

Flanschberechnung DIN EN 1591:2009-10

Kritik der Norm und Vorschläge zur Verbesserung

Dipl.-Ing.(TH) Hans J. Tückmantel

Die Europäische Norm zur Berechnung von verschraubten Flanschverbindungen [1] ist ein solide aufgebautes Normenwerk, doch hat sich leider in der neuesten Ausgabe von 2009 unter Beachtung der Addenda 1 eine Reihe von Schreibfehlern eingeschlichen. Darüber hinaus sind einige der seit der Ausgabe von 2001 bekannten Mängel nicht abgestellt worden. Sie betreffen u. a. auch die Überprüfung der erforderlichen Flanschdicke im "Anhang A" und das Flussdiagramm im "Anhang F".

Diese Norm enthält – wie gesagt – einige unberichtigte Fehler der vorigen Ausgabe sowie leider auch neue Druckfehler und eben systematische Fehler.

1. Zunächst sollen die Druckfehler kurz aufgeführt werden, damit die Anwender diese vermeiden können:

- In Gleichung (17) muss es in der Klammer $b_F \times d_E$ statt $b_F \cdot d_E$ heißen.
- In Gleichung (19) muss auf der linken Seite γ statt λ stehen.
- Gleichung (36) muss lauten $A_{Gt} = \pi \times d_{Gt} \times b_{Gt}$ und nicht $A_{Ge} = \pi \times d_{Gt} \times b_{Gt}$.
- In Gleichung (45) muss es heißen $\Delta U_I = l_B \times \alpha_{BI}$ u. s. w. Auch in der Anmerkung ist auf der rechten Seite das falsche e_B durch ein richtiges l_B zu ersetzen. Ein Formelzeichen e_B gibt es nicht. Bei den Formelzeichen des Abschnitts 3.3 ist in der Zeile für l_B , l_s außer dem Hinweis auf die Gleichung (34) auch ein Hinweis auf die Gleichung (45) anzubringen.
- In Gleichung (71) muss es im Bruch unter der Wurzel $\left(\frac{F_B}{A_B}\right)^2$ statt $\left(\frac{1}{A_B}\right)^2$ heißen.
- In Gleichung (80) muss es vor der geschweiften Klammer $\text{sign}\{$ und nicht $\text{sin}\{$ heißen.
- In Tabelle 2 muss es in der fünften Zeile der zweiten Spalte heißen $\Psi_{\min} < \Psi_{\text{opt}} \leq \Psi_0$ und nicht $\Psi_{\min} < \Psi_0 \leq \Psi_0$.

2. Die angesprochenen systematischen Unzulänglichkeiten betreffen sowohl die *1591-1:2009* als auch die Norm der Dichtungskennwerte *DIN EN 1591-2:2008-9* (im Folgenden kurz *1591-2:2008* genannt). Beginnen wir mit Letzterer.

2.1 Im vierten Absatz der *1591-2:2008* ist angeschrieben, Zitat: "Dieses Dokument ersetzt DIN V ENV 1591-2:2001." Es scheint dabei niemandem aufgefallen zu sein, dass damit nur noch Dichtungskennwerte für Flachdichtungen aus Weichstoffen oder Metall/Weichstoffen nach Bild 3a genormt sind.

Allen Flanschverbindungen mit Metalldichtungen – und das sind *sämtliche* in *1591-1:2009* dargestellten Querschnitte nach Bild 3a bis 3f – sind damit die Berechnungsgrundlagen entzogen. Es sind somit alle Flanschverbindungen im Bereich Hochdruck und/oder Hochtemperatur mit Linsendichtungen, Ring-Joint-Dichtungen oder anderen Profildichtungen aus massiven Metallen betroffen.

2.1.1 Eine systematische Schwachstelle ist in *1591-1:2009* im Abschnitt "1.3.1c Geometrie" und insbesondere im "Anhang A" festzustellen. Danach wird die mindestens erforderliche Flanschblattdicke e_F für besonders hohe Schraubenkräfte bzw. Dichtungskräfte größer oder gleich Null. Diese triviale Aussage tritt bei einem zulässigen Auslastungsgrad $\Phi = 1$ auf. Dann nämlich wird der Ausdruck unter der Wurzel gleich Null, also $e_F \geq 0$. Das Ergebnis für die Abschätzung der Flanschblattdicke bei etwas kleineren Auslastungsgraden kann deshalb nur mit größter Skepsis betrachtet werden.

