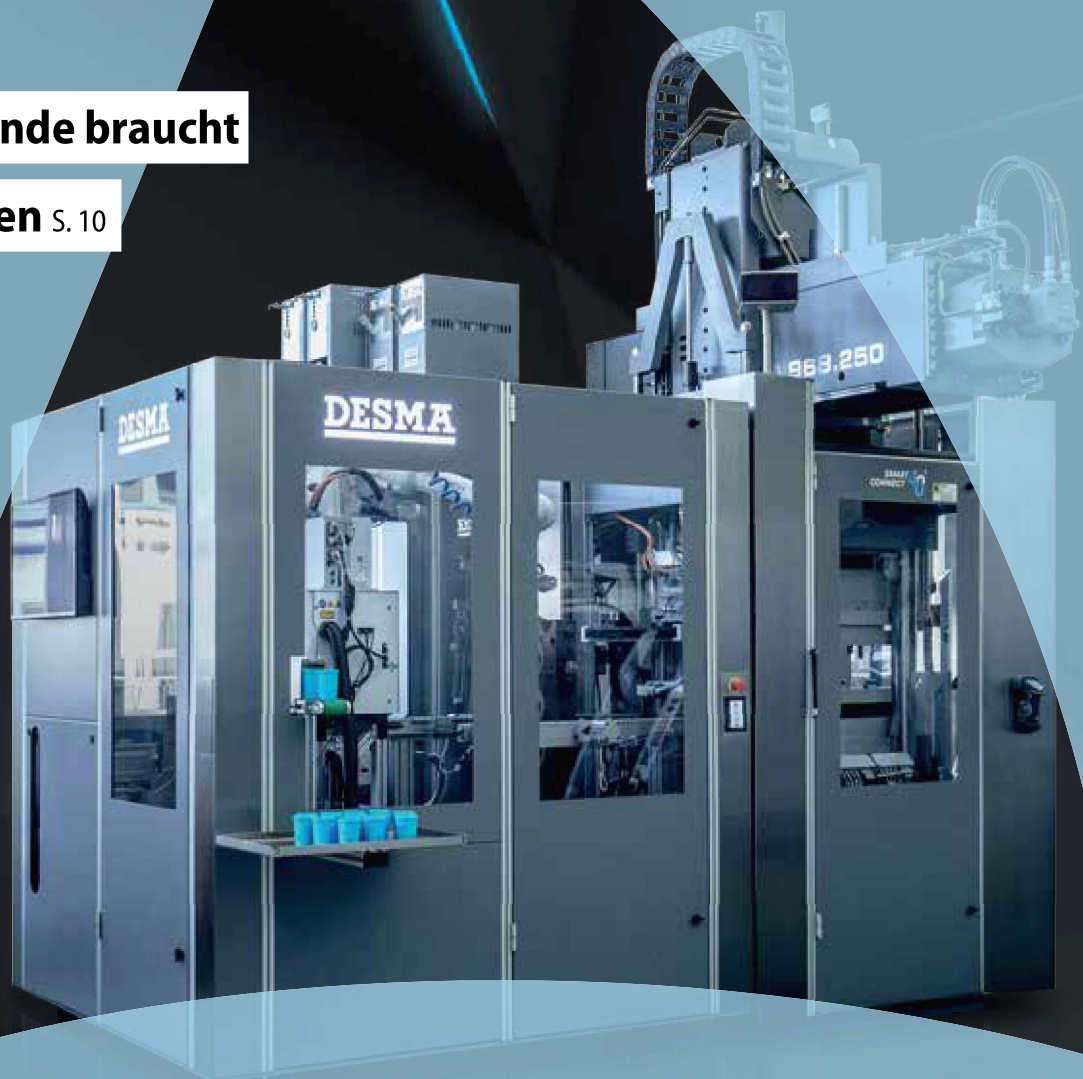
Dichten. Kleben. Polymer. verstehen

2.2022

Dichten

Die Energiewende braucht

Großdichtungen S. 10



Sichere Dichtverbindungen aus Sicht der Schraubtechnik

Konstruktive Hinweise und deren Historie

BRANCHENÜBERGREIFEND STATISCHE DICHTUNGEN – Es gibt oft technische Mittel und Wege, die auf den ersten Blick scheinbar die Lösung für ein Problem bieten. Auf den zweiten Blick und genauer betrachtet, werden systembedingte Grenzen deutlich – und Probleme in der Praxis sind dann eigentlich vorprogrammiert. Thema dieser Ausgabe sind Dichtverbindungen zur Abdichtung von zwei Bauteilen.