2.1.2 Ein weiterer systematischer Mangel in diesem Fall äußert sich auch darin, dass die Lage des Dichtdurchmessers keine Beachtung findet. Die befürchtete "ungleichmäßige Dichtungspressung" wird wesentlich beeinflusst von der Anordnung der Dichtung mehr zum Innendurchmesser hin oder mehr zum Lochkreisdurchmesser hin. Dichtungen, die nahe am Innendurchmesser angeordnet sind, werden gleichmäßiger gepresst als solche mit größerem Dichtdurchmesser und näher am Lochkreis, da die angeschlossene Schale versteifend wirkt und die Ebenheit erhalten will.

2.2 In *1591-1:2009* ist ein weiterer systematischer Fehler in Gleichung (49) zu verzeichnen. Es wurde für die Mindest-Dichtungskraft $F_{G0min} = A_{Ge} \times Q_A$ angeschrieben, obgleich im Entwurf DIN EN 1591-12001/prA1:2005 richtig $F_{G0min} = A_{Ge} \times Q_{min(L)}$ notiert war. Dies ist auch in Übereinstimmung mit der DIN EN 13555:2005; denn als Dichtungskennwert $Q_{min(L)}$ wird die "erforderliche Mindest-Flächenpressung für Dichtheitsklasse L bei Montage" bezeichnet.

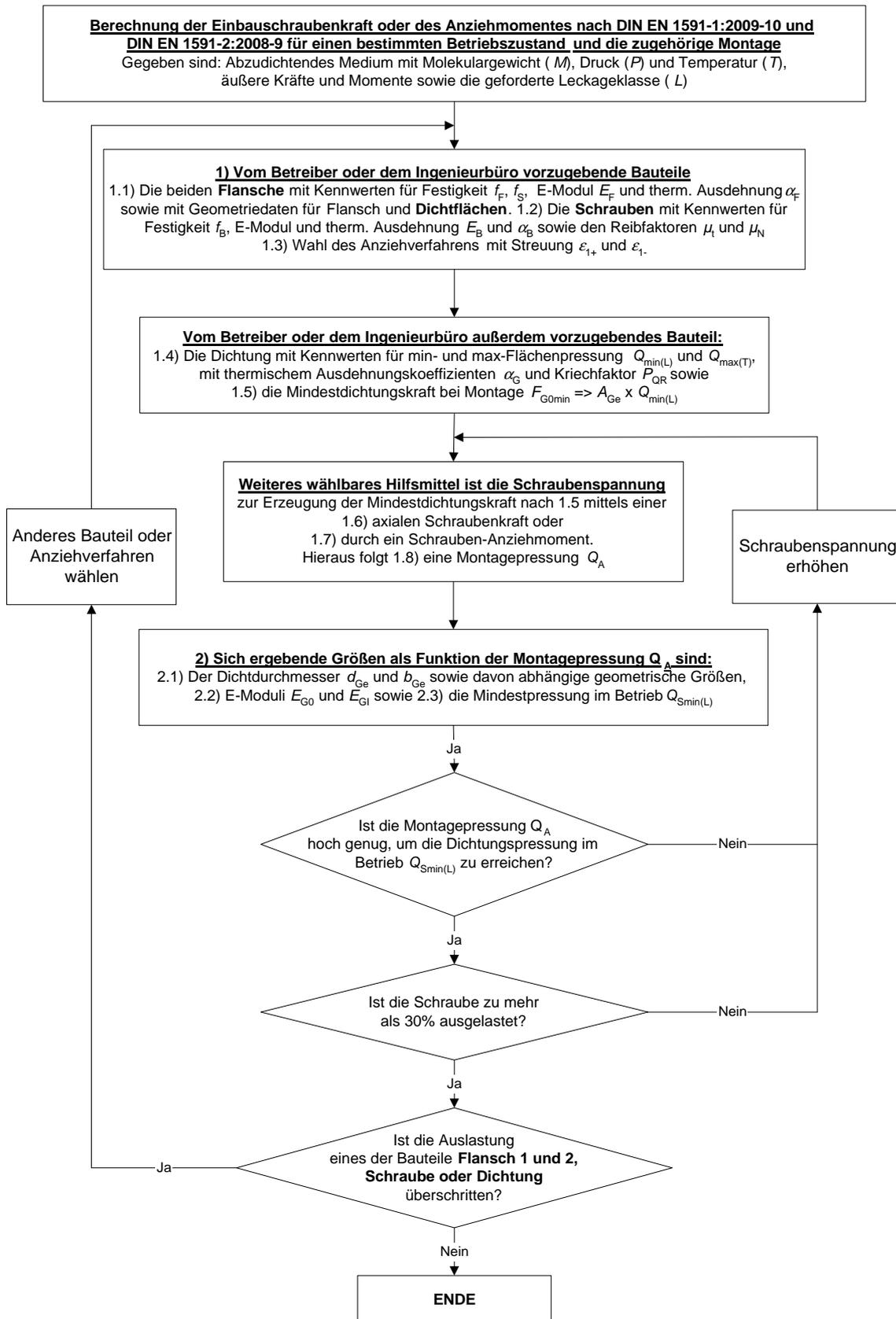
Q_A dagegen ist die Flächenpressung, die sich bei der Montage mit einer beliebigen Kraft erst ergibt, und demnach kein Dichtungskennwert sein kann. Q_A hängt auch von den sich ergebenden geometrischen Größen ab, so dass z. B. eine Verdoppelung der Schraubenkraft nicht unbedingt zu einer Verdoppelung von Q_A führt, da sich der effektive Dichtdurchmesser und die effektive Dichtbreite verändern.