Bei einer Dichtverbindung wird zur Abdichtung zweier Bauteile ein Dichtelement, i.d.R. aus Weichstoff, Metall-Weichstoff oder Metall, verwendet (Bild 1). Dichtverbindungen sind oft Schraubverbindungen mit Dichtelementen und damit sehr komplexe Systeme. Grundsätzlich gilt: Das Wichtigste an der Schraubverbindung sind die Konstruktion und das bzw. die Verbindungselement/e. Die einzuhaltenden Grundbedingungen stehen z.B. in verschiedenen 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 Krafthaupschluss auf (siehe Bild 3.1/1 des Blattes 1 der Norm).

Die Historie

Interessant sind die historische Entwicklung und die Aussagen in der jeweiligen Zeit zu Schraubverbindungen (Tab. 1). Diese Aussagen aus den Büchern zu „Schraubverbindungen“ [3-7] stellen den jeweiligen Stand der

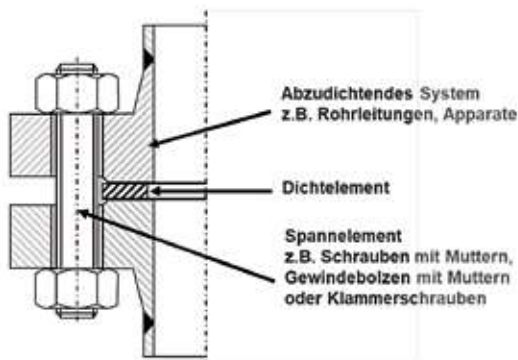


Bild 1: Dichtverbindungen (Bild: Peter Thomsen)

Bild 2: Untersuchung des Setzverhaltens verschiedener Dichtungsarten (Bild: Peter Thomsen)

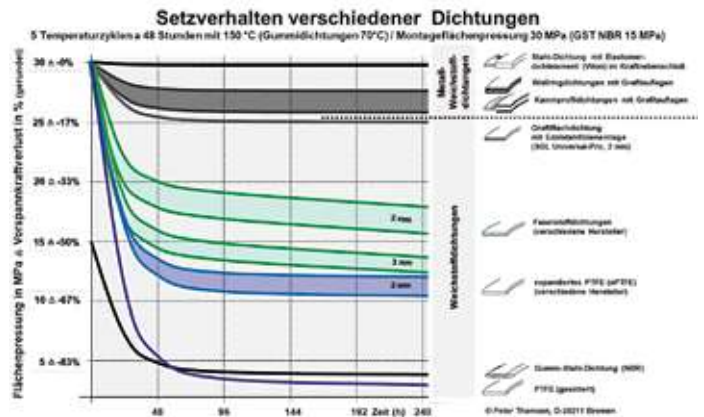


Bild 3: Untersuchungsergebnisse (Bild: Peter Thomsen)

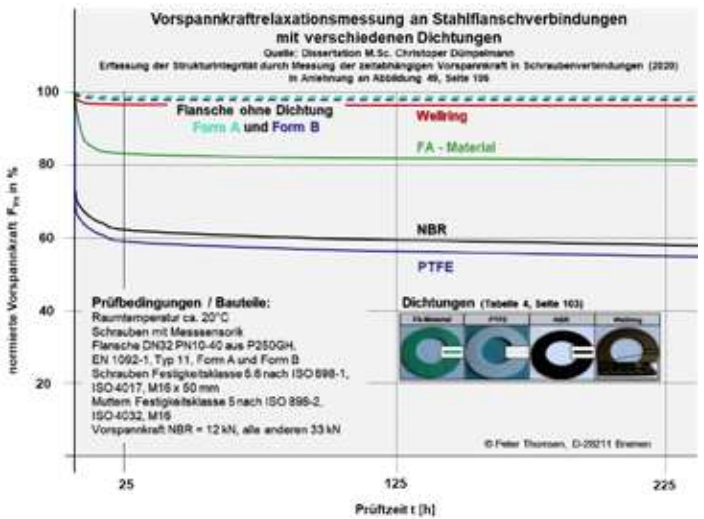
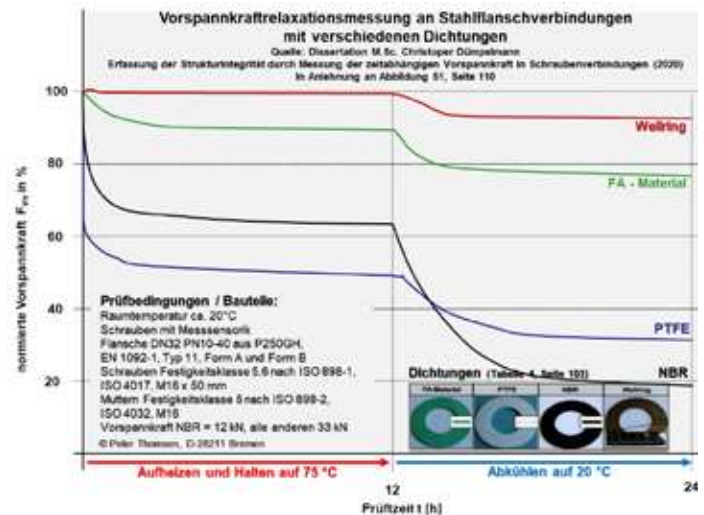