Weil Q_A beliebig ist, wird Gleichung (49) in der Form $F_{G0min} = A_{Ge} \times Q_A$ sinnlos. Die Mindest-Dichtungskraft F_{G0min} kann hierbei beliebig groß werden. Es muss also wieder wie im Entwurf DIN EN 1591-12001/prA1:2005 heißen: $F_{G0min} = A_{Ge} \times Q_{min(L)}$. Damit ist die mindestens erforderliche Flächenpressung gemeint, mit der die Forderung der Leckageklasse erreicht werden kann – allerdings ist in diesem Fall auch $Q_A = Q_{min(L)} = Q_{Smin(L)}$. Der tabellierte Wert $Q_{min(L)}$ ist somit der Startwert für die iterative Findung des geeigneten Wertes Q_A .

3. Das Flussdiagramm für die Berechnungsmethode im "Anhang F" ist für eine Berechnung nach *EN 1591-1:2009* unbrauchbar, weil vergessen wurde, die Schritte zu erwähnen, die erforderlich sind, um eine Berechnung für Flanschverbindungen mit Flachdichtungen entsprechend *1591-2:2008* und Dichtungskennwerten nach DIN EN 13555 durchzuführen.

Das soll im Folgenden an dem hier vorgestellten Flussdiagramm nach Bild 1 erläutert werden.

Bild 1: Vorschlag für ein Flussdiagramm, das den Anforderungen der DIN EN 1591-1:2009-10 Rechnung trägt.



Anmerkung: Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde in der hier gewählten Darstellung die Iteration, die zur effektiven Dichtungsbreite und zum effektiven Dichtdurchmesser führt, als bekannt vorausgesetzt und nicht separat eingezeichnet.

3.1 Zur Berechnung einer verschraubten Flanschverbindung sind wie im "Anhang F" die Parameter der Flanschen, Schrauben gegeben. Allerdings wurden hier die Werte der Reibungskoeffizienten für Gewinde und Mutterauflage beachtet wie auch das vorgegebene Schraubenanziehverfahren mit seinen speziellen Streuwerten erwähnt.

3.2 Bei der Dichtung zeigen sich die großen Mängel des Flussdiagramms im "Anhang F". Hier hat man schlicht den Einfluss der Dichtungskennwerte nach 1591-2:2008 vergessen.

Nach dem Bild 1 vorgeschlagenen Ablauf wird aus F_{G0min} (mit zunächst geschätzten E-Moduli E_{G0} und E_{GI} der Dichtung) eine Montagepressung Q_A ermittelt. Aus dieser Montagepressung Q_A und der verbliebenen Dichtungspressung im Betriebszustand $Q_{Smin(L)}$ sind dann neue, korrigierte Werte der E-Moduli E_{G0} und E_{GI} der Dichtung einzutragen, was wiederum zu einer neuen Montagepressung Q_A führt, und so fort. Hier ist also – neben der Iteration, die zu d_{Ge} und b_{Ge} führt – eine weitere Iteration erforderlich. Sie wird bei einigen Dichtungsarten dadurch erschwert, dass sich die Werte für die E-Moduli nicht stetig verhalten, sondern zum Teil willkürlich springen.