Bild 4: Untersuchung mit Temperatureinfluss (Bild: Peter Thomsen)



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 festeres Anziehen oder durch Unterlegscheiben aus einem Werkstoff mit größerer Wärmeausdehnung ausgeglichen werden.	Im Betrieb tritt durch Kriechen und Glattrücken 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 Klemmkräfte 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.	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.	Daher dürfen auch mitverspannte Unterlegscheiben keinesfalls aus plastischen oder quasiplastischen Stoffen, z. B. Kunststoff, bestehen, ...
1951	dito Dr.-Ing. H. Wiegand und Dr.-Ing. K.-H. Illgner Dritte Auflage Springer-Verlag Berlin/Göttingen/ Heidelberg				
1962	dito Dr.-Ing. H. Wiegand und Dr.-Ing. K.-H. Illgner Dritte Auflage Springer-Verlag Berlin/Göttingen/ Heidelberg				
1988	Schraubenverbindungen H. Wiegand, K.H. Kloos W. Thomala Vierte Auflage Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH	dito PTFE ab 1992 Asbestverbot ↓ Faserstoff mit Elastomer-binder Grafit	Hohe Vorspannkraft sind bei zügig und/oder schwingungsbeanspruchten Schraubverbindungen erforderlich, wenn die Verbindungen Dichtfunktion zu erfüllen haben ...	Zur Vermeidung unzulässig großer Setz- und Kriechbeträge sollten keinesfalls plastische oder quasielastische Elemente (Dichtungen) mitverspannt werden.	
2007	dito 5. Auflage Springer Verlag		Ausreichend hohe Vorspannkraft.		
2021	Anmerkung des Verfassers diverse „Technische Informationen“	Metall-Weichstoff-Dichtungen	Vorspannkraft > 70% $R_{p0,2}$ siehe Technische Information „Optimale Schraubenauslastung“	Relaxationswert nach EN 13555 $P_{QR} > 0,9 = 10\%$ in Ausnahmen > 0,8 = 20%	elastische oder quasielastische Werkstoffe für Dichtungen nur im Kraftnebenschluss verwenden!

Tab. 1: Stand der Technik bei Dichtverbindungen in der historischen Entwicklung (Quelle: Peter Thomsen)

Technik zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dar. Sie zeigen eine aufschlussreiche Entwicklung auf. In der älteren Vergangenheit wird noch auf Dichtungen und ihr Relaxationsverhalten, auf Vorspannkraftverluste um 50% und mehr, eingegangen. Seit 1988

wird darauf hingewiesen, dass Dichtungen nicht im Kraftschluss verspannt werden sollten: „Zur Vermeidung unzulässig großer Setz- und Kriechbeträge sollten keinesfalls plastische oder quasielastische Elemente (Dichtungen) mitverspannt werden.“ [6]. Damit wäre die

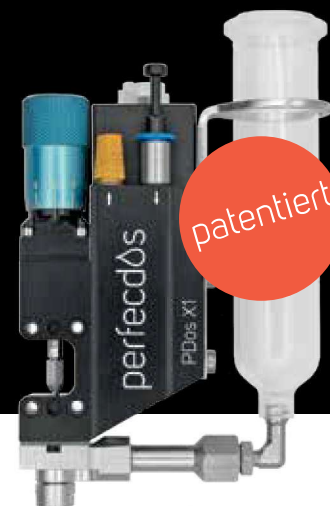
klassische Flanschverbindung mit relaxierenden Dichtwerkstoffen „gestorben“.

Ein Versuch einer Erklärung zu dieser Entwicklung ergibt sich aus der Entwicklung der üblichen Flanschverbindungen. Diese ent-

 DICTdigital: **Zum Lösungspartner**

perfecdos

perfekt dosiert



Kontaktlose Mikrodosierung –
EINFACH. SCHNELL. HOCHPRÄZISE.
PDos X1 – Dosierperformance auf einem neuen Level



 ENGINEERED & MADE IN GERMANY
www.perfecdos.com

sprechen dem Stand der Technik aus den 30er Jahren des letzten Jahrtausends. Im Gegensatz dazu ist bei der Auswahl von Dichtungen vieles beim Alten geblieben und in der Praxis setzten sich immer noch Entscheidungen über die Grundsätze zu Schraubverbindungen hinweg. So halten sich Dichtwerkstoffe, die eine hohe Relaxation der Schraubverbindung verursachen und in Anlagen zu finden sind. Da ist es dann auch nicht verwunderlich, dass Dichtungen als Versagensursache von Dichtverbindungen und damit Anlagenausfällen einen großen Anteil haben.