3.3 Bei den Schrauben fehlt im Flussdiagramm im "Anhang F" auch die Überprüfung auf eine erforderliche Auslastung über mindestens 30 %.

3.4 Ein weiterer systematischer Fehler, der sich von Anfang an in diesem Regelwerk befindet ist in Gleichung (72c) versteckt. Dort wird der Auslastungsgrad mit der theoretischen Dichtungsfläche $A_{Gt} = \pi \times d_{Gt} \times b_{Gt}$ ermittelt. Der Auslastungsgrad muss aber richtig mit der effektiven Dichtungsfläche als $\Phi_G = F_G / (A_{Ge} \cdot Q_{max}) \leq 1$ gebildet werden. Eine Betrachtung für eine Ring-Joint-Dichtung mag das verdeutlichen: Würde Gleichung (72c) so gelten wie angeschrieben, dann dürfte zum Beispiel eine Ring-Joint-Dichtung oder eine Linsendichtung über den gesamten "theoretisch" zur Verfügung stehenden Querschnitt plastifiziert werden und das wäre – wie so manches in der Norm – nicht in Übereinstimmung mit dem Vorwort, wonach behauptet wird: "Die Berechnungsmethode erfüllt sowohl die Kriterien der Dichtheit als auch der Festigkeit."

3.5 Und hier sei auf noch einen systematischen Fehler hingewiesen, der sich von Anfang an eingeschlichen hat. Er betrifft den Auslastungsgrad bei Blindflanschen nach Gleichung (85), wo es folgendermaßen lautet:

$$\Theta_F = \max \left\{ \left| F_B \cdot h_G + F_Q \cdot (1 - \rho^3) \cdot d_{Ge} / 6 + F_R \cdot (1 - \rho) \cdot d_{Ge} / 2 \right|; \left| F_B \cdot h_G \right|; \left| F_Q \cdot (1 - \rho^3) \cdot d_{Ge} / 6 \right|; \left| F_R \cdot (1 - \rho) \cdot d_{Ge} / 2 \right| \right\} \cdot \frac{1}{W_F} \leq 1,0$$

Wenn das Maximum gesucht wird, macht es wenig Sinn alternativ die obere Zeile des Ausdrucks in drei zu untersuchende Bröckchen – also insgesamt in vier Terme – zu zerlegen, wie in Gleichung (85) ausgeführt. Richtig muss es in drei Termen heißen:

$$\Theta_F = \max \left\{ \left| F_B \cdot h_G + F_Q \cdot (1 - \rho^3) \cdot d_{Ge} / 6 + F_R \cdot (1 - \rho) \cdot d_{Ge} / 2 \right|; \left| F_B \cdot h_G + F_Q \cdot (1 - \rho^3) \cdot d_{Ge} / 6 \right|; \left| F_R \cdot (1 - \rho) \cdot d_{Ge} / 2 \right| \right\} \cdot \frac{1}{W_F} \leq 1,0$$

4. Das Ingenieurbüro TMT hat 2003 eine Software entwickelt und seither stets weiterentwickelt, die die oben besprochenen Schwierigkeiten berücksichtigt und die angeführten Fehler vermeidet.

Außerdem wurden u. a. Modifikationen der Programme eingeführt, die auch unterschiedliche Werkstoffe oder Temperaturen für Flansch und Schale berücksichtigen können, was streng nach DIN EN 1591-1:2009-10 nicht möglich ist.

Die Programme wurden erfolgreich bei Firmen der chemischen und petrochemischen Industrie sowie bei Firmen des Rohrleitungs- und Apparatebaus eingesetzt. Die erfolgreich bearbeiteten Aufgaben umfassten Drücke im Bereich mehrerer tausend bar, Temperaturen über 600°C und Durchmesser über 4 m – und natürlich auch kleinere Bereiche.

Gern stelle ich Ihnen die Leistungsfähigkeit vor. Nennen Sie mir Ihre Probleme.

TMT Technik Methode Training

Dipl.-Ing. Hans J. Tückmantel

Fichtestraße 104; 45472 Mülheim a. d. Ruhr

Tel: 0208/430159 Fax: 0208/3018757

TMT-Tueckmantel@t-online.de