Ein Grund für solche Dichtungsentscheidungen mögen höhere Preise für verschiedene Dichtungen sein – wobei allerdings die tatsächlichen Folgekosten diverser Dichtungsarten und -werkstoffe in der Praxis oft nicht im Zusammenhang betrachtet werden. Unter TCO-Betrachtungen sind die günstigsten Dichtungen die, die wenig Anlagenausfälle verursachen und lange Standzeiten haben, was dann oft für Metall-Weichstoffdichtungen wie Kammprofil-, Spiral- und Wellringdichtungen spricht. Aber auch die gesetzli-

chen Anforderungen an Dichtungen werden in der Praxis nicht immer nicht eingehalten.

Besonders auffällig ist der Wandel bei Schwarz-Weiß- und Isolierverbindungen. Während man 1940, wenn auch eingeschränkt, Unterlegscheiben aus Kunststoff empfahl, (diese erlauben nur sehr niedrige Schraubenvorspannkräfte mit $\approx 10\%$ Schraubenauslastung) wurden diese 1962 verboten. Die Gefahr des selbsttätigen Lösens war zu groß. Ab 1988 wurde dann das Mitverspannen, „[...] elastischer oder quasiplastischer Werkstoffe (Dichtungen) [...]“ [6] aus naheliegenden Gründen untersagt.

Aktuelle Untersuchungen und Erfahrungen

Eigene Untersuchungen zum Setzverhalten verschiedener Werkstoffe kamen zu den Ergebnissen in Bild 2. Aus Blick der Schraubentechnik sind also Dichtungswerkstoffe mit hohem Setzpotenzial bereits seit mehr als 30 Jahren nicht zulässig. Extrem hohes Setzpotenzial 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 schraubtechnisch 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. Ähnliche Werte ermittelte Dr. Christoph Dümpelmann in seiner Dissertation [8]. Bild 3 zeigt das Relaxationsverhalten verschiedener Dichtelemente. Dazu ist hier Folgendes beschrieben: „Bei der Wellringdichtung (Hinweis: 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.



DICHT!digital: Melden Sie sich noch heute für die 21. ISC 2022 an!

21st ISC

International Sealing Conference Internationale Dichtungstagung

Stuttgart, Germany
Oct. 12 – 13, 2022



www.sealing-conference.com

Eine Kooperation von



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.“

Weitere Werte wurden in [8] in einem kürzeren Messzeitraum bei zusätzlichem Temperatureinfluss ermittelt (Bild 4) und wie folgt beschrieben: „Qualitativ verhalten sich die beobachteten Systeme gleich zu denen der Raumtemperatur, jedoch mit größeren Vorspannkraftverlusten bei wesentlich kürzerer Prüfzeit.“

Fazit

Im Sinne der Schraubentechnik sind Dichtungswerkstoffe mit hohem Setzpotenzial bereits seit mehr als 30 Jahren nicht zulässig. Werden Dichtungen aus relaxierenden Werkstoffen ersetzt, werden Anwendende den Anforderungen an eine geschraubte Dichtverbindung gerecht. Das spart Kosten, erhöht die Betriebssicherheit der Anlagen und dient dem Klima- und Umweltschutz.

Literatur

- [1] VDI 2230 Blatt 1:2015-11, Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubverbindungen - Zylindrische Einschraubverbindungen
- [2] VDI 2230 Blatt 2:2014-12, Systematische Berechnung hochbeanspruchter Schraubverbindungen - Mehrschraubverbindungen
- [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] Schraubverbindungen, 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] Schraubverbindungen, 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 Schraubverbindungen, universi - Universitätsverlag Siegen, 2020, ISBN 978-3-96182-074-0

Weitere Informationen

Peter Thomsen-Industrie-Vertretung
Vertriebs- und Ingenieurbüro
www.thomsen-bremen.de



Von Peter Thomsen, Inhaber



DICHTdigital: Ein Pumpenleben lang begleitet. Überzeugen Sie sich!



DICHTdigital: **Zum Lösungspartner**

**ETWAS MEHR ZU
TUN, ALS WIR TUN
MÜSSEN, IST AUCH
BEIM SERVICE UNSER
PRINZIP.**

Lösungen und Know-how für die Entnahme, Aufbereitung sowie Auftragung verschiedenster Materialien – für halb- und vollautomatisierte Montageprozesse